

Determinación de la composición de azúcares en el mucílago de cacao (*Theobroma cacao L.*)
recolectado en la Vereda Restrepo, Tumaco-Nariño, Colombia.

Gerson Julian Rosero Chamorro

Programa de Licenciatura en Química, Facultad de Educación, Universidad CESMAG

Nota del autor

El presente Trabajo de Grado tiene como propósito cumplir el requisito exigido para optar al título de pregrado como Licenciado en Química en la Universidad CESMAG.

La correspondencia referente a este trabajo debe dirigirse al Programa de Licenciatura en Química de la Universidad CESMAG. Correo electrónico, lic.quimica@unicesmag.edu.co

Determinación de la composición de azúcares en el mucílago de cacao (*Theobroma cacao L.*)
recolectado en la Vereda Restrepo, Tumaco-Nariño, Colombia.

Gerson Julian Rosero Chamorro

Programa de Licenciatura en Química, Facultad de Educación, Universidad CESMAG

Proyecto de Investigación

Asesor: Mg. Luis Felipe Arturo Perdomo

30 de mayo de 2025

NOTA DE ACEPTACIÓN

Luis Felipe Arturo Perdomo

Asesor

Claudia Jaramillo Guerrero

Jurado

Sandra Patricia Gómez

Jurado

NOTA DE EXCLUSIÓN

Este proyecto de grado ha sido realizado como requisito académico y refleja exclusivamente las ideas y conclusiones del autor, los conceptos y opiniones expresados en este trabajo son responsabilidad única del autor y no representan la posición de la Universidad CESMAG.

Dedicatoria

A Dios, fuente de fortaleza y guía en cada paso de este camino, cuya presencia constante ha iluminado mi vida y me ha dado la perseverancia necesaria para superar cada obstáculo.

A mi familia, cuyo apoyo incondicional y amor han sido la base de cada logro alcanzado, por sus enseñanzas y por creer en mí en cada paso del camino; su esfuerzo y sacrificio me han motivado a superar cada obstáculo con determinación y a dar siempre lo mejor de mí para alcanzar mis metas.

A mi madre, Claudia Milena Chamorro, por su amor incondicional, su paciencia y sacrificio. Ella ha sido el pilar de mi vida, inspirándome con su ejemplo de determinación y valentía. Sin su apoyo y confianza en mis capacidades, este logro no habría sido posible.

A mis abuelos, José Julián Chamorro y Marianita de Jesús Chamorro, cuyo amor y enseñanzas han sido la base de mi formación como persona. Sus historias, consejos y valores han moldeado mi carácter y me han motivado a aspirar a lo mejor en cada etapa de mi vida.

Esta dedicatoria es también para todos aquellos que, de manera directa o indirecta, han formado parte de mi viaje académico. Su apoyo, palabras de aliento y compañía han dejado una huella imborrable en mi corazón.

Gerson Julian Chamorro Rosero

Agradecimientos

Agradezco profundamente a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza en cada paso de este camino. A mi familia, en especial a mi madre, Claudia Milena Chamorro, y a mis abuelos, José Julián Chamorro y Marianita de Jesús Chamorro, por su amor incondicional, apoyo constante y por ser el pilar de mi vida.

Extiendo mi gratitud a la Universidad CESMAG, que me ha brindado la oportunidad de crecer académicamente y desarrollar este proyecto de manera especial, agradezco al Mg. Luis Felipe Arturo Perdomo y al Mg. Hugo Espinoza, por su invaluable apoyo intelectual, guía y conocimientos compartidos, sus consejos y enseñanzas han sido fundamentales para el éxito de este trabajo.

Finalmente agradezco a los Laboratorios de Química de la Universidad Mariana y a los Laboratorios Especializados de Cromatografía de la Universidad de Nariño, cuyo apoyo y recursos hicieron posible la realización de este trabajo.

Gerson Julian Chamorro Rosero

TABLA DE CONTENIDO

Introducción.....	11
1. Problema de Investigación.....	16
1.1. Objeto o tema de estudio.....	16
1.2. Línea de investigación.....	16
1.3. Planteamiento o descripción del problema.....	17
1.4. Formulación del problema.....	18
1.4.1. Hipótesis.....	19
1.5.1. Objetivo General.....	19
1.5.2. Objetivos Específicos.....	19
1.6. Justificación.....	19
2. Marco referencial.....	22
2.1. Antecedentes.....	22
2.2. Marco Teórico.....	24
2.2.1. Generalidades del cacao.....	24
2.2.2. El mucílago de cacao.....	26
2.2.3. Carbohidratos.....	28
2.2.4. Técnicas de extracción y análisis.....	33
2.2.4.1. Extracción Asistida por Ultrasonido (EAU).....	34
2.2.4.2. Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).....	37
2.2.5. Desarrollo sostenible y economía circular.....	40
2.3. Marco legal.....	40
3. Metodología.....	43
3.1. Paradigma y enfoque.....	43
3.2. Tipo de investigación.....	44
3.3. Técnicas de recolección de la información.....	44
3.4. Diseño experimental.....	45
3.4.1. Muestreo y recolección.....	47
3.4.2. Preparación de muestras.....	49
3.4.3. Análisis cromatográfico.....	51
3.4.4. Análisis de datos obtenidos.....	52
4. Análisis de resultados.....	53
4.1. Evaluación de las condiciones óptimas de extracción.....	54
4.2. Análisis cualitativo de los azúcares del mucílago de cacao.....	56
4.3. Análisis cuantitativo de los azúcares del mucílago de cacao.....	60
4.4. Análisis estadístico.....	63
5. Conclusiones.....	66
6. Recomendaciones.....	69
REFERENCIAS.....	72
ANEXOS.....	83

Lista de Figuras

- Figura 1:** *Producción de cacao por municipios (en toneladas).*
- Figura 2:** *Proyección de Fischer (izquierda) y proyección de Haworth (derecha) de una molécula de glucosa.*
- Figura 3:** *Proyecciones de Fischer de moléculas de fructosa (izquierda) y glucosa (derecha).*
- Figura 4:** *Estructura de la sacarosa en proyección de Haworth.*
- Figura 5 :** *Desarrollo e implosión de una burbuja formada por la propagación de una onda acústica en un medio líquido.*
- Figura 6:** *Diagrama básico de cromatografía líquida de alta eficacia.*
- Figura 7:** *Diseño experimental, preparación de muestras.*
- Figura 8:** *Ubicación vereda Restrepo Tumaco, Nariño.*
- Figura 9:** *Preparación y almacenamiento de las muestras.*
- Figura 10:** *Selección muestras de cacao (Theobroma cacao L.) Criollo.*
- Figura 11:** *Cromatograma de muestra de cacao, detector RI.*
- Figura 12:** *Cromatograma estándar de Fructosa a 500 ppm, detector RI.*
- Figura 13:** *Cromatograma estándar de Glucosa a 500 ppm, detector RI.*
- Figura 14:** *Cromatograma estándar de Sacarosa a 500 ppm, detector RI.*
- Figura 15:** *Correlación entre el tiempo de extracción y el área cromatográfica.*
- Figura 16:** *Correlación entre concentración de ácido fosfórico y área cromatográfica.*

Lista de Tablas

Tabla 1 : *Clasificación de la especie Theobroma cacao L.*

Tabla 2: *Técnicas de extracción para matrices vegetales.*

Tabla 3: *Técnicas de análisis con énfasis en carbohidratos.*

Tabla 4: *Diseño experimental, (concentración de ácido y tiempo de extracción).*

Tabla 5: *Condiciones cromatográficas.*

Tabla 6: *Tiempos de retención, comparación de los estándares y muestra.*

Tabla 7: *Concentración de azúcares en el mucílago de cacao.*

Tabla 8: *Comparación de la concentración de azúcares presentes en el mucílago de cacao en diferentes zonas.*

Tabla 9: *Identificación y cuantificación de azúcares por experimento en el mucílago de cacao.*

RESUMEN

El presente estudio se centró en analizar y cuantificar los azúcares mayoritarios presentes en el mucílago de cacao proveniente de la Vereda Restrepo, Tumaco-Nariño. Se evaluaron diferentes condiciones de extracción mediante la técnica ultrasonido, variando el tiempo de extracción (15, 30 y 45 minutos) y la concentración de ácido fosfórico (0, 0.5 y 1%). Los resultados indicaron que el tiempo óptimo de extracción fue de 30 minutos, mientras que las concentraciones de ácido fosfórico al 0% y 0.5% mostraron una mayor eficiencia en la extracción de azúcares.

Para el análisis cuantitativo, se empleó la técnica (HPLC), la cual permitió determinar concentraciones de (2,36 g/L), (3,10 g/L) y (3,34 g/L) para glucosa, fructosa y sacarosa, respectivamente con un total de azúcares mayoritarios de (8,80 g/L). El análisis de varianza mediante ANOVA demostró una alta correlación entre las variables concentración, área y compuesto.

Al comparar los resultados con estudios previos, se observaron diferencias mínimas en la composición de azúcares, lo que sugiere que factores como la variedad de cacao, las condiciones climáticas y el manejo poscosecha pueden influir en la composición del mucílago.

Los resultados obtenidos abren nuevas perspectivas para el aprovechamiento de este subproducto y resaltan la necesidad de realizar investigaciones adicionales para evaluar el impacto de otros factores en la composición del mucílago y su potencial aplicación.

Palabras clave: *Cacao, Mucílago, Azúcares, cromatografía, ultrasonido, Tumaco-Nariño.*

Introducción

La presente investigación como propuesta de trabajo de grado, es un avance de un estudio general que se está desarrollando sobre el conocimiento del cultivo de cacao, en esta investigación se analizaron los azúcares presentes en mucílago del cacao evaluando las condiciones óptimas de extracción en muestras provenientes de la vereda Restrepo del municipio Tumaco nariño, cuyo propósito es contribuir al conocimiento científico y al desarrollo sostenible de la región de Tumaco, Nariño, mediante el estudio de uno de los subproductos menos aprovechados del cultivo de cacao: el mucílago.

La producción agrícola ha sido un pilar fundamental de la economía colombiana durante décadas, desempeñando un papel crucial en la seguridad alimentaria, la generación de empleo y el desarrollo rural (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020), especialmente para las regiones afectadas por el conflicto armado, la agricultura ha sido un motor de reconstrucción e incluso una vía para la consolidación de la paz.

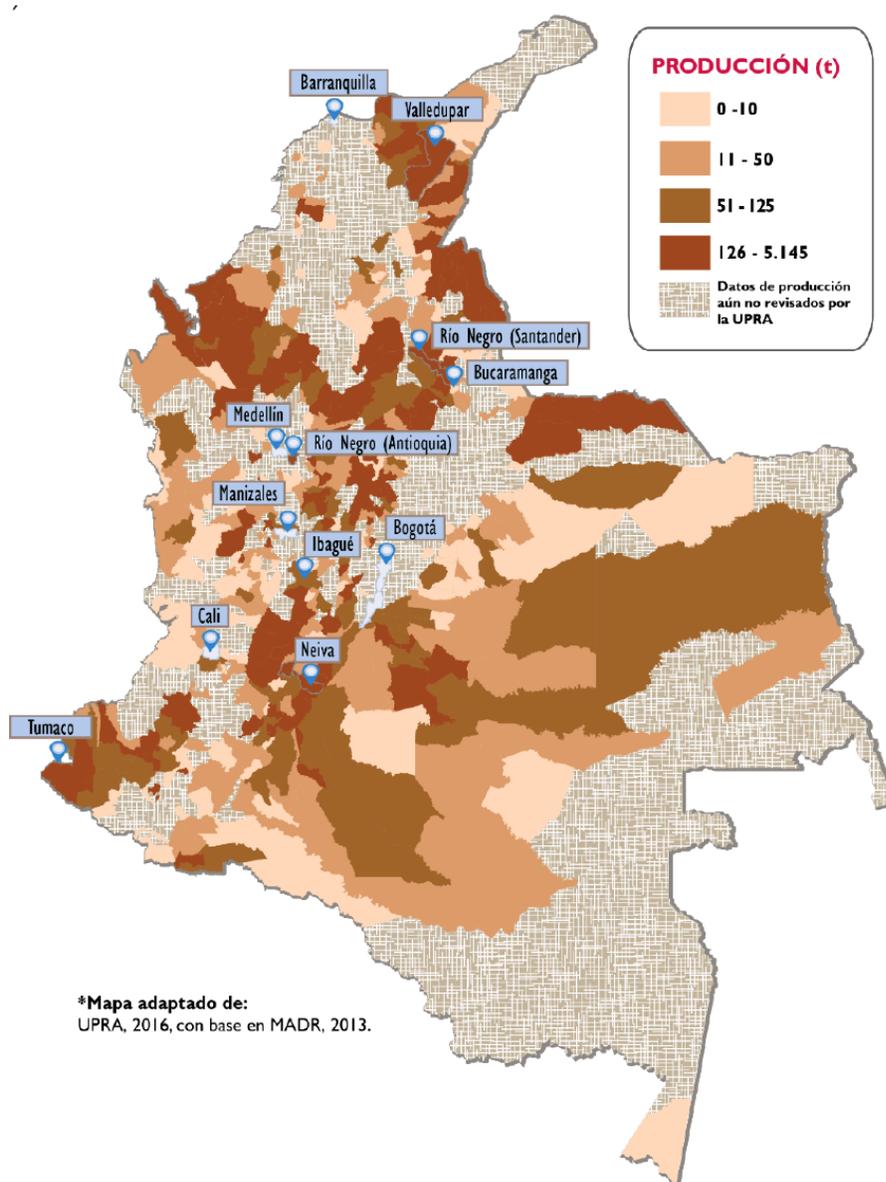
En Colombia, y particularmente en Tumaco, el cacao no solo ha sido un cultivo de gran relevancia económica, social y cultural, sino que también ha jugado un papel estratégico muy importante en procesos de sustitución de cultivos ilícitos (Sierra, 2016). Este cultivo ha sido fundamental para la economía local generando empleo y divisas a través de la exportación de granos de cacao y productos derivados, posicionándose incluso como una de las principales apuestas productivas de Colombia debido a las potencialidades que éste ofrece desde el punto de vista social y comercial como lo señala Pabón et al. (2016).

Según el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (2024), en los primeros nueve meses de 2024 se registró un aumento del 103,7% en las exportaciones de cacao y sus derivados, alcanzando ventas por US\$195,3 millones y exportándose 32.986 toneladas en comparación con las 23.585 toneladas del año 2023, lo que representa un crecimiento del 39,9%, siendo Nariño uno de los departamentos con mayor producción del país con 3.271

toneladas en 2021 Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2022) y Tumaco con su rica biodiversidad y condiciones climáticas óptimas, ha sido reconocido por su producción con larga tradición cacaotera, representando el 94% de esta producción según la comisión europea Cardona-Álzate et al. (2022).

Figura 1.

Producción de cacao por municipios (en toneladas).



Nota. Fuente: Tomado de Abbott et al., (2019).

Sin embargo, gran parte de los subproductos derivados de su procesamiento, como el mucílago, son desaprovechados y terminan siendo desechados, pese a representar una fuente de biomasa residual con un enorme potencial para agregar valor.

Según Perea et al. (2011), “el cacao es un alimento con propiedades nutricionales y bioactivas únicas, como una alta cantidad minerales y de flavonoides, que se asocian con propiedades antioxidantes”, sin embargo el mucílago, una sustancia viscosa que rodea a las semillas considerada un subproducto, ha demostrado poseer compuestos de alto valor como azúcares, ácidos orgánicos, pectinas y compuestos fenólicos (Piracoca-Robles, 2022), que le confieren propiedades texturizantes, gelificantes y antioxidantes, lo que lo convierte en un ingrediente potencialmente valioso para la industria alimentaria.

El mucílago de cacao, entonces, se presenta como una matriz bioquímica de gran complejidad y valor, estudios desarrollados en diversas regiones han evidenciado su potencial: en Ecuador, por ejemplo con la variedad CCN-51 para bebidas fermentadas tipo kombucha (Rodríguez-Castro et al., 2024), o en Perú en la obtención de jalea (Pelaez Sánchez & Pinedo Ríos, 2002), han demostrado que este subproducto puede ser aprovechado en la industria alimentaria, cosmética, farmacéutica e incluso en la producción de biocombustibles (Muñoz Simi y Ordoñez Miranda, 2022), no obstante, en la región de Tumaco la composición específica del mucílago y su potencial de aprovechamiento siguen siendo inexplorados.

Por lo tanto este estudio se enfoca en la determinación de la composición con énfasis en los azúcares mayoritarios presentes en el mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) recolectado en la vereda Restrepo, Tumaco-Nariño, evaluando las condiciones óptimas de extracción y utilizando técnicas de extracción asistida por ultrasonido (EAU) y cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), la identificación y cuantificación de estos compuestos permitirá no solo conocer la riqueza química del mucílago, sino también abrir nuevas

posibilidades para su uso industrial y el fortalecimiento de la economía local mediante un enfoque de economía circular.

En un mundo que valora cada vez más la sostenibilidad y el aprovechamiento eficiente de los recursos naturales, como se menciona en el objetivo 12 de la Organización de las Naciones Unidas, (2024) “la producción y consumo responsable”, este trabajo busca aportar un conocimiento nuevo y valioso sobre un subproducto poco estudiado en esta región, ofreciendo alternativas que puedan traducirse en ingresos adicionales para las comunidades de Tumaco.

A través de esta investigación, se busca resaltar el valor de los recursos locales tradicionalmente subestimados al mostrar que el conocimiento puede transformar lo que una vez fue considerado desecho, en una fuente de valor, abriendo puertas a un futuro de mayor prosperidad y sostenibilidad, este proyecto, entonces, no solo representa un aporte científico, sino también un compromiso con el desarrollo económico y social de una región que merece nuevas oportunidades.

1. Problema de Investigación

1.1. Objeto o tema de estudio

Este estudio tiene como objeto analizar el mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) recolectado en la vereda Restrepo, Tumaco-Nariño, con el fin de identificar y cuantificar los azúcares mayoritarios presentes en su composición, a través de métodos analíticos como la extracción asistida por ultrasonido (EAU) y la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Se busca aportar conocimiento técnico sobre este subproducto agrícola y su potencial aprovechamiento apoyadas en iniciativas de economía circular.

1.2. Línea de investigación

Este trabajo se encuentra vinculado en la línea de investigación, Didáctica de las Ciencias Naturales, Sustentabilidad Ambiental y Química Verde, del grupo de investigación, Materiales funcionales nanoestructurados, del programa de Licenciatura en Química de la Universidad CESMAG, la cual surge de la necesidad de realizar investigación tanto en el ámbito pedagógico, enfocado hacia la didáctica de las ciencias, como en el ámbito disciplinar, enfocándose en la Sustentabilidad Ambiental y la Química Verde, definiendo así tres sublíneas de investigación:

1. Didáctica de las Ciencias Naturales
2. Sustentabilidad Ambiental y Cuidado de la Casa Común
3. Química Verde y Fitoquímica.

Esta última enfocada, entre otras cosas, en la extracción, purificación e identificación de compuestos químicos de plantas, la etnobotánica y la química de productos naturales. Aprovechando la química verde para desarrollar métodos sostenibles de extracción, explorando la diversidad de flora del departamento de Nariño en busca de nuevos compuestos bioactivos en la identificación y caracterización de componentes que son esenciales para la innovación,

enfoque que ha sido de gran utilidad para el correcto desarrollo de este trabajo de investigación.

1.3. Planteamiento o descripción del problema

A pesar de la creciente importancia del cacao en la economía colombiana y del reconocimiento de Tumaco-Nariño como una región con una larga tradición cacaotera y una alta calidad de grano, según Fedecacao, (2024), además de poseer condiciones agroecológicas favorables para este cultivo, incluyendo climas y suelos, permitiendo el uso de materiales genéticos de alto valor para mercados diferenciados, como el cacao fino y de aroma Espinosa-Álzate y Ríos-Osorio (2016), existe un vacío de conocimiento sobre el potencial de aprovechamiento de sus subproductos, en especial del mucílago.

El mucílago de cacao es un subproducto del proceso de producción del cacao que tradicionalmente ha sido subestimado, sin embargo, estudios previos han demostrado que el mucílago de cacao contiene una amplia gama de azúcares, como glucosa, fructosa y sacarosa, los cuales le confieren propiedades funcionales de interés para la industria alimentaria (Piracoca Robles, 2022), además de compuestos bioactivos de alto interés (Quiñones et al., 2012), no obstante, estos estudios se han centrado principalmente en otras regiones productoras de cacao, y existe una escasez de información específica sobre la composición del mucílago de cacao proveniente de Tumaco.

Finalmente su interés radica en la larga tradición cacaotera, que ha sido un actor clave en el proceso de sustitución de cultivos ilícitos y desarrollo rural en Colombia (Sierra, 2016), la falta de información sobre la composición de azúcares en el mucílago de cacao de Tumaco limita la capacidad de los productores y procesadores para desarrollar productos a partir de este recurso, además, de acuerdo con Estrella, (2013) esta falta de conocimiento, impide una evaluación adecuada del potencial económico y ambiental del aprovechamiento del mucílago

Por lo tanto, surge la necesidad de realizar estudios de este subproducto en esta zona específica ya que al caracterizar y cuantificar los azúcares los azúcares mayoritarios presentes en este subproducto, se busca contribuir al conocimiento y así al desarrollo de nuevos productos de valor agregado, fortalecer las cadenas de valor del cacao y promover la sostenibilidad de la producción en la región.

1.4. Formulación del problema

El procesamiento del cacao es un procedimiento multifacético que implica varias etapas, dentro de las cuales la fermentación desempeña un papel crucial al inducir transformaciones bioquímicas que definen las propiedades organolépticas del grano, durante este proceso, el mucílago, compuesto principalmente por azúcares, ácidos orgánicos y pectinas, proporciona un medio favorable para la proliferación microbiana, facilitando la degradación de precursores de sabor y aroma característicos del cacao (Santamaría et al., 2019), sin embargo, dado que sólo una fracción del mucílago es necesaria para la fermentación efectiva, el excedente suele ser desechado, desaprovechando así su potencial biotecnológico e industrial.

En este contexto resulta fundamental conocer la composición de azúcares mayoritarios presentes en el mucílago de cacao, provenientes de la vereda Restrepo Tumaco Nariño, esta información no sólo permitió caracterizar este recurso local, sino que además abre las puertas a la formulación de productos con valor agregado y así aprovechar el potencial de este subproducto de la cadena de producción de cacao, aportando así el desarrollo sostenible de la región, generando nuevos fuentes de ingreso para los productores, por lo cual surge la siguiente pregunta:

¿Cuál es la composición de azúcares mayoritarios en el mucílago de cacao de la Vereda Restrepo, Tumaco-Nariño, y cuáles son las condiciones óptimas para su extracción y cuantificación mediante (EAU) y (HPLC)?

1.4.1. Hipótesis

El mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) proveniente de la vereda Restrepo, Tumaco-Nariño, Colombia, contiene una composición significativa de azúcares mayoritarios, cuya extracción y cuantificación puede optimizarse mediante el uso de técnicas como la (EAU) y análisis por HPLC.

Como contraste, la hipótesis nula establece que el mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) proveniente de la vereda Restrepo, Tumaco-Nariño, Colombia, no presenta una composición significativa de azúcares mayoritarios, o que éstos no pueden ser eficientemente extraídos y cuantificados mediante (EAU) y análisis por HPLC.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar la composición de azúcares mayoritarios presentes en el mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) proveniente en la Vereda Restrepo, Tumaco-Nariño, Colombia.

1.5.2. Objetivos Específicos

Evaluar las condiciones óptimas de extracción de azúcares en el mucílago de cacao utilizando la extracción asistida por ultrasonido (EAU).

Identificar la composición de azúcares mayoritarios en el mucílago de cacao mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

Cuantificar los azúcares mayoritarios presentes en el mucílago de cacao por medio de estándares internos.

1.6. Justificación

El cultivo del cacao, especialmente en regiones como Tumaco-Nariño, representa un pilar fundamental en la economía local y un motor de desarrollo sostenible, sin embargo, a pesar de su importancia, existe un gran potencial inexplorado en el aprovechamiento integral

de este cultivo; el mucílago de cacao, un subproducto comúnmente desechado en los procesos de producción, ha sido objeto de escasas investigaciones.

Estudios previos han demostrado que el mucílago de cacao contiene una amplia gama de compuestos bioactivos, como azúcares, pectinas y compuestos fenólicos (Piracoca-Robles, 2022), que le confieren propiedades funcionales de gran interés para la industria alimentaria, sin embargo, la composición específica de estos compuestos y su potencial de aplicación en productos de valor agregado aún no han sido exhaustivamente estudiados, particularmente en regiones como Tumaco, donde el cacao es un cultivo de gran relevancia económica y social (Sierra, 2016).

La caracterización de los azúcares presentes en el mucílago de cacao de Tumaco permitirá valorizar un subproducto al aprovechar este recurso como fuente de azúcares naturales contribuyendo a la economía circular, reduciendo el desperdicio y generando ingresos adicionales para los productores, desarrollando nuevos productos, ya que los azúcares extraídos del mucílago pueden ser utilizados como ingredientes en la producción de alimentos funcionales, bebidas y otros productos de valor agregado, respondiendo a la creciente demanda de productos naturales y saludables (Piracoca Robles, 2022), y así fortalecer las cadenas de valor en la región, generando mayores ingresos y mejorando la calidad de vida de los productores promoviendo la sostenibilidad contribuyendo al objetivo 12 de desarrollo sostenible de la ONU, al promover prácticas agrícolas más sostenibles y reducir el impacto ambiental (ONU, 2024).

En este sentido el proyecto busca dar valor agregado a estos residuos mediante la determinación de la composición y la cuantificación de los carbohidratos, lo cual ampliará el conocimiento de este subproducto, esto será el pilar o el inicio para futuras investigaciones que busquen dar un mayor valor agregado, aportando conocimiento sobre un subproducto sobrevalorado y en una zona olvidada.

Al diversificar la oferta de productos y mejorar la cadena de valor, se espera generar mayores ingresos para los productores, fomentar la economía local y promover el desarrollo sostenible de la región, según Rizo-Mustelier et al (2017), la valorización de los residuos agrícolas es una estrategia fundamental para mejorar la sostenibilidad de los sistemas productivos y generar mayores ingresos al ampliar el conocimiento de subproductos, y como pilar o el inicio para continuar con investigaciones que busquen dar valor agregado.

A diferencia de otros estudios, este proyecto se centrará en las particularidades del cacao de Tumaco, lo que permitirá adaptar las tecnologías y procesos a las condiciones locales.

2. Marco referencial

2.1. Antecedentes

La caracterización química del mucílago del cacao (*Theobroma cacao L.*) ha cobrado gran relevancia en los últimos años en diversas regiones productoras debido a que su papel es fundamental en el proceso de fermentación de los granos de cacao pero más aún por su potencial como materia prima en distintas aplicaciones industriales ha motivado múltiples estudios en el ámbito científico.

Estudios como el de Rodríguez-Castro et al. (2024) destacan el potencial del mucílago de cacao como un nuevo producto de mercado que puede proporcionar a los productores de cacao una fuente adicional de ingresos, lo que es relevante en el contexto de la sostenibilidad y la economía agrícola.

A nivel global, diversas investigaciones han resaltado la importancia del mucílago de cacao, no solo como un residuo del procesamiento del cacao, sino como un ingrediente funcional con alto valor agregado, un estudio relevante es el de Rodríguez-Castro et al. (2024) en Ecuador, en el cual se evaluó el mucílago de la variedad CCN-51 para la producción de una bebida fermentada tipo kombucha. Los resultados mostraron un alto contenido de azúcares y compuestos bioactivos, lo que sugiere su viabilidad en productos innovadores.

Otro estudio determina que el mucílago de cacao representa aproximadamente el 40% del peso fresco de la semilla y está compuesto principalmente por agua (79-84%), azúcares (12-16%), pectinas (1.5%), ácidos orgánicos (1-2%) y proteínas (0.6%) Torres Coronel, (2018), estos componentes no solo favorecen el proceso de fermentación, sino que también contribuyen al desarrollo de precursores del sabor en el chocolate, como aminoácidos y azúcares reductores.

En Ecuador, Villacís y Peralta (2012) identificaron que el mucílago de cacao posee altos niveles de azúcares, fibras, proteínas y otros nutrientes, lo que refuerza su potencial como

recurso agroindustrial. Por su parte, Alava Zambrano (2020) compararon la composición de azúcares del mucílago de las variedades Nacional y CCN-51 en Manabí, Ecuador, utilizando (HPLC). Su estudio determinó que la variedad CCN-51 tenía un pH más ácido y un 5.33% más de contenido de sacarosa en comparación con la variedad Nacional, lo que evidencia su potencial para la industria alimentaria.

En el contexto nacional, el mucílago de cacao ha sido objeto de múltiples estudios. Carvajal (2020) realizaron una caracterización fisicoquímica de esta sustancia en diferentes genotipos, incluyendo TCS01, TCS06, TCS13, TCS19 y CCN51 en los departamentos de Santander y Boyacá. Utilizando metodologías químicas y sensoriales, encontraron que el mucílago contiene entre un 10 % y 14 % de azúcares totales y una composición rica en pectinas y otros polisacáridos.

Además, Vásquez Ayala et al., (2020) estudió sus propiedades físicas, químicas y enzimáticas, destacando su contenido en flavonoides y su potencial antioxidante. Por su parte, Romero y Zambrano (2012) señalaron que la cantidad de azúcares en la pulpa de cacao depende del tipo de cacao, el tiempo de cosecha y el suelo, en particular, el cacao presenta dos ciclos de cosecha fundamentales, determinados por las precipitaciones y las condiciones edafoclimáticas, lo que influye directamente en su composición química.

En la región de Tumaco-Nariño, no existen registros específicos de estudios sobre el mucílago de cacao, las investigaciones previas se han enfocado principalmente en su uso como abono orgánico, sin profundizar en su caracterización química ni en su posible aprovechamiento industrial, sin embargo, si se a explorado su relevancia, investigaciones complementarias como la de Aparicio (2024) han abordado aspectos clave en la calidad sensorial del cacao, en dicha revisión, se identificaron alrededor de 600 compuestos volátiles responsables del sabor y aroma característicos del cacao, como aldehídos, cetonas, alcoholes, ésteres, ácidos y pirazinas, cuya formación está estrechamente relacionada con la transformación bioquímica del mucílago durante la fermentación, conocimiento que refuerza la

idea de que el mucílago no solo actúa como medio fermentativo, sino como un agente decisivo en la generación de los atributos sensoriales del chocolate, destacando la necesidad de comprender su composición para optimizar tanto el aprovechamiento industrial como la calidad del producto final.

Y dado el creciente interés en el aprovechamiento de subproductos agrícolas y el potencial demostrado del mucílago en otras regiones, este proyecto busca generar información clave sobre su composición en Tumaco-Nariño, de este modo, se podrá evaluar su valorización y su posible integración en la industria agroalimentaria, contribuyendo al desarrollo sostenible de la región.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Generalidades del cacao

El cacao, conocido científicamente como *Theobroma cacao L.*, pertenece a la familia Malvaceae y es nativo de las regiones tropicales de América del Sur y Central. Su taxonomía se puede desglosar de la siguiente manera; Reino: Plantae, División: Magnoliophyta, Clase: Magnoliopsida, Orden: Malvales, Familia: Malvaceae, Género: Theobroma, y Especie: cacao (*Theobroma cacao L.*) (Fedecacao, 2023), este árbol se caracteriza por su crecimiento cauliflora, donde las flores y los frutos emergen directamente del tronco y ramas, y las mazorcas o frutos del cacao son grandes bayas que contienen las semillas rodeadas por una pulpa mucilaginosa conocida como mucílago, esencial para el proceso de fermentación, según FEDECACAO, (2024) su centro de origen se ubica en la región amazónica, donde se han encontrado las mayores concentraciones de diversidad genética de esta especie.

Según Quintero y Díaz (2004), el cultivo de cacao comienza a dar frutos entre los tres y cinco años después de ser sembrado, dependiendo de su variedad y su mayor rendimiento lo

alcanza entre los ocho y diez años, manteniéndose productivo hasta los 45 años si se implementan prácticas agronómicas adecuadas.

Desde un punto de vista biológico, el cacao tiene un sistema radicular robusto que incluye raíces pivotantes y secundarias, lo que le permite anclarse firmemente al suelo y absorber nutrientes de diferentes profundidades (Botconsult, 2012). Cada fruto contiene entre 20 y 50 semillas rodeadas por una pulpa dulce que proporciona un ambiente adecuado para el crecimiento de microorganismos durante la fermentación (González & López, 2022).

El cacao requiere de un clima cálido y húmedo, con temperaturas promedio entre 25 y 30 °C y precipitaciones abundantes, por esta razón, su cultivo se concentra en las zonas tropicales del planeta, como lo señala Enríquez, (1990), en su libro “Curso sobre el cultivo del cacao”.

El cultivo de cacao ha evolucionado desde su domesticación en Mesoamérica hasta su expansión global. Actualmente, se reconocen tres variedades principales de cacao: Criollo, Forastero y Trinitario. Estas variedades presentan características morfológicas y organolépticas distintas que influyen en la calidad del grano (Echeverry et al., 2020). En cuanto a su clasificación, la especie *Theobroma cacao L.* puede clasificarse desde el punto de vista botánico o genético y por categorías comerciales Quintero y Diaz (2004), como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 1

Clasificación de la especie Theobroma cacao L.

Clasificación botánica			Clasificación comercial	
<i>Cacao Criollo</i>	<i>Cacao Forastero</i>	<i>Cacao Trinitario</i>	<i>Cacao ordinario</i>	<i>Cacao fino o de aroma</i>

<i>Este tipo de cacao posee un cotiledón de color entre marfil pardusco y castaño muy claro, con un olor de cacao dulce unido a un aroma delicado característico.</i>	<i>Se posee una mayor tolerancia a las enfermedades, representa aproximadamente un 95% de la producción mundial.</i>	<i>Es más resistente y productivo que el cacao Criollo pero de inferior calidad. Es el resultado del cruce entre el cacao Forastero y el Criollo.</i>	<i>Granos producidos por los cacaos tipo Forastero; éstos son utilizados en la fabricación de manteca de cacao y de productos que tengan una elevada proporción de chocolate.</i>	<i>En términos generales, los granos de cacaos Criollos y Trinitarios corresponden a lo que en el mercado mundial se conoce como cacao fino o de aroma.</i>
---	--	---	---	---

Nota. Tomado y adaptado de: Quintero y Diaz (2004).

2.2.2. El mucílago de cacao

2.2.2.1. Definición y características

Según Villacis y Peralta (2012) el mucílago, pulpa o baba es una sustancia blanca, viscosa algodonada que recubre las semillas de cacao, el cual se caracteriza porque contiene 10 a 13 % de azúcar, 1.0 % de pectina y 1.5 % de ácido cítrico y 8 - 10% de sales. Además, es apto para el consumo tanto humano como animal y se caracteriza por un perfil sensorial distintivo, con una combinación equilibrada de sabores frutales, dulces, especiados y con un toque ácido, Castro (2023).

2.2.2.2. Composición química

El mucílago de cacao está compuesto principalmente por una matriz polisacárida que encapsula azúcares simples, ácidos orgánicos, proteínas y fenoles. Según Sánchez-Olaya et al. (2019), su contenido en azúcares oscila entre el 10 y el 15 %, mientras que las pectinas representan aproximadamente el 1.0 %, y los ácidos orgánicos, como el ácido cítrico, alcanzan el 1.5 %.

Análisis adicionales, han revelado que los carbohidratos pueden constituir entre el 10.7 % y el 68.35 % del peso seco del mucílago (Martínez et al., 2012). Asimismo, las pectinas, con un rango de 0.57 % a 1.5 %, son particularmente relevantes debido a sus propiedades emulsificantes y estabilizantes (Anvoh et al., 2009). Además, el mucílago contiene proteínas (0.41 % a 5.56 %), lo que potencia su aplicabilidad en el desarrollo de biopelículas y encapsulación de compuestos bioactivos.

Desde una perspectiva agroindustrial, el mucílago representa aproximadamente el 80 % del volumen del fruto del cacao, junto con la cáscara (Vásquez Ayala et al., 2020). Por cada 800 kilogramos de semillas frescas, se pueden obtener hasta 40 litros de mucílago Rodríguez et al. (2021). Esta composición lo convierte en un recurso subutilizado con alto potencial para ser transformado en ingredientes funcionales de valor agregado.

2.2.2.3. Aplicaciones en la industria

El mucílago de cacao ha sido objeto de un creciente interés en diversos sectores industriales debido a su composición rica en polisacáridos, azúcares fermentables y compuestos bioactivos.

Estudios recientes han explorado su potencial; por ejemplo, Sánchez-Olaya et al. (2019) exploró el mucílago de cacao como un edulcorante natural en la elaboración de mermeladas, dulces y caramelos, demostrando su viabilidad como alternativa a los azúcares refinados, así mismo, una investigación realizada por Flores & Peñafiel (2019) evidenció su utilidad en productos funcionales como yogures prebióticos, ampliando su espectro de aplicaciones en la industria alimentaria.

También para la industria cosmética, el mucílago de cacao ha sido incorporado en formulaciones de cremas hidratantes, jabones y mascarillas faciales debido a sus propiedades humectantes y antioxidantes. Investigaciones como la de Martínez et al., (2012) donde se analiza el mucílago de cacao para determinar el potencial utilizado como fuente de fibra

dietética para el enriquecimiento de alimentos dando como resultado que puede considerarse una buena fuente de compuestos naturales con una importante actividad antioxidante.

En la industria farmacéutica, el mucílago de cacao ha sido evaluado por su capacidad antioxidante y su aplicación como excipiente en formulaciones líquidas. Su contenido en polifenoles y su capacidad gelificante lo hacen un candidato ideal para el desarrollo de suplementos alimenticios y vehiculización de principios activos en medicamentos Vázquez Ayala et al., (2020).

Finalmente, en la agricultura, el mucílago ha demostrado poseer propiedades fitotóxicas que pueden ser aprovechadas en el control de malezas; un estudio en Ecuador evaluó su efectividad en cultivos de cacao CCN-51, observando una reducción del 86.67% en la proliferación de malezas cuando se aplicó en concentraciones del 75% “mismos hallazgos sugieren que el mucílago de cacao puede ser una alternativa eficaz y sostenible para el control de malezas en el cultivo de cacao, reduciendo la dependencia de herbicidas químicos y contribuyendo a la conservación del medio ambiente, proporcionando además beneficios económicos significativos para los agricultores de cacao” Marín-Cuevas et al. (2024).

Estos son algunos estudios que han demostrado el aprovechamiento integral del mucílago de cacao dando a conocer que este es su producto representa una oportunidad significativa para la innovación y la sostenibilidad, su valorización no sólo optimiza la cadena de producción del cacao, sino que también contribuye al desarrollo de una bioeconomía circular con impacto positivo en las comunidades productoras.

2.2.3. Carbohidratos

Los carbohidratos, también conocidos como hidratos de carbono o glúcidos, son biomoléculas esenciales en la naturaleza, su estructura general se puede representar como $C_n(H_2O)_n$, lo que refleja su composición básica de carbono, hidrógeno y oxígeno, esta fórmula

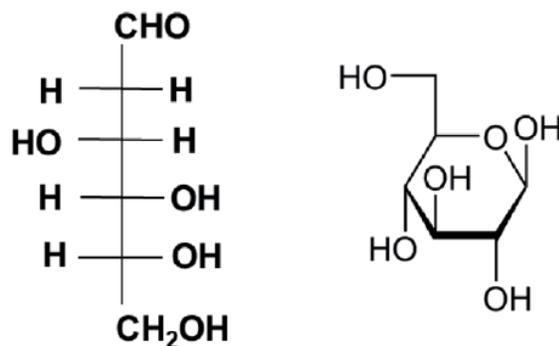
empírica sugiere una relación estequiométrica entre el carbono y el agua, aunque la estructura real de los carbohidratos es mucho más compleja (Sinnott, 2013).

Los carbohidratos pueden clasificarse en monosacáridos, disacáridos y polisacáridos, los monosacáridos, como la glucosa y la fructosa, son los azúcares simples más abundantes, los disacáridos, como la sacarosa, están formados por la unión de dos monosacáridos y los polisacáridos, como el almidón y la celulosa, son polímeros de monosacáridos y suelen tener funciones estructurales que los caracterizan, como la solubilidad, el poder edulcorante y la capacidad de formar enlaces Sinnott, M. (2013). Estas propiedades influyen en sus funciones en los alimentos Hernández-Triana (2011), por ejemplo, los azúcares simples son altamente solubles en agua y tienen un sabor dulce, mientras que los polisacáridos pueden formar geles y aumentar la viscosidad de las soluciones.

La glucosa, uno de los monosacáridos más importantes, tiene la fórmula molecular $C_6H_{12}O_6$ y puede representarse tanto en forma lineal (proyección de Fischer) como en forma cíclica (proyección de Haworth) como se representan en la figura 2, además es la principal fuente de energía para las células del organismo humano y desempeña un papel clave en numerosas rutas metabólicas, se obtiene principalmente a partir de la digestión de carbohidratos complejos contenidos en los alimentos como la avena y el arroz, las legumbres como los frijoles y lentejas, y vegetales como la papa, el plátano y el maíz Plaza-Díaz et al., (2013).

Figura 2

Proyección de Fischer (izquierda) y proyección de Haworth (derecha) de una molécula de glucosa.

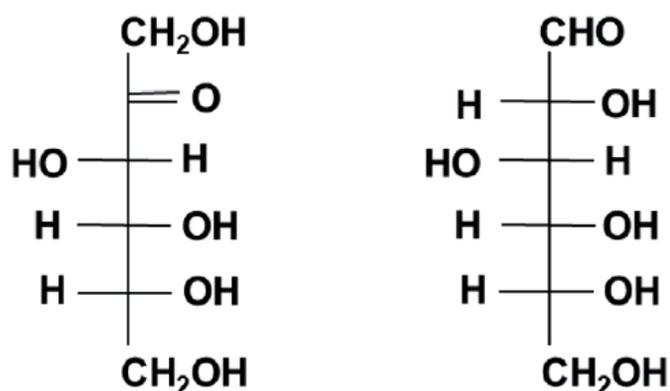


Nota. Fuente: Tomado de Shintani et al (2021).

La fructosa es otro monosacárido esencial, conocido como azúcar de las frutas, al igual que la glucosa, su fórmula molecular es $C_6H_{12}O_6$, pero su estructura molecular es diferente, ya que mientras la glucosa es una aldosa, es decir, posee un grupo funcional aldehído en el carbono 1, la fructosa es una cetosa, con un grupo funcional cetona en el carbono 2, Murray et al., (2007), aunque ambas comparten la misma fórmula molecular ($C_6H_{12}O_6$), difieren en la disposición de sus átomos, lo cual las convierte en isómeros estructurales, estas diferencias influyen en sus propiedades fisicoquímicas y en su comportamiento durante procesos metabólicos y tecnológicos, que le confiere propiedades únicas, es el azúcar más dulce que se encuentra en la naturaleza y se encuentra principalmente en frutas, miel y algunas verduras.

Figura 3

Proyecciones de Fischer de moléculas de fructosa (izquierda) y glucosa (derecha).

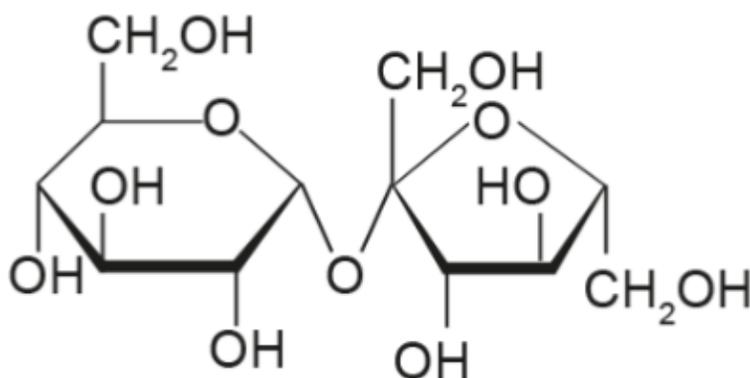


Nota. Fuente: Tomado de Shintani et al (2021).

La sacarosa, comúnmente conocida como azúcar de mesa, es un disacárido compuesto por una molécula de glucosa y una de fructosa unidas por un enlace glucosídico, este enlace une específicamente el carbono 1 de la glucosa con el carbono 2 de la fructosa, formando una molécula estable Plaza-Díaz (2013), se encuentra naturalmente en muchas plantas, pero se extrae a gran escala de la caña de azúcar y la remolacha azucarera Castellanos (2019) y es conocido por ser un compuesto altamente soluble en agua y tiene un sabor dulce característico.

Figura 4

Estructura de la sacarosa en proyección de Haworth.



Nota. Fuente: Tomado de Shintani et al (2021).

Estos carbohidratos poseen propiedades fisicoquímicas que los caracterizan, como la solubilidad, el poder edulcorante y la capacidad de formar enlaces, estos influyen funciones en los alimentos Hernández-Triana (2011), por ejemplo, los azúcares simples son altamente solubles en agua y tienen un sabor dulce, mientras que los polisacáridos pueden formar geles y aumentar la viscosidad de las soluciones.

Existe un gran número de hidratos de carbono; los más conocidos son la sacarosa, la glucosa, la fructosa, el almidón y la celulosa, sin embargo, también hay otros carbohidratos que, aunque se encuentran en menor concentración en los productos que consumimos diariamente, poseen una gran importancia debido a sus propiedades físicas, químicas y nutrimentales. En la antigüedad, gran parte de estos carbohidratos se consideraban un desperdicio, pero en la actualidad se emplean ampliamente en la elaboración de una variedad de alimentos, como fibras y gomas (Badui Dergal, 2006). Estos usos resaltan la creciente valorización de los carbohidratos como componentes fundamentales en la industria alimentaria.

La estructura química de los carbohidratos determina su funcionalidad y características, influyendo de diversas maneras en los alimentos, estas propiedades afectan directamente atributos como el sabor, la viscosidad, la estructura y el color, en otras palabras, las propiedades de los alimentos, tanto naturales como procesados, dependen en gran medida del tipo de carbohidrato presente y de las reacciones químicas en las que participan (Badui Dergal, 2006). Este conocimiento subraya la relevancia de los carbohidratos no solo como nutrientes esenciales, sino también como elementos clave para determinar la calidad y funcionalidad de los productos alimenticios.

En el contexto del mucílago de cacao, los carbohidratos desempeñan un papel fundamental en sus propiedades funcionales, los polisacáridos, contribuyen a la viscosidad y

capacidad de formar geles, lo cual es de gran interés para la industria alimentaria (Anvoh et al., 2009).

Además de ello, los azúcares simples pueden ser fermentados por microorganismos, como *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* en la producción de yogures, *Saccharomyces cerevisiae* en la elaboración de cervezas y vinos, y *Leuconostoc mesenteroides* en ciertos alimentos fermentados como vegetales encurtidos, como es mencionado por Carbonero (1975). Esto los convierte en sustratos importantes en procesos como la producción de bebidas fermentadas (Martínez et al., 2012).

2.2.4. Técnicas de extracción y análisis

La caracterización de compuestos específicos que se encuentran en matrices complejas, como el mucílago de cacao, demanda la utilización de metodologías de extracción y análisis que exhiban precisión y eficiencia. Según Cavalcanti et al. (2022) se define la extracción como el procedimiento mediante el cual los compuestos de interés son separados de la matriz de la muestra, mientras que Harvey (2011) refiere al análisis como un conjunto de técnicas que permiten la identificación y cuantificación de dichos compuestos.

Existen diversas técnicas de extracción que pueden ser empleadas para el aislamiento de compuestos de interés presentes en muestras tanto sólidas como líquidas como se muestran en la tabla 2, la selección de una técnica apropiada se determina por diversos factores, incluyendo la naturaleza del analito, las características de la matriz de la muestra, la eficiencia de la extracción, así como consideraciones de costo y rapidez del método.

Tabla 2

Técnicas de extracción para matrices vegetales.

Técnicas de extracción				
<i>Extracción</i>	<i>Maceración</i>	<i>Extracción con</i>	<i>Extracción asistida</i>	<i>Extracción asistida</i>

<i>Soxhlet</i>		<i>Fluidos Supercríticos (SFE)</i>	<i>por microondas (MAE)</i>	<i>por ultrasonido (EAU)</i>
<i>Esta técnica utiliza un disolvente orgánico para la extracción continua de los analitos. A pesar de su eficiencia, este método requiere volúmenes sustanciales de disolvente y tiempos de extracción prolongados (Luque de Castro & Priego-Capote, 2010).</i>	<i>Consiste en sumergir el material vegetal en un volumen determinado de un solvente extractor apropiado a temperatura ambiente. La mezcla se deja reposar durante un período prolongado permitiendo que los compuestos solubles se difundan desde la matriz vegetal hacia el solvente (Azwanida, 2015).</i>	<i>Utiliza un fluido (comúnmente dióxido de carbono, CO₂) en estado supercrítico, es decir, por encima de su temperatura y presión críticas en este estado, el fluido posee propiedades intermedias entre líquido y gas, actuando como un solvente eficaz y selectivo (Reverchon & De Marco, 2006).</i>	<i>Esta técnica emplea la energía de microondas para el calentamiento de la muestra y el disolvente, lo cual acelera el proceso de extracción. Si bien reduce el tiempo de extracción y el consumo de disolvente, requiere la utilización de equipos especializados (Letellier & Budzinski, 1999).</i>	<i>Esta técnica emplea ondas de ultrasonido para facilitar la ruptura de las paredes celulares e incrementar la penetración del disolvente en la matriz de la muestra, lo cual mejora la eficiencia de la extracción (Chemat et al., 2017).</i>

Nota. Esta tabla resume algunas de las técnicas de extracción más relevantes aplicadas a matrices vegetales, la elección óptima depende del tipo de compuesto de interés, la naturaleza de la matriz vegetal, la escala de extracción y los recursos disponibles, existen otras técnicas.

2.2.4.1. Extracción Asistida por Ultrasonido (EAU)

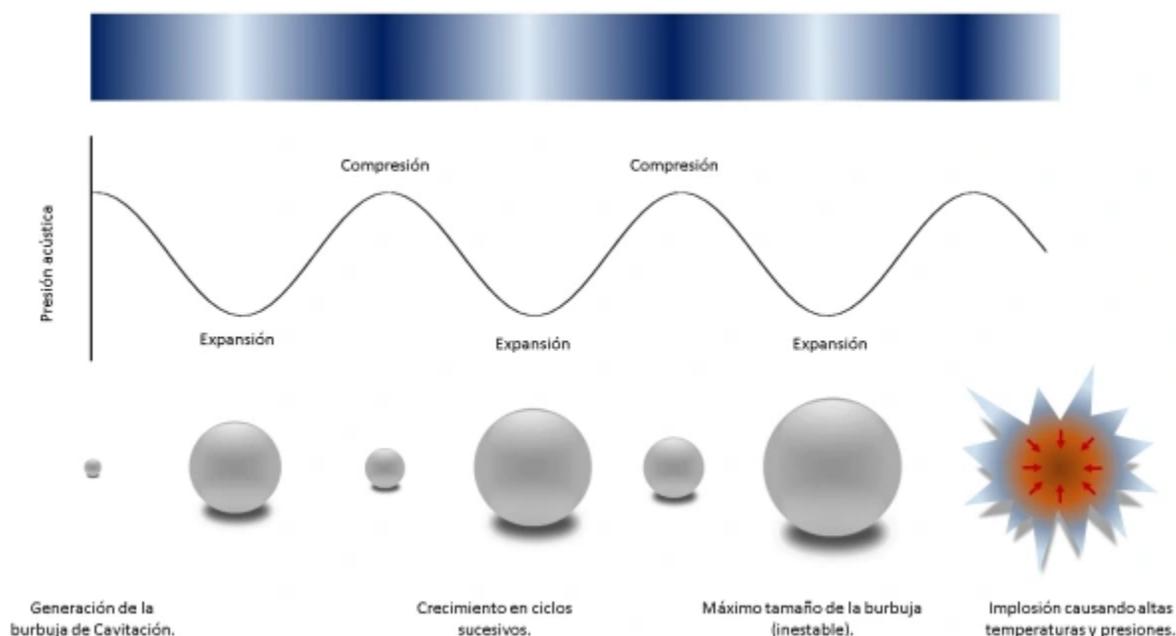
Para el presente estudio, se implementó (EAU) para la extracción de los azúcares presentes en el mucílago de cacao, esta elección se fundamentó en su capacidad demostrada para extraer eficientemente azúcares de la matriz del mucílago de cacao en tiempos cortos y con un consumo reducido de disolvente Vinatoru (2015), adicionalmente, la EAU es una técnica

relativamente simple y de bajo costo, lo cual la hace adecuada para el análisis de un gran número de muestras.

La aplicación de EUA utiliza ondas de ultrasonido para generar cavitación, un fenómeno que involucra la formación e implosión de burbujas, lo cual crea microcanales en la matriz de la muestra como se muestra en la figura 5 y, por consiguiente, mejora la transferencia de masa y la eficiencia de la extracción.

Figura 5

Desarrollo e implosión de una burbuja formada por la propagación de una onda acústica en un medio líquido.



Nota. Fuente: Tomado de Calderón et al (2019).

Una vez que los analitos han sido extraídos de la muestra, es necesario separarlos, identificarlos y cuantificarlos, mientras que la separación permitió aislar los analitos de interés, la identificación confirma su identidad química, y la cuantificación determina la cantidad

aproximada de cada analito presente, al igual que en las técnicas de extracción para el análisis se cuenta con una gran variedad de técnicas como se muestra en la tabla 3 y la selección de la técnica de análisis apropiada depende en gran medida de la naturaleza de los analitos, su concentración esperada en la muestra, la complejidad de la matriz de la muestra y los recursos disponibles.

Tabla 3

Técnicas de análisis con énfasis en carbohidratos.

Técnicas de análisis			
<i>Cromatografía de gases (GC)</i>	<i>Cromatografía líquida (LC)</i>	<i>Espectroscopía UV-Visible</i>	<i>Espectrometría de masas (MS)</i>
<i>Técnica de separación para compuestos volátiles. La muestra se vaporiza y se transporta mediante un gas portador inerte (fase móvil) a través de una columna que contiene una fase estacionaria. La separación ocurre basada en la diferente volatilidad y afinidad de los analitos por la fase estacionaria (Poole, 2012).</i>	<i>Separa los analitos en función de su polaridad y su interacción con una fase estacionaria líquida. Permite la identificación y cuantificación de monosacáridos, disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos en diversas matrices</i>	<i>Mide la cantidad de luz ultravioleta (UV) o visible (Vis) que absorbe una sustancia en solución. La absorbancia es directamente proporcional a la concentración del analito, siempre que este posea grupos funcionales (cromóforos) que absorban a una longitud de onda específica (Skoog et al., 2014).</i>	<i>Técnica analítica que mide la relación masa/carga (m/z) de iones, las moléculas de la muestra se ionizan los iones se aceleran y se separan en un analizador de masas según su m/z. El espectro de masas resultante proporciona información sobre el peso molecular y, a menudo, sobre la estructura (Sánchez y Gallo Ramírez, 2006).</i>

Nota. Esta tabla resume algunas técnicas analíticas fundamentales, la elección depende del objetivo (identificación, cuantificación, elucidación estructural), la naturaleza de los analitos (volatilidad, polaridad, presencia de cromóforos), la complejidad de la muestra y la

sensibilidad/selectividad requerida, a menudo, se utilizan combinaciones de técnicas (ej. HPLC-MS, GC-MS) para obtener información más completa.

2.2.4.2. Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)

Debido a la naturaleza intrínseca de las muestras de mucílago de cacao recolectadas, se determinó que la técnica de cromatografía líquida (LC) era la más apropiada para su análisis, sin embargo, dado que la cromatografía líquida convencional depende del efecto de la gravedad para el paso de la fase móvil a través de una columna, lo que resulta en un caudal lento y limita considerablemente el tamaño de las partículas utilizadas en la columna, se optó por la (HPLC) un tipo avanzado de (LC) que se realiza a una presión operativa significativamente mayor reduciendo considerablemente el tiempo de separación y, por consiguiente, aumenta la eficiencia Robards et al. (1994), además, las columnas de HPLC se llenan con partículas estacionarias más pequeñas que las de la LC convencional, lo que permite a la HPLC tener un mayor poder de resolución al separar mezclas BeMiller (2017) y al equiparse con detección RI resulta ser método comúnmente utilizado para el análisis de carbohidratos, ya que este tipo de compuestos tienen una baja absorbancia en el rango UV-Visible.

El principio fundamental de la HPLC se basa en la distribución diferencial de los componentes de una muestra entre dos fases: una fase estacionaria y una fase móvil, en cuanto a la fase estacionaria es un material sólido o líquido que se encuentra empaquetado en una columna, mientras que la fase móvil es un líquido que se bombea a través de la columna a alta presión Volonté, (2013) este proceso de separación aprovecha las diferencias en las interacciones de los componentes de la muestra con las fases estacionaria y móvil (Robards et al., 1994).

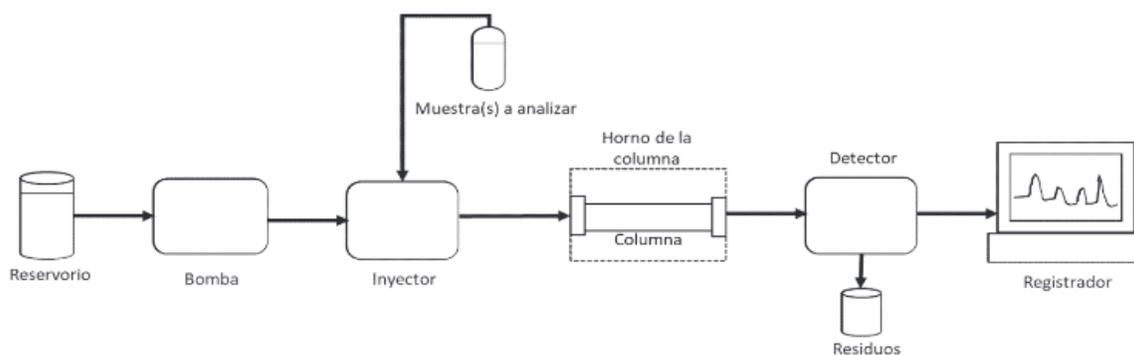
Cuando la muestra se introduce en la columna, los diferentes componentes interactúan de manera distinta con las dos fases, dependiendo de sus propiedades químicas y físicas.

Aquellos componentes con mayor afinidad por la fase estacionaria se retendrán por más tiempo en la columna, mientras que aquellos con menor afinidad eluirán más rápidamente, esta diferencia en los tiempos de retención permite la separación de los componentes de la muestra, específicamente, la separación de los constituyentes se basa en la variación entre los coeficientes de partición de las dos fases (Kumar et al., 2018).

Un cromatógrafo líquido de alto rendimiento opera generalmente con cinco instrumentos: reservorio, bomba, inyector, columna, detector y registrador Suarez Ospina y Morales Hernández (2018) como se muestra en la siguiente figura.

Figura 6

Diagrama básico de cromatografía líquida de alta eficacia.



Nota. Fuente: Adaptado por Suarez Ospina y Morales Hernández (2018).

El reservorio contiene la fase móvil, que es una parte integral del sistema HPLC, la fase cual consiste en un disolvente o una mezcla de disolventes cuidadosamente seleccionados para la elución de los analitos ya que cada disolvente tiene diferentes polaridades y capacidades de elución, lo que permite a los analistas ajustar las interacciones entre los analitos y la fase estacionaria para lograr una separación óptima, Suarez Ospina y Morales Hernández (2018).

Por su parte la bomba es responsable de impulsar la fase móvil a través de la columna a alta presión y es el componente que mantiene el flujo constante y reproducible de la fase móvil, lo cual es un factor crítico para garantizar la precisión y exactitud de los resultados analíticos, Suarez Ospina y Morales Hernández (2018).

El inyector introduce la muestra en la corriente de la fase móvil asegurando que la cantidad correcta de muestra llegue a la columna, estos inyectores pueden ser manuales o automáticos, sin embargo, los inyectores automáticos permiten una mayor precisión y reproducibilidad, especialmente cuando se analizan grandes cantidades de muestras, Suarez Ospina y Morales Hernández (2018).

La columna es el corazón del sistema HPLC, ya que alberga la fase estacionaria, un material que interactúa selectivamente con los componentes de la muestra, propiciando su separación en función de sus propiedades fisicoquímicas. Existe una amplia variedad de tamaños y con diferentes tipos de fases estacionarias, lo que permite a los analistas optimizar la separación para una amplia gama de analitos, Suarez Ospina y Morales Hernández (2018).

El detector cuantifica los componentes separados a medida que eluyen de la columna, generando una señal proporcional a su concentración, para ello se emplean diversos tipos de detectores, incluyendo detectores de UV-Vis, fluorescencia, electroquímicos y de espectrometría de masas, cada uno con ventajas y aplicaciones específicas, la elección del detector depende de las propiedades de los analitos que se van a analizar y de la sensibilidad requerida, Suarez Ospina y Morales Hernández (2018).

Continuamente el registrador o sistema de adquisición de datos, procesa las señales emitidas por el detector, transformándolas en información útil para la identificación y cuantificación de los analitos, como cromatogramas y concentraciones, estos sistemas suelen estar basados en ordenadores y utilizan software especializado para el análisis de los datos cromatográficos, Suarez Ospina y Morales Hernández (2018).

2.2.5. Desarrollo sostenible y economía circular

La valorización de subproductos agroindustriales, como el mucílago de cacao, contribuye a reducir el desperdicio de alimentos y promueve una gestión más eficiente de los recursos naturales, es por ello que la caracterización de compuestos bioactivos presentes en el mucílago, como los azúcares, abre nuevas posibilidades para el desarrollo de productos con alto valor agregado, fomentando una economía más circular y sostenible.

Según Ellen MacArthur Foundation (2013), la economía circular busca cerrar los ciclos de vida de los productos, minimizando la generación de residuos y maximizando la eficiencia en el uso de recursos.

2.3. Marco legal

El presente estudio se enmarca dentro de un contexto legal que reconoce la importancia del desarrollo sostenible, la conservación de la biodiversidad y el aprovechamiento responsable de los recursos naturales, especialmente en regiones de alta importancia ecológica y social como Tumaco, Nariño, en este sentido, se fundamenta y orienta por un conjunto de disposiciones legales y normativas nacionales e internacionales como regionales que abarcan; la investigación científica, la protección ambiental, el sector agropecuario, el aprovechamiento de subproductos y la promoción de la innovación.

A nivel internacional, la presente investigación se alinea con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, adoptada por la Asamblea General de las Naciones Unidas (2024), en su Objetivo 12 donde menciona la necesidad de garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, objetivo que llama a los países a reducir el desperdicio, fomentar la eficiencia en el uso de los recursos y promover prácticas agrícolas sostenibles que minimicen el impacto ambiental-, al proponer el aprovechamiento del mucílago de cacao, un subproducto que tradicionalmente se desecha, contribuyendo así a la reducción del desperdicio de alimentos y a la generación de valor a partir de un recurso subutilizado.

A nivel nacional, la presente investigación se enmarca en los principios de la política ambiental colombiana al proponer el aprovechamiento sostenible además renovable del mucílago de cacao, contribuyendo al desarrollo económico de la región sin comprometer su biodiversidad ni su capacidad para satisfacer las necesidades de las generaciones futuras como se establece en la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables encargado por el Ministerio del Medio Ambiente en el marco constitucional que se desarrolla en la Ley 99 de 1993 donde se establece los principios generales de la política ambiental colombiana, incluyendo “el principio de desarrollo sostenible” que se sustenta en la Constitución Política de Colombia de 1991 en su Artículo 79 sobre el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano y el deber del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente y conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines (Congreso de la República de Colombia, 1991)

Asimismo, el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), ratificado por Colombia mediante la Ley 165 de 1994 (Congreso de la República de Colombia, 1994), reconoce la importancia de la conservación de la diversidad biológica y el uso sostenible de sus componentes, estableciendo que los países deben promover el desarrollo y uso de tecnologías que no causen daños significativos al medio ambiente, lo cual es fundamental en el contexto de esta investigación, que busca desarrollar métodos de extracción y análisis de los azúcares del mucílago de cacao que sean eficientes y sostenibles.

Además, este estudio se alinea con los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 "Colombia Potencia Mundial de la Vida" (Departamento Nacional de Planeación, 2023), que busca promover la bioeconomía y el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad como motores de desarrollo económico y social.

A nivel regional, el departamento de Nariño cuenta con una serie de políticas y estrategias que promueven el desarrollo sostenible y el aprovechamiento de los recursos naturales de manera responsable, el Plan de Desarrollo Departamental de Nariño 2024-2027,

por ejemplo, establece entre sus objetivos estratégicos el fortalecimiento de la producción agrícola sostenible y la promoción de la bioeconomía como motores de desarrollo regional (Gobernación de Nariño, 2024).

En cuanto a la investigación científica, la Constitución Política de Colombia (1991) sienta las bases para el desarrollo de esta investigación, particularmente a través de sus artículos que promueven la ciencia y la cultura, y la protección del ambiente, por ejemplo; el Artículo 70 consagra el deber del Estado de promover el acceso a la cultura y la enseñanza científica, mientras que el Artículo 71 garantiza la libertad en la búsqueda del conocimiento y el fomento a las ciencias en los planes de desarrollo, además, y de manera crucial para un proyecto que involucra recursos naturales y sus subproductos, el Artículo 79 establece el derecho a un ambiente sano y el deber del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente, complementariamente, el Artículo 80 mandata al Estado la planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para asegurar su desarrollo sostenible (Constitución Política de Colombia, 1991).

Por su parte el sector agropecuario y, específicamente, la cadena del cacao, cuentan con un marco normativo robusto, parte del cual es compilado y divulgado por Fepcacao, Federación Nacional de Cacaoteros (Fep Cacao, s.f.), una de ellas la Ley 101 de 1993, o Ley General de Desarrollo Agropecuario y Pesquero, establece las directrices para la protección y fomento de las actividades del sector, buscando su competitividad y sostenibilidad, en este contexto, la Ley 811 de 2003 cobra particular relevancia al crear las organizaciones de cadenas en el sector agropecuario, incluyendo la del cacao, con el fin de mejorar su articulación y desempeño.

La innovación, un pilar de la presente investigación que busca valorizar el mucílago, la cual encuentra un fuerte respaldo en la Ley 1286 de 2009, que transforma Colciencias en el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación y fortalece el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (Ley 1286, 2009).

Este estudio contribuye al logro de estos objetivos al proponer el aprovechamiento del mucílago de cacao, un subproducto de la producción cacaotera que puede generar valor agregado y contribuir al desarrollo económico de la región, abarcando desde acuerdos internacionales hasta políticas regionales, proporciona el contexto y la justificación para investigar el potencial del mucílago de cacao como un recurso valioso para la generación de valor agregado y el desarrollo económico.

3. Metodología

3.1. Paradigma y enfoque

Esta investigación se enmarcó dentro del paradigma positivista y adopta un enfoque cuantitativo, permitiendo la identificación y cuantificación precisa de los azúcares predominantes en el mucílago del cacao. La aplicación de estos marcos conceptuales garantiza un análisis metódico y sistemático de los datos, fortaleciendo la validez y confiabilidad de los hallazgos obtenidos.

El positivismo, tal como lo define Chalmers (1999), se fundamenta en la obtención de conocimiento objetivo y verificable a través de la medición empírica y la observación sistemática de los fenómenos, en este sentido, el presente estudio se alinea con esta perspectiva epistemológica, ya que la cuantificación de los azúcares en el mucílago de cacao requiere un enfoque metodológico riguroso basado en evidencia empírica y mediciones reproducibles.

Desde este punto de vista, la realidad es concebida como un conjunto de fenómenos medibles y observables, lo que permite el establecimiento de relaciones causales precisas entre variables experimentales, esta concepción resulta esencial para el presente estudio, ya que posibilita la evaluación objetiva de la composición química del mucílago y su relación con las condiciones de extracción implementadas.

El diseño metodológico adoptado correspondió a un enfoque cuantitativo, el cual posibilita la extrapolación de los resultados obtenidos a una población más amplia y la formulación de inferencias estadísticas robustas, según Hernández et al. (2014), la investigación cuantitativa es particularmente adecuada para la validación de hipótesis y la medición de fenómenos de manera estructurada, lo que resulta crucial para la consecución de los objetivos planteados en este estudio.

3.2. Tipo de investigación

La presente investigación se enfocó en la realización de un estudio de tipo descriptivo ya que este tipo de investigación permite la recolección de información y la descripción de fenómenos concretos, y su posterior análisis e interpretación.

Según Alban (2020) “la investigación descriptiva tiene como objetivo describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando criterios sistemáticos que permiten establecer la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionando información sistemática y comparable”.

Además, este enfoque se basa en la idea de que la realidad puede ser medida y observada de manera precisa, lo que nos permite establecer relaciones causales entre los fenómenos observados, siendo de gran utilidad para esta investigación, ya que nos permitirá analizar los datos obtenidos de manera objetiva y precisa.

3.3. Técnicas de recolección de la información

Para profundizar en el análisis cuantitativo del estudio, se optó por emplear herramientas y estrategias que garantizaran la precisión de los datos y su posterior interpretación. El enfoque cuantitativo, al centrarse en la recopilación de datos numéricos y su análisis estadístico, permite establecer patrones, relaciones y tendencias de manera objetiva (Creswell & Plano Clark, 2011). Este enfoque fue crucial para responder a las preguntas de

investigación planteadas y garantizar la validez de los resultados obtenidos, alineándose con el paradigma positivista que sustenta el estudio.

En el marco de las técnicas de recolección de datos, se utilizó un diario de campo como complemento para registrar observaciones relevantes durante el desarrollo de la investigación. Aunque el enfoque principal fue cuantitativo, el diario permitió documentar incidencias, decisiones metodológicas y detalles contextuales que enriquecieron la interpretación de los resultados, asegurando una mayor rigurosidad en el proceso de análisis.

3.4. Diseño experimental

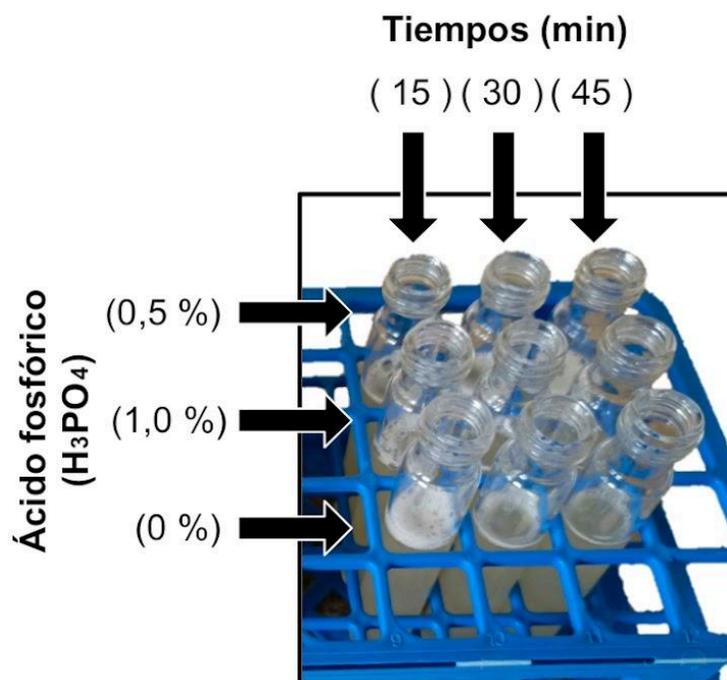
El presente estudio tiene como objetivo general: determinar la composición de azúcares mayoritarios presentes en el mucílago de cacao (*Theobroma cacao L.*) tipo Criollo proveniente de la vereda Restrepo, ubicada en Tumaco, Nariño, Colombia, para alcanzar este objetivo, se plantea evaluar las condiciones óptimas de extracción de azúcares utilizando la técnica de (EAU), identificar los tipos de azúcares mayoritarios presentes mediante (HPLC) y, finalmente, cuantificarlos a través del uso de estándares internos.

En este contexto se llevó a cabo un diseño experimental factorial con el objetivo de evaluar de forma independiente el efecto de dos variables críticas sobre la composición de azúcares en el mucílago de cacao: el tiempo de extracción y la concentración de ácido fosfórico (H_3PO_4), utilizado como catalizador ácido en el proceso de solubilización de carbohidratos.

En cuanto al tiempo de extracción, se definieron tres niveles: 15 minutos (bajo), 30 minutos (medio) y 45 minutos (alto), en cuanto a la concentración de H_3PO_4 , se establecieron también tres niveles: 0.0 % (bajo), 0.5 % (medio) y 1.0 % (alto) como se observa en la figura 7. La combinación de estos niveles permitió identificar mejor los efectos independientes de cada factor, como se detalla en la tabla 4.

Figura 7

Diseño experimental, preparación de muestras.



Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4

Diseño experimental, (concentración de ácido y tiempo de extracción).

Diseño experimental		
<i>Tratamiento</i>	<i>Tiempo de Extracción (min)</i>	<i>Concentración de H₃PO₄ (%)</i>
1	15	0.0
2	15	0.5
3	15	1.0
4	30	0.0
5	30	0.5
6	30	1.0
7	45	0.0
8	45	0.5
9	45	1.0

Nota. Fuente: Elaboración propia.

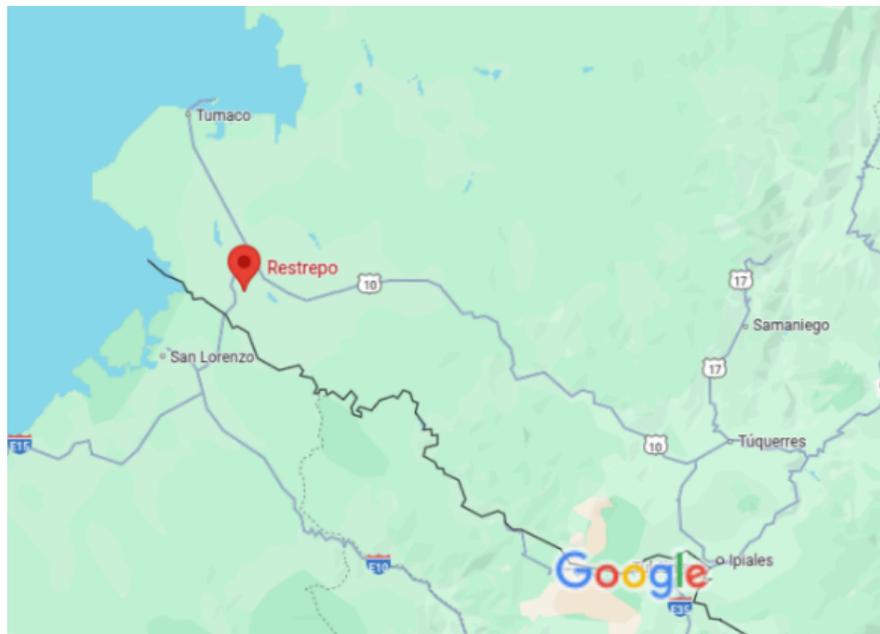
La elección de estos parámetros se fundamenta en literatura especializada que evidencia el impacto significativo del tiempo de sonicación en la eficiencia de la (EAU), técnica que facilita la disrupción de membranas celulares y la liberación de metabolitos intracelulares Vinatoru (2015). Paralelamente, se ha demostrado que el uso de soluciones ácidas, como el ácido fosfórico en bajas concentraciones, incrementa la solubilización de polisacáridos y otros carbohidratos al favorecer la ruptura de enlaces glicosídicos en matrices vegetales complejas (Huang et al., 2022).

3.4.1. Muestreo y recolección

La recolección de muestras del mucílago de cacao de tipo trinitario se realizó en la vereda Restrepo de Tumaco-Nariño, en las coordenadas aproximadas 1.412151932436901 de latitud y -78.67041881820946 de longitud, con el consentimiento de los propietarios de las fincas, siguiendo las normativas éticas y protocolos de bioseguridad correspondientes, este proceso de muestreo constó de dos fases; en la primera, se llevó a cabo un muestreo intencional, seleccionando frutos de cacao que cumplieran con criterios establecidos de calidad y madurez, posteriormente, dentro de este grupo preseleccionado, se aplicó un muestreo aleatorio simple, garantizando que cada muestra tuviera la misma probabilidad de ser elegida, lo que favoreció la representatividad y minimizó posibles sesgos.

Figura 8

Ubicación vereda Restrepo Tumaco, Nariño.



Datos del mapa ©2025 20 km

Nota. Fuente: Google, (s.f.).

Debido a la diversidad genética presente en el cultivo seleccionado, donde coexisten diferentes variedades de cacao (Anexo 5), se determinó recolectar exclusivamente muestras de un mismo tipo, específicamente *Theobroma cacao* L. Criollo.

Esta decisión metodológica se fundamentó en la necesidad de garantizar la homogeneidad de la muestra y minimizar la variabilidad en la composición de azúcares que podría derivarse de las diferencias genéticas entre los tipos de cacao, al restringir el muestreo a un solo tipo, se buscó reducir el sesgo experimental y aumentar la precisión y confiabilidad de los resultados del análisis.

Una vez seleccionadas las muestras sanas y maduras de cacao, se procedió a su procesamiento; Los frutos fueron cortados cuidadosamente para extraer las almendras, las cuales fueron posteriormente desgranadas manualmente, el mucílago fue extraído por gravedad en recipientes ámbar. Posterior a la extracción, las muestras de mucílago fueron transportadas bajo condiciones refrigeradas al laboratorio de cromatografía de la Universidad

de Nariño. Allí, se almacenaron a una temperatura controlada para preservar sus componentes químicos y evitar la degradación enzimática.

Este protocolo de muestreo garantiza la trazabilidad y la reproducibilidad de los resultados, alineándose con metodologías estándar en estudios de valorización de subproductos agrícolas similares como la de Rodríguez-Castro et al. (2024) en la preparación de mucílago de cacao para la fermentación de kombucha.

3.4.2. Preparación de muestras

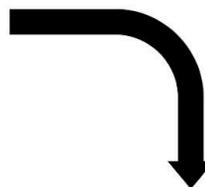
Con el fin de liberar los compuestos de interés, las muestras de mucílago de cacao fueron sometidas a una serie de procesos (figura 9), para su preparación antes del análisis, los cuales se detallan a continuación.

Figura 9

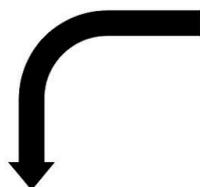
Preparación y almacenamiento de las muestras.



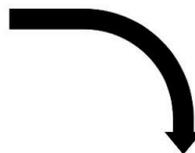
Muestras de mucílago de cacao



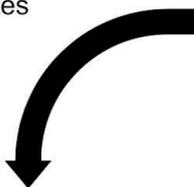
Adición de ácido fosfórico
concentración correspondiente



Extracción asistida por
ultrasonido (EUA) tiempos
correspondientes



Centrifugación a 2500 rpm
por un tiempo de 10 minutos



Almacenamiento de muestras

Nota. Fuente: Elaboración propia

Inicialmente, el mucílago fue obtenido directamente de las semillas de cacao, posteriormente, se procedió con la extracción de los compuestos de interés mediante la aplicación de (EAU) el cual se llevó a cabo en un equipo Branson Ultrasonics, operando a una temperatura controlada de 25 °C y una frecuencia de 3000 Hz, es importante destacar que tanto el tiempo de extracción como la concentración de ácido fosfórico (H_3PO_4) fueron modulados de acuerdo con los parámetros específicos establecidos para cada tratamiento experimental.

Una vez completada la extracción, las muestras fueron sometidas a un proceso de centrifugación a 2500 rpm durante un intervalo de tiempo de 10 minutos, con la finalidad de separar los sólidos insolubles presentes en el mucílago, obteniéndose de este modo un sobrenadante clarificado.

El sobrenadante así obtenido fue posteriormente sometido a un proceso de filtración a través de un filtro de membrana con un tamaño de poro de 0.22 μm y así eliminar cualquier partícula sólida residual que pudiera persistir en la muestra, asegurando de este modo la obtención de un analito exento de impurezas.

3.4.3. Análisis cromatográfico

El análisis cuantitativo de los azúcares presentes en los extractos de mucílago de cacao se llevó a cabo mediante HPLC en un cromatógrafo líquido HPLC LC-40 marca Shimadzu. Previo al análisis, se prepararon soluciones patrón de glucosa, fructosa y sacarosa a partir de un reactivo ultrapuro marca Sigma Aldrich y a una concentración de 500 ppm en agua acidificada, estas soluciones se utilizaron para construir curvas de calibración y cuantificar los azúcares en las muestras.

Para la separación, se empleó una columna cromatográfica Biorad HX-87 y una fase móvil H_2SO_4 5mM a un flujo de 0,2 mL/min, a una temperatura de 30 °C, y a un volumen de inyección 5 μ L. Cada muestra se inyectó en el sistema HPLC, y los compuestos se separaron

en función de su afinidad por la fase estacionaria y móvil; la detección de los azúcares se realizó mediante un detector RID a 30 °C y a 0,2 mL/min, finalmente los datos obtenidos se procesaron utilizando el software cromatográfico Shimadzu LabSolutions para la identificación y cuantificación de los compuestos.

Los picos cromatográficos fueron integrados y los picos correspondientes a los azúcares de interés fueron cuantificados utilizando curvas de calibración previamente generadas. Las condiciones se presentan en la tabla 5.

Tabla 5

Condiciones cromatográficas.

Condiciones cromatográficas.						
<i>Equipo</i>	<i>Columna</i>	<i>Fase móvil</i>	<i>Flujo</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Volumen de inyección</i>	<i>Detector</i>
<i>HPLC Thermo Scientific Ultimate 3000 RS</i>	<i>Biorad HX-87</i>	<i>H₂SO₄</i>	<i>0,2 mL/min</i>	<i>30 °C</i>	<i>5 µL</i>	<i>RID</i>

Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.4.4. Análisis de datos obtenidos

Cada tratamiento se replicó tres veces para asegurar la reproducibilidad de los resultados, se realizaron análisis estadísticos con el Software *Statgraphics Centurion XV*, para evaluar la significancia de las diferencias entre tratamientos, y finalmente comparar con datos bibliográficos y obtener conclusiones finales.

Para evaluar la influencia de los diferentes factores experimentales (tiempo de extracción, concentración de ácido fosfórico) sobre el área cromatográfica, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), una técnica estadística fundamental que permite comparar las medias de varios grupos y determinar si existen diferencias significativas entre ellos (Montgomery, 2021), esta técnica permitió descomponer la variabilidad total del área en

componentes atribuibles a cada factor y a sus interacciones, lo que facilitó la identificación de los factores más influyentes en el proceso de extracción.

4. Análisis de resultados

Para determinar la composición de azúcares mayoritarios en el mucílago de cacao se implementó una metodología rigurosa combinando técnicas como la (EAU) y el análisis cromatográfico, esta combinación de técnicas permitió optimizar la extracción de compuestos de interés y garantizar la identificación y cuantificación precisa de los azúcares presentes en las muestras.

Para garantizar la calidad y confiabilidad de los resultados, se seleccionaron únicamente frutos de cacao sanos y maduros (Anexo 4), esto con el objetivo de asegurar que las muestras estén libres de enfermedades o daños que puedan afectar la composición química del mucílago, además de garantizar el desarrollo completo del fruto.

Figura 10

Selección muestras de cacao (Theobroma cacao L.) Criollo.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura 9, las muestras presentan una apariencia sana y homogénea, lo cual es fundamental para obtener datos representativos y precisos en el análisis del mucílago.

4.1. Evaluación de las condiciones óptimas de extracción

Se determinó que la preparación y extracción, llevadas a cabo en diversas concentraciones de ácido fosfórico (0.10 %, 0.5 % y 1.0 %), facilitaron de manera la solubilización de los compuestos, en virtud de la capacidad del ácido para hidrolizar los polisacáridos como se sugiere en estudios previos (Fernández et al., 2020).

Además, el uso de ácidos en bajas concentraciones reduce el riesgo de descomposición de los azúcares, lo que es esencial para mantener la integridad de los compuestos extraídos (Suksom et al., 2015). Esta selectividad y la minimización de la degradación son fundamentales para obtener resultados precisos y confiables en el análisis cromatográfico.

El uso de bajas concentraciones de ácido fue crucial para prevenir la degradación de los azúcares durante el proceso de extracción ya que las concentraciones bajas de ácidos favorecen la selectividad en la separación de carbohidratos, y su posterior análisis en cromatografía, donde la retención de azúcares se puede ajustar mediante la concentración de OH^- (Grimm & Seubert, 2004).

El ultrasonido, por su parte, mejora la transferencia de masa y la eficiencia de extracción, reduciendo el tiempo de proceso y el uso de solventes, Kumar et al. (2020), en comparación con los métodos de extracción convencionales, como la extracción Soxhlet o la maceración, la (EAU) presenta varias ventajas significativas comparando con métodos convencionales que a menudo requieren grandes volúmenes de solventes y tiempos de extracción prolongados, que puede llevar a la degradación de compuestos sensibles y generar una mayor cantidad de residuos, la EAU, al usar ondas ultrasónicas para facilitar la ruptura de

las paredes celulares permite una mayor penetración del solvente y, por lo tanto, una extracción más eficiente de los analitos de interés, mejorando la transferencia de masa la cual se traduce en tiempos de extracción más cortos y una reducción en el consumo de solventes, lo que la convierte en una técnica más amigable con el medio ambiente (Chemat et al., 2017).

Las implicaciones del uso de EAU en el contexto del análisis de azúcares en el mucílago de cacao son diversas; en primer lugar, la reducción en el tiempo de extracción y el consumo de solventes puede disminuir los costos asociados con el análisis, así como minimizar el impacto ambiental del proceso, en segundo lugar, la mayor eficiencia de extracción y la selectividad mejorada pueden conducir a resultados más precisos y confiables, lo que es crucial para la caracterización precisa de la composición del mucílago, sin embargo, es importante tener en cuenta que la eficacia de la EAU puede depender de varios factores, como la naturaleza de la matriz de la muestra, las propiedades del solvente y los parámetros del proceso de ultrasonido, por lo tanto, la optimización cuidadosa de estos factores es esencial para garantizar resultados óptimos.

Consecuentemente, la centrifugación permitió obtener un extracto libre de partículas, ya que esta es esencial para eliminar el material particulado y obtener un extracto claro, lo cual es fundamental para las posteriores etapas de análisis.

El sobrenadante obtenido fue filtrado a través de un filtro de membrana de 0.22 μm con dos propósitos principales; primero, para eliminar cualquier partícula sólida residual que pudiera obstruir la columna cromatográfica, y segundo, para prevenir posibles interferencias que estas partículas podrían causar en la detección y cuantificación de los azúcares, para finalmente ser inyectado en el cromatógrafo.

Al analizar los datos obtenidos de los cromatogramas y sus replicados, mediante análisis estadístico ANOVA, se determinó que el tiempo óptimo de extracción fue de 30 minutos y que las concentraciones de ácido fosfórico de 0% y 0.5% mostraron la mayor eficiencia en la extracción de azúcares del mucílago de cacao, específicamente, se determinó que la

extracción con ácido fosfórico al 0% y 0.5% durante un período de 30 minutos maximizó la recuperación de los azúcares de interés, concentraciones de ácido fosfórico más elevadas o tiempos de extracción prolongados no produjeron mejoras significativas en la recuperación y, en algunos casos, pudieron haber provocado la degradación de los azúcares presentes, el análisis estadístico detallado se presenta en la sección 4.4. del presente documento.

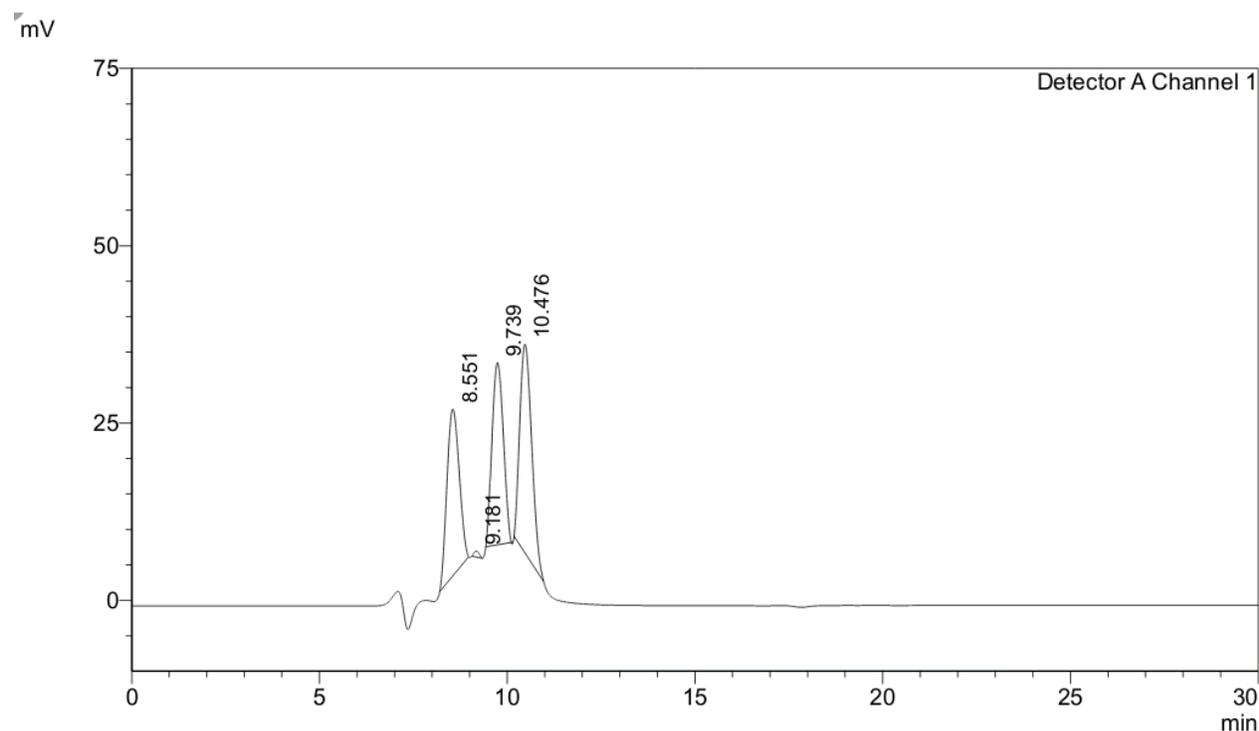
4.2. Análisis cualitativo de los azúcares del mucílago de cacao

Los azúcares fueron identificados comparando los tiempos de retención de los picos de la muestra con aquellos de los estándares puros de fructosa, glucosa y sacarosa (Sigma-Aldrich, pureza $\geq 99\%$).

La siguiente figura detalla los picos cromatográficos presentes en una muestra de mucílago de cacao obtenido en la vereda de Restrepo Tumaco, Nariño.

Figura 11

Cromatograma de muestra de cacao, detector RI.

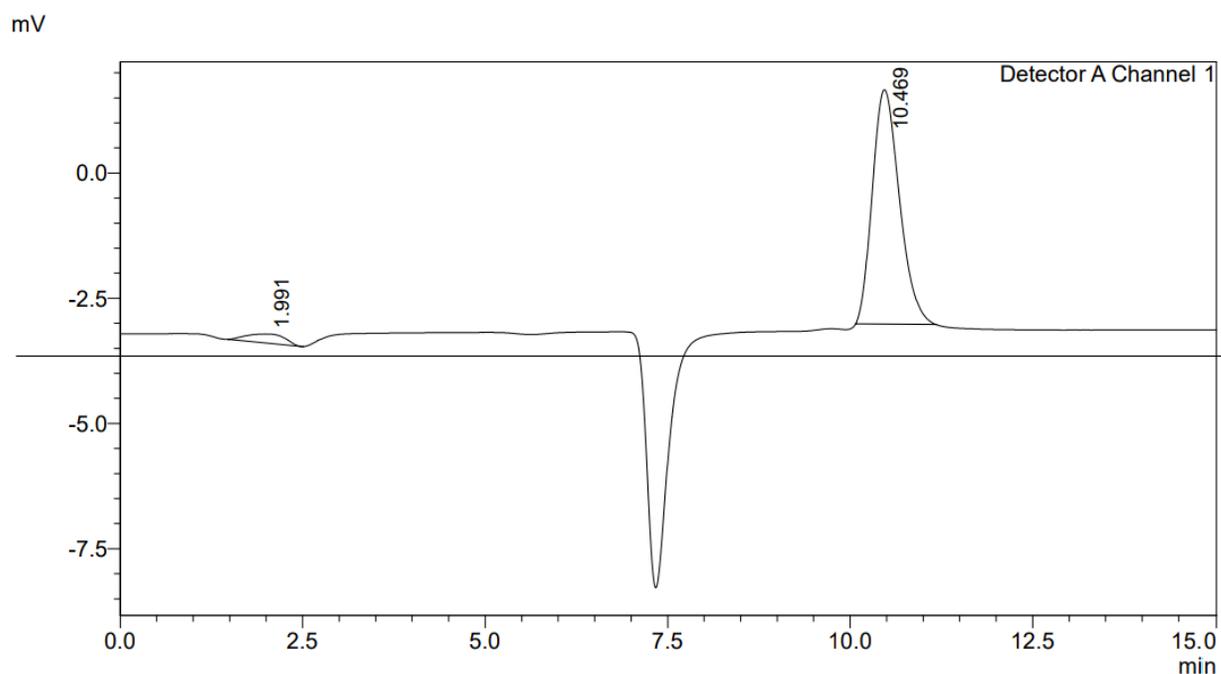


Nota. Fuente: Elaboración propia.

Para poder identificar los compuestos se utilizó el método de estándares internos, comparando los tiempos de retención de los picos obtenidos en los cromatogramas de las muestras con los de los estándares puros de fructosa, glucosa y sacarosa, a una concentración de 500 ppm, dando como resultado los siguientes cromatogramas.

Figura 12

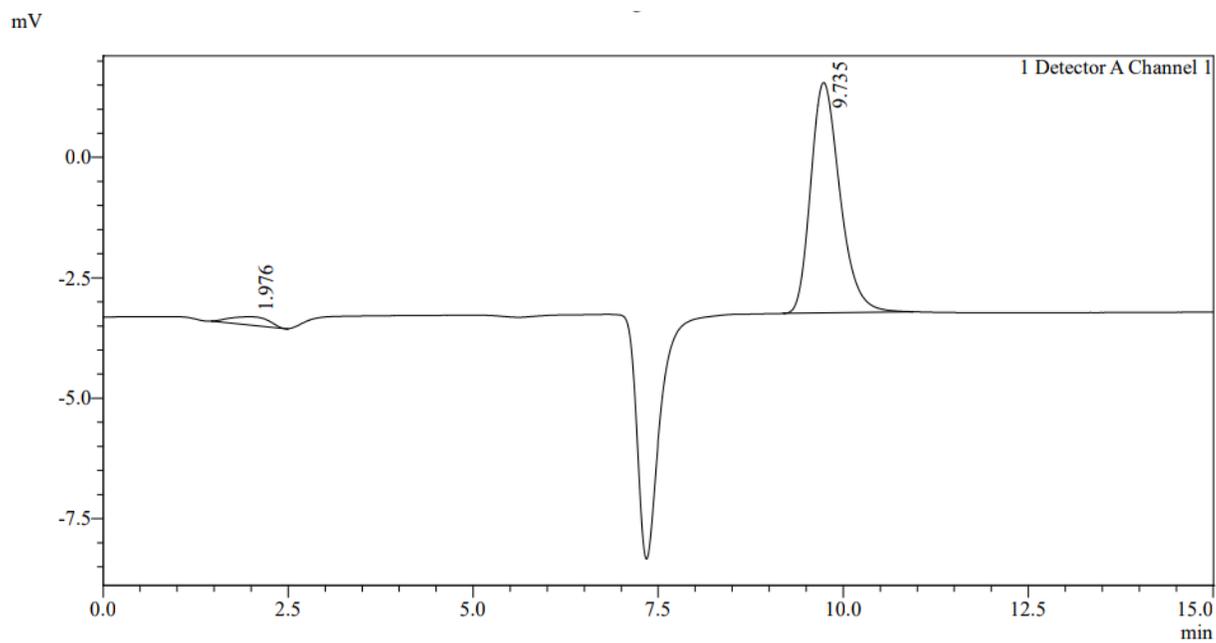
Cromatograma estándar de Fructosa a 500 ppm, detector RI.



Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 13

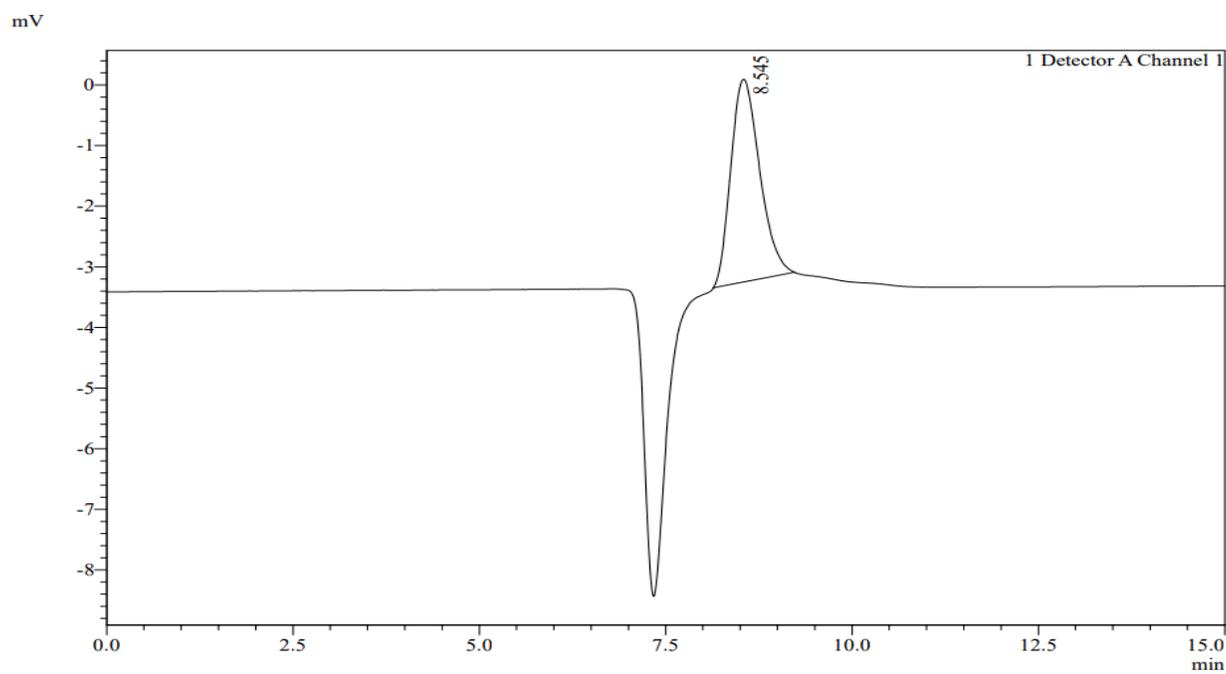
Cromatograma estándar de Glucosa a 500 ppm, detector RI.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 14

Cromatograma estándar de Sacarosa a 500 ppm, detector RI.



Nota. Fuente: Elaboración propia

La tabla 6 muestra los tiempos de retención obtenidos para los estándares puros y para los picos correspondientes en los cromatogramas de una de las muestras. Se considera que un compuesto está presente en la muestra si el tiempo de retención del pico de la muestra coincide con el tiempo de retención del estándar correspondiente.

La concordancia de los tiempos de retención permitieron la identificación inequívoca de los azúcares presentes en el mucílago de cacao, de la siguiente manera.

Tabla 6

Tiempos de retención, comparación de los estándares y muestra.

Tiempos de retención (min)			
<i>Patrones</i>		<i>Muestra</i>	
		<i>Pico No.</i>	
Sacarosa	8.545	1	8.551
Glucosa	9.735	3	9.739
Fructosa	10.469	4	10.476

Nota. Fuente: Elaboración propia

No se detectaron otros sacáridos como la lactosa o la maltosa en las condiciones cromatográficas empleadas, lo que sugiere que estos compuestos no están presentes en cantidades significativas en las muestras analizadas o que se encuentran por debajo del límite de detección del método sin embargo Piracoca-Robles, (2022) menciona la cuantificación de maltosa presente en el mucílago de cacao, además, otros estudios realizados hasta la fecha, y ejemplificados por la investigación de Villaroel-Bastidas et al. (2023), tienden a proporcionar un perfil general de los azúcares presentes, al igual que sin especificar la correspondencia de cada compuesto individual, no obstante, la presente investigación se caracteriza por extender la información concerniente a la región de un modo más específico.

Por otro lado, los resultados concuerdan con los hallazgos de estudios previos que sugieren que la (EAU) es una técnica eficiente y selectiva para obtener compuestos bioactivos a partir de matrices vegetales, minimizando la formación de productos o degradación de compuestos de interés (Huang et al., 2022).

4.3. Análisis cuantitativo de los azúcares del mucílago de cacao

Una vez identificados los azúcares presentes en el mucílago de cacao mediante análisis cualitativo, se procedió a determinar su concentración de manera cuantitativa a partir de los cromatogramas obtenidos, con los cuales se construyeron curvas de calibración para cada azúcar, graficando el área del pico en función de la concentración.

Posteriormente, la concentración de cada azúcar en las muestras se determinó comparando el área del pico correspondiente en el cromatograma de la muestra con el área del pico del estándar correspondiente a 500 ppm con la ecuación 1.

$$C_M = \frac{\text{Área}_M \times C_S}{\text{Área}_S} \quad (1)$$

Donde:

C_M : Concentración de la muestra en ppm.

C_S : Concentración del estándar en ppm.

Área_M : Área de la muestra

Área_S : Área del estándar

Continuamente, con los valores obtenidos fueron definidos en términos de gramos del compuesto por litro de mucílago de cacao, con la finalidad de facilitar la comparación de los resultados con otros estudios científicos y normativas internacionales, así como para

proporcionar una unidad de medida más intuitiva y directamente aplicable, con un factor de conversión de 1000, teniendo en cuenta que ppm representa los miligramos por litro, entonces al dividir por este factor se obtendría las unidades deseadas.

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 7

Concentración de azúcares en el mucílago de cacao.

Concentración de azúcares en el mucílago de cacao					
<i>Compuesto</i>	<i>Concentración (g/L)</i>	<i>Concentración (%)</i>	<i>Tiempo de retención</i>	<i>Área</i>	<i>% Área</i>
Fructosa	3,33	0,33	10.474	794960	38.545
Glucosa	2,40	0,24	9.738	649610	31.497
Sacarosa	3,10	0,31	8.551	609519	29.553
Azúcares totales	8,88	0,88	N/A	2053089	99.595

Nota. Fuente: Elaboración propia

Segun Arias-Giraldo y López-Velasco (2019) los azúcares identificados en el mucílago de cacao, glucosa, sacarosa y fructosa, presentan un gran potencial para su aplicación en la industria alimentaria ya que estos monosacáridos y disacáridos son ampliamente utilizados, como edulcorantes naturales y aportan un sabor dulce característico a los alimentos y bebidas y desempeñan un papel fundamental en la estructura y textura de los productos, actuando como humectantes y agentes de fermentación.

Por ejemplo, la glucosa y la fructosa son comúnmente utilizadas en la producción de confitería, productos horneados y bebidas refrescantes, mientras que la sacarosa es un edulcorante versátil empleado en una amplia variedad de productos alimenticios como lo mencionan Arciniega-Alvarado y Espinoza-León (2020).

También pueden ser utilizados como sustrato para la producción de otros biocombustibles de segunda generación, como el biobutanol, que presenta ventajas en términos de eficiencia energética y menor corrosividad como lo menciona Arciniega-Alvarado y Espinoza-León (2020).

En cuanto a la comparación con literatura existen diferencias en la concentraciones como se muestran en la tabla 8 y aunque en los estudios revisados no establecen una relación directa entre las condiciones y la composición de azúcares del mucílago de cacao, se puede inferir que existe una influencia, por ejemplo el estudio realizado por Garay-Peralta (2024), demostró que la respuesta del cacao en general a una temperatura, precipitación, humedad relativa y viento relativo afecta la expresión de su potencial productivo, así como su morfología y rendimiento.

Tabla 8

Comparación de la concentración de azúcares presentes en el mucílago de cacao en diferentes zonas.

<i>Azúcares presentes mucílago de cacao en diferentes zonas en (%)</i>						
<i>Compuesto</i>	Vereda Restrepo, Tumaco Nariño	Costa Ecuatoriana Balladares et al. (2016)	Occidente venezolano Romero y Zambrano (2012)			Sulawesi del Sur, Indonesia Laylah et al. (2023)
Fructosa	0,33	0,54	0,65	0,41	0,36	3.84–11.09
Glucosa	0,24	0,26	0,19	0,29	0,28	
Sacarosa	0,31	0,27	0,77	0,82	1,08	0.33–0.88
Azúcares totales	0,88	1,07	1,61	1,52	1,72	4.28–11.91

Nota. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Balladares et al (2016), Romero y Zambrano (2012) y Laylah et al. (2023).

Al analizar los datos presentados en la Tabla 8 revela una variabilidad significativa en las concentraciones de glucosa, fructosa y sacarosa reportadas en los diferentes estudios, por ejemplo; la concentración de glucosa varía desde un 0.19% Romero y Zambrano (2012) hasta un 2.13 % Balladares et al. (2016), estas diferencias pueden atribuirse a una combinación de factores, incluyendo la relatividad del porcentaje en la expresión de concentración, las diferentes variedades de cacao estudiadas, el grado de madurez de las mazorcas al momento de la cosecha y las condiciones ambientales específicas de las regiones donde se llevaron a cabo los estudios.

Además, Arribas et al. (2022) señalan que la calidad del grano de cacao está influenciada por factores ambientales, genéticos y de manejo agronómico, donde las condiciones climáticas juegan un papel crucial en el desarrollo del cultivo, por ello González-Orozco y Pesca (2022) abordan la falta de una regionalización biogeográfica detallada y actualizada del cacao cultivado en Colombia, donde proponen una nueva regionalización basada en la distribución de fincas productoras de cacao en el país, identificando regiones, subregiones y provincias y destaca la importancia de la biogeografía como un indicador de la expansión agrícola del cacao en Colombia donde sugiere que esta clasificación biogeográfica actualizada podría ser una herramienta valiosa para la planificación agrícola y el desarrollo de denominaciones de origen.

4.4. Análisis estadístico

Con el objetivo de evaluar la efectividad de la metodología empleada y establecer el nivel de confianza de los resultados obtenidos, se realizó un análisis estadístico de los datos, para ello el diseño experimental utilizado, fue un factorial 3^2 con dos factores (tiempo y concentración de ácido) y 3 niveles (bajo, medio y alto para cada uno) resultando en un total de 9 experimentos como se muestra en la tabla 9 y tres réplicas por cada combinación de

factores, generando un conjunto de datos de 27 resultados, lo que permitió realizar un análisis robusto y confiable.

Tabla 9

Identificación y cuantificación de azúcares por experimento en el mucílago de cacao.

Concentraciones por experimento			
Experimento	Sacárido	Tiempo de Retención (min)	Concentración (g/L)
1	Sacarosa	8.551	2,99
2	Glucosa	9.739	2,05
3	Fructosa	10.476	2,70
4	Sacarosa	8.551	3,63
5	Glucosa	9.738	2,56
6	Fructosa	10.475	3,31
7	Sacarosa	8.551	3,38
8	Glucosa	9.738	2,47
9	Fructosa	10.474	3,28

Nota. Fuente: Elaboración propia

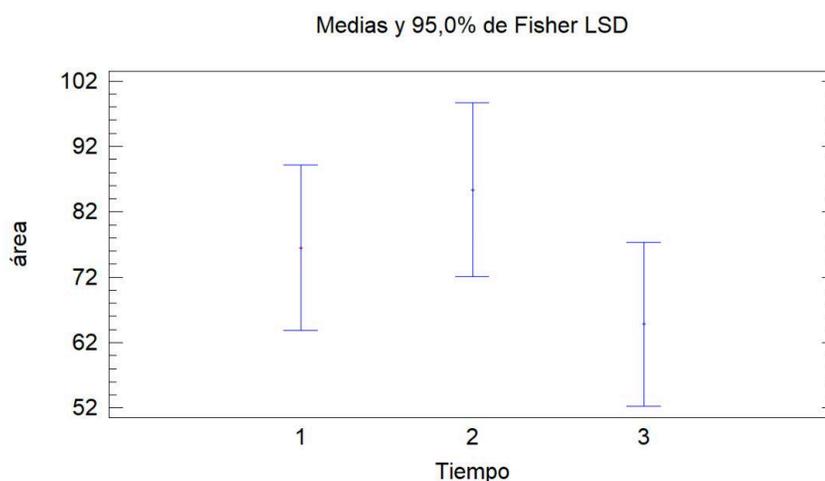
El análisis de varianza (ANOVA) permitió determinar el cómo el tiempo de extracción y la concentración de ácido fosfórico afectan la cantidad de azúcares extraídos del mucílago de cacao, el patrón principal observado es la influencia significativa del tiempo de extracción en la eficiencia de la extracción, específicamente, el tiempo 2 (30 minutos) resultó ser el más efectivo, maximizando la recuperación de los compuestos de interés, lo que sugiere la existencia de un tiempo óptimo de extracción, en contraste, el tiempo 3 (45 minutos) fue el menos efectivo, posiblemente debido a la degradación de los azúcares o la extracción de compuestos que interfieren con la medición, además, se encontró una alta correlación entre las variables concentración, área y compuesto, lo que implica que la concentración de los azúcares

extraídos está relacionada tanto con el área cromatográfica medida como con el tipo de compuesto (sacarosa, glucosa, fructosa).

La realización de réplicas fue crucial para estimar la variabilidad experimental y controlar el error, lo que aumentó la precisión de las estimaciones al permitir una medición más exacta de la dispersión de los datos y, por ende, de la media de cada tratamiento.

Figura 15

Correlación entre el tiempo de extracción y el área cromatográfica.

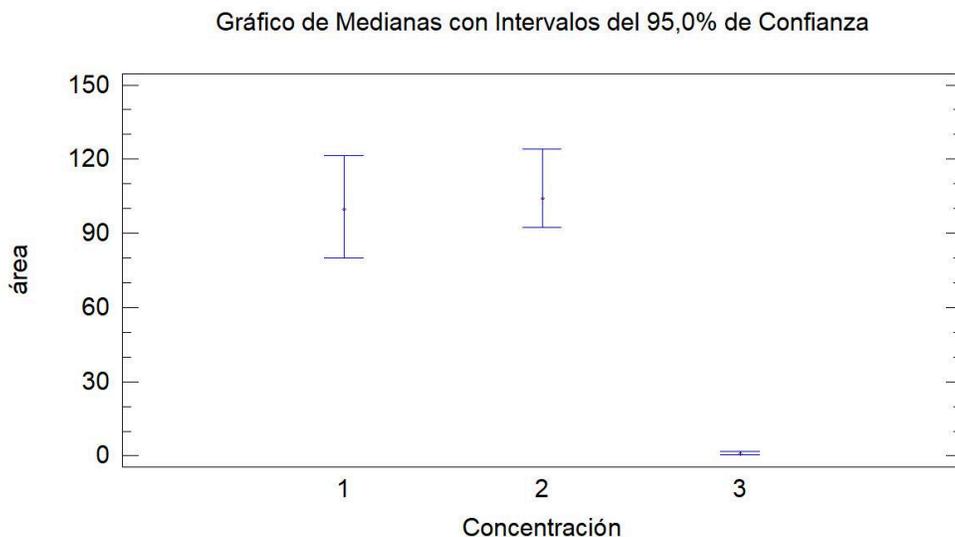


Nota. Fuente: Elaboración propia

Los resultados sugieren que la concentración es un factor crítico en el proceso de extracción, las concentraciones 1 y 2, presentan un mayor valor de área extraída, con más prevalencia en el tiempo 2, indicando que son las más eficaces para la extracción, por el contrario, la concentración del tiempo 3, con el menor valor de área, se considera la menos efectiva.

Figura 16

Correlación entre concentración de ácido fosfórico y área cromatográfica.



Nota. Fuente: Elaboración propia

El diseño experimental por triplicado permitió aumentar la precisión de las estimaciones y reducir el error experimental, lo que a su vez incrementó la confiabilidad de las conclusiones obtenidas.

5. Conclusiones

El presente estudio ha logrado una caracterización química detallada del perfil de azúcares del mucílago de cacao *Theobroma cacao L.* tipo Criollo proveniente de la Vereda Restrepo, Tumaco-Nariño, revelando su considerable riqueza en azúcares fermentables, específicamente, se identificaron y cuantificaron fructosa 3,10 g/L, glucosa 2,36 g/L y sacarosa 3,34 g/L, alcanzando una concentración total de azúcares de 8,80 g/L (Tabla 7), resultados que cumplen con las expectativas iniciales sobre la riqueza de este subproducto en carbohidratos valiosos y su potencial como una materia prima, más allá de su rol tradicional en la fermentación del grano, por ejemplo; la presencia de azúcares como la fructosa y la sacarosa lo posiciona como una fuente valiosa de edulcorantes naturales, mientras que la glucosa, un

sustrato clave para muchos microorganismos, lo hace particularmente apto para procesos de fermentación industrial destinados a la producción de bebidas o biocombustibles (Martínez et al., 2012; Carbonero, 1975), Un hallazgo relevante fue la no detección de maltosa bajo las condiciones cromatográficas empleadas (Sección 4.2), lo cual contrasta con algunos reportes previos como el de Piracoca-Robles (2022) y sugiere diferencias composicionales atribuibles a la variedad, región o metodología analítica, reforzando la necesidad de estudios locales, además que sugiere que el método de extracción por EAU puede ser más selectivo frente a otros métodos.

La cuantificación individual de cada uno de estos azúcares representa una contribución significativa al conocimiento actual, ya que muchos estudios previos, como los de Villaroel-Bastidas et al. (2023) o análisis generales de composición (Villacis y Peralta, 2012), tienden a reportar concentraciones totales de azúcares o perfiles generales sin especificar la proporción exacta de cada componente, este detalle es crucial para diseñar aplicaciones industriales específicas, como optimizar procesos de fermentación o formular productos con perfiles edulcorantes definidos. Además, este trabajo aporta información sobre el mucílago de cacao de Tumaco, una región reconocida por su producción cacaotera de alta calidad (Fedecacao, 2024) pero donde, como se indicó previamente (Sección 2.1), no existían estudios específicos sobre la composición química de este subproducto.

Para la extracción de estos azúcares, se implementó y optimizó un método de (EAU), una técnica reconocida por su eficiencia y menor impacto ambiental, como lo señalan Chemat et al. (2017), además del análisis por HPLC con detector de Índice de Refracción (RI), permitió confirmar la identidad de los azúcares por comparación con estándares puros (Tabla 6), por su parte el análisis estadístico ANOVA de los resultados experimentales (Figuras 14 y 15) permitió establecer las condiciones óptimas de extracción, determinándose que un tiempo de sonicación de 30 minutos y el uso de bajas concentraciones de ácido fosfórico (específicamente 0 % y 0.5 %) maximizaron la recuperación de los azúcares de interés y, minimizando su posible

degradación por hidrólisis ácida a una exposición prolongada, un aspecto fundamental para preservar la integridad de los compuestos, como señala Suksom et al. (2015), se observó que concentraciones más elevadas de ácido o tiempos de extracción más prolongados no ofrecieron mejoras significativas e incluso podrían inducir la degradación de los carbohidratos, un hallazgo crucial para la eficiencia del proceso a una posible escala productiva.

El aporte principal de esta investigación radica en generar conocimiento específico sobre la composición del mucílago de cacao en la región de Tumaco, una zona de gran importancia cacaotera y estratégica en procesos de sustitución de cultivos ilícitos (Sierra, 2016), al valorizar este subproducto, se abren oportunidades económicas y sociales significativas para las comunidades locales, ya que, como lo indican Rizo-Mustelie et al. (2017) la valorización de residuos agrícolas es una estrategia fundamental para la sostenibilidad de los sistemas productivos, alineándose con principios de economía circular y desarrollo sostenible (ONU, 2024).

El aprovechamiento de estos azúcares en la industria alimentaria, por ejemplo, como edulcorantes naturales o sustratos para procesos de fermentación (Arias-Giraldo y López-Velasco, 2019; Arciniega-Alvarado y Espinoza-León, 2020), o incluso en la producción de biocombustibles como lo sugieren Muñoz Simi y Ordoñez Miranda (2022), podría fortalecer las cadenas de valor locales y contribuir significativamente al desarrollo económico y social de la región, transformando un subproducto subestimado en una fuente de valor agregado.

No obstante, esta investigación también delimita áreas cruciales para futuras indagaciones, si bien se identificaron los azúcares mayoritarios, queda por explorar la presencia y concentración de otros compuestos bioactivos, así como las propiedades funcionales (antioxidantes, antifúngicas) del mucílago de Tumaco. Además, es fundamental investigar cómo factores agroecológicos (clima, suelo), genéticos (variedad específica), de manejo poscosecha y de procesamiento afectan la composición química y la estabilidad del mucílago, como sugieren estudios sobre la influencia de estos factores en el cacao

(Garay-Peralta, 2024 y Arribas et al., 2022), profundizar en estos aspectos permitirá optimizar su aprovechamiento industrial y garantizar la calidad y consistencia de los productos derivados, asimismo, es crucial investigar la estabilidad de estos compuestos bioactivos bajo diferentes condiciones de procesamiento y almacenamiento para garantizar la calidad y viabilidad de los productos que se pudieran desarrollar.

Es importante destacar que, si bien otros estudios han reportado perfiles generales de azúcares en mucílago de cacao de diversas regiones (e.g., Villaroel-Bastidas et al., 2023), esta investigación aporta datos específicos y cuantitativos para el cacao tipo Criollo de la Vereda Restrepo, Tumaco-Nariño, una zona con particularidades agroecológicas que merecen un estudio detallado y diferenciado, las variaciones observadas en la composición de azúcares en comparación con la literatura presentadas en la Tabla 8 refuerzan la necesidad de realizar estudios localizados que permitan comprender mejor las características de las materias primas regionales.

6. Recomendaciones

Si bien la presente investigación se centró en la caracterización de azúcares, es imperativo ampliar el espectro analítico ya que el mucílago de cacao es reconocido por ser una matriz compleja que, además de carbohidratos, puede contener pectinas, ácidos orgánicos, proteínas y compuestos fenólicos, como lo mencionan Sánchez-Olaya et al. (2019) y Piracoca-Robles (2022), la identificación y cuantificación de estos más compuestos bioactivos no solo enriquecerá el conocimiento sobre el mucílago de esta región específica, sino que también permitirá evaluar con mayor precisión su potencial para aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica o cosmética, explorando propiedades funcionales como la capacidad antioxidante, prebiótica o texturizante, tal como sugiere la investigación de Martínez et al. (2012) sobre las propiedades antioxidantes de los subproductos del cacao.

Con el fin de obtener una comprensión de los factores que influyen en la composición química del mucílago, se recomienda enfáticamente incorporar análisis de suelos de las fincas cacaoteras de la Vereda Restrepo y otras zonas productoras de cacao ya que la composición nutricional del suelo y sus características fisicoquímicas pueden tener un impacto directo en el metabolismo de la planta de cacao y, por ende, en la biosíntesis de compuestos en sus frutos y subproductos, como señalan Romero y Zambrano (2012) mismo enfoque se alinea con la necesidad de considerar factores ambientales y de manejo agronómico que influyen en la calidad del cacao, como destacan Arribas et al. (2022).

En lo referente al análisis cromatográfico, si bien la metodología HPLC-RI empleada demostró ser efectiva para la cuantificación de los azúcares mayoritarios, sin embargo, se sugiere para futuras investigaciones considerar otras técnicas detectoras con el fin de obtener mayores puntos de referencia, así como la preparación de estándares; en cuanto a la preparación de estándares, es crucial asegurar la máxima pureza y la correcta preparación de curvas de calibración con múltiples puntos para garantizar la linealidad y precisión en la cuantificación, siguiendo las buenas prácticas de laboratorio descritas por Skoog et al. (2008). Adicionalmente, se podría explorar el uso de detectores más sensibles o selectivos, como la espectrometría de masas (LC-MS), para identificar y cuantificar compuestos presentes en menores concentraciones o para confirmar la identidad de los analitos con mayor certeza, especialmente si se amplía la búsqueda a otros compuestos bioactivos ya que la exploración de diferentes fases estacionarias o móviles también podría mejorar la resolución de compuestos que no fueron detectados en el presente estudio, como la maltosa mencionada por Piracoca-Robles (2022).

Finalmente, se reitera la importancia de investigar la estabilidad de los compuestos bioactivos del mucílago bajo diversas condiciones de procesamiento (térmico, enzimático) y almacenamiento (temperatura, tiempo, exposición a la luz y oxígeno), la viabilidad de cualquier aplicación industrial dependerá en gran medida de la capacidad para preservar la integridad y

concentración de estos compuestos, asimismo, es fundamental continuar con estudios comparativos del mucílago proveniente de diferentes cultivares de cacao presentes en Tumaco y otras regiones geográficas de Nariño, así como evaluar el impacto de las distintas etapas de madurez del fruto y las prácticas poscosecha, este enfoque permitirá no solo entender la variabilidad natural de este subproducto, sino también desarrollar estrategias específicas para su aprovechamiento óptimo, contribuyendo así al desarrollo de productos innovadores con valor agregado y al fortalecimiento de la cadena productiva del cacao en la región, tal como se ha explorado en contextos similares por Rodríguez-Castro et al. (2024) con bebidas fermentadas.

REFERENCIAS

- Abbott, P. C., Benjamin, T. J., Burniske, G. R., Croft, M. M., Fenton, M., Kelly, C. R., ... & Wilcox, M. D. (2019). *Análisis de la cadena de cacao en Colombia*.
<https://cgspace.cgiar.org/bitstream/10568/99089/1/2019%20Final%20Cacao%20Report%20-%20Spanish.pdf>
- Albán, G. P., Verdesoto Arguello, A., y Castro Molina, N. E. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO. Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*, 4(3), 163–173. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7591592>
- Aparicio, M. P. (2024). Análisis de los principales compuestos volátiles presentes en la etapa de fermentación del grano de cacao y su influencia en los atributos sensoriales. [Monografía]. Repositorio Institucional UNAD.
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/60806>
- Anvoh, K., Zoro Bi, A. & Gnakri, D. (2009). Production and characterization of juice from mucilage of cocoa beans and its transformation into marmalade. *Pakistan J. Nutr.* 8, 129–133. <https://scialert.net/abstract/?doi=pjn.2009.129.133>
- Arciniega-Alvarado, G y Espinoza-León, R. (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>
- Arias-Giraldo, S. y López-Velasco, D. (2019). *Reacciones químicas de los azúcares simples empleados en la industria alimentaria*. *Lámpsakos*, (22), 123–135.
<https://doi.org/10.21501/21454086.3252>
- Alava Zambrano, W. A. (2020). Caracterización física-química del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) con énfasis en los azúcares que lo componen [Tesis de maestría,

Universidad Agraria del Ecuador]. Centro de Información Agraria.

<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ALAVA%20ZAMBRANO%20WISTON%20ADRIAN.pdf>

Azwanida, N. N. (2015). A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation. *Medicinal & Aromatic Plants*, 4(3), 196.

<https://doi.org/10.4172/2167-0412.1000196>

Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos* (4.ª ed.). Pearson Educación.

<https://fcen.uncuyo.edu.ar/upload/libro-badui200626571.pdf>

Balladares, C., Chóez-Guaranda, I., García, J., Sosa, D., Pérez, S., González, J. E., Manzano, P. (2016), Physicochemical characterization of *Theobroma cacao* L. sweatings in Ecuadorian coast, *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(10), p. 741-745, URL.

https://www.researchgate.net/publication/307898279_Physicochemical_characterization_of_Theobroma_cacao_L_mucilage_in_Ecuadorian_coast

BeMiller, JN (2017). Análisis de carbohidratos. *Análisis de alimentos*, 333-360.

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-45776-5_19

Carbonero Zalduegui, Pilar (1975). *Bioquímica de las fermentaciones*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. ISBN 8460067548.

Cardona-Álzate, C. A., Monroy Solano, L. F., Ochoa García, L., Puerta, D., Agudelo Patiño, T., Ortiz Sánchez, M., Solarte Toro, J. C., & Saldarriaga, G. (2022). Análisis de la cadena de valor de cacao de Tumaco y Putumayo en Colombia. *Proyecto Value Chain Analysis for Development (VCA4D)*, DG-INTPA, Unión Europea.

https://capacity4dev.europa.eu/library/vca4d-colombia-cocoa-full-report_en

Calderón, J., Marroquín, A., Luviano, L., Maqueda, V., Marín, E., & Calderón, A. (2019). Sonido, ultrasonido y cavitación. *Latin-American Journal of Physics Education*, 13(4),

4311-1–4311-5. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7587120.pdf>

- Cavalcanti R., Koshima C., Forster-Carneiro T., Gomes M. , Rostagno M., Prado J. y Meireles M., (2022). Extracción de Productos Naturales Principios y aplicaciones, ed. J. Prado y M. Rostagno, *The Royal Society of Chemistry*, 2.a ed., 2022, cap. 1, págs. 1-65.
<https://doi.org/10.1039/9781839165894-00001>
- Carvajal, V. M. (2020). Caracterización fisicoquímica del mucilago del cacao. [Proyecto aplicado]. Repositorio Institucional UNAD.
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/55647>
- Castro Baquerizo, Y. E. (2023). *Extracción y procesamiento del mucílago de cacao (Theobroma cacao L.), y su uso en el campo agrícola* [Trabajo de titulación de Ingeniera Agrónoma, Universidad Técnica de Babahoyo]. URL.
<https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/14850/E-UTB-FACIAG-AGRON-000078.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castellanos, C.A., (2019). *Desarrollo de gomitas con el edulcorante stevia para la uss engativá de la ciudad de bogota, que contribuya al mejoramiento de la calidad de vida de los pacientes*. Trabajo de Grado, Repositorio Institucional UNAD, URL.
<https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/28073/1/cariverosm.pdf>
- Chalmers, A. F. (1999). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*. Siglo XXI Editores.
<https://fcen.uncuyo.edu.ar/upload/2000-chalmers-que-es-esa-cosa-llamada-ciencia-3ed.pdf>
- Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A. S., & Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 540-560. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2011). *Designing and conducting mixed methods research*. Sage Publications. ISBN: 9781412975179

- Ellen MacArthur Foundation. (2013). Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition. Ellen MacArthur Foundation.
https://kidv.nl/media/rapportages/towards_a_circular_economy.pdf?1.2.1
- Enríquez, G. A. (1990). Curso sobre el cultivo del cacao. Bib. Orton IICA / CATIE.
- Espinosa-Álzate, J. A., & Ríos-Osorio, L. A. (2016). Caracterización de sistemas agroecológicos para el establecimiento de cacao (*Theobroma cacao L.*), en comunidades afrodescendientes del Pacífico Colombiano (Tumaco-Nariño, Colombia). *Acta Agronómica*, 65(3), 211-217. URL. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n3.50714>
- Estrella, Y. (2013). Estudio del desperdicio del mucílago de cacao en el cantón naranjal (provincia del guayas). *Revista ECA Sinergia. Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas. U.T.M.* 4(4). pp 49 - 59.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6197548.pdf>
- Fernández Escobar O., Erazo Solórzano Y., Torres Segarra V., Tuárez García A., Torres Navarrete E. D., Díaz Ocampo R.G., (2020). Extracción de mucílago de cáscara de *Theobroma cacao L.* para uso en clarificación de jugos de *Saccharum officinarum*. *Ciencia y Tecnología*. 2022. 15(1), p. 25-33.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8537297.pdf>
- Fedecacao, (2023). Infografía: Taxonomía y materiales genéticos del cacao.
https://www.agrosavia.co/media/11592/ver_documento_36855.pdf
- Flores Murillo, C. R., & Peñafiel Pazmiño, M. (2019). Propiedades bromatológicas, sensoriales y físicas de yogurt suplementado con mucílago de cacao. *RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*, 3(3), 1342–1353.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7402114>
- Garay-Peralta, I., Villarruel-Fuentes, M.I., Díaz-Peón, A. L. Chávez-Morales, R., & Herrera-Alarcón, J. (2024). Factores climáticos en el desarrollo y producción de cacao

- en Úrsulo Galván, Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana*, 35(1), 54337.
<https://dx.doi.org/10.15517/am.2024.54337>
- Google. (s.f.). *Mapa de la Vereda Restrepo, San Andrés De Tumaco, Nariño, Colombia*.
Recuperado el 16 de febrero de, 2025 de
<https://earth.google.com/web/@1.44893784,-78.67530387>
- Grimm, A., Seubert, A., (2004). Influencia de eluyentes de hidróxido sin modificadores en la separación de carbohidratos mediante cromatografía de intercambio aniónico.
Microchim. Acta 146 , 97–102. <https://doi.org/10.1007/s00604-004-0203-9>
- Laylah, N., Salengke, S., Laga, A., & Supratomo, S. (2023). Effects of the maturity level and pod conditioning period of cocoa pods on the changes of physicochemical properties of the beans of Sulawesi 2 (S2) cocoa clone. *AIMS Agriculture and Food*, 8(2), 615–636.
<https://doi.org/10.3934/agrfood.2023034>
- Letellier, M., & Budzinski, H. (1999). Microwave assisted extraction of organic compounds.
Analysis, 27(3), 259-270. <https://doi.org/10.1051/analisis:1999116>
- Luque de Castro, M. D., & Priego-Capote, F. (2010). Soxhlet extraction: Past and present relevance. *Journal of Chromatography A*, 1217(16), 2383-2389.
<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.11.027>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>
- Hernández-Triana, M., Porrata-Maury, C., Jiménez-Acosta, S., Suárez, A., Fraga, L., Ruiz Alvarez, V., Pita, G., (2011). *Alimentación, Nutrición y Salud*, 1, 265.
https://www.researchgate.net/publication/259333562_Alimentacion_Nutricion_y_Salud
- Huang, X., Ai, C., Yao, H., Zhao, C., Xiang, C., Hong, T., & Xiao, J. (2022). Guideline for the extraction, isolation, purification, and structural characterization of polysaccharides from natural resources. *eFood*, 3, e37. <https://doi.org/10.1002/efd2.37>

- Harvey, D. (2011). Analytical Chemistry 2.0—An open-access digital textbook. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 399(1), 149–152. <https://doi.org/10.1007/s00216-010-4316-1>
- Kumar K, Srivastav S, Sharanagat VS. (2020). Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. *Ultrasonics Sonochemistry* 70(1). <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105325>
- Kumar, Y., Mumtaz, S. M., & Ahmad, M. (2018). HPLC: Principle and maintenance with application. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 2(5), 1618-1626.
- Marín-Cuevas, C. V., Menace-Almea, M. A., Carranza-Patiño, M., Herrera-Feijoo, R. J., & Tuárez-Villacís, 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>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). *Informe Nacional de Desarrollo Rural Sostenible*. Bogotá, Colombia. https://www.minagricultura.gov.co/planeacion-control-gestion/Gestin/Informes%20de%20Gesti%C3%B3n%20Institucional/2020/INFORME_DE_GESTION_2020.pdf
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (2024). *Colombia se consolida como potencia en exportaciones de cacao con un aumento del 103,7%*. <https://www.presidencia.gov.co/prensa/Paginas/Colombia-se-consolida-como-potencia-en-exportaciones-de-cacao-con-un-aumento-del-103-porciento-241122.aspx>
- Martínez, R., Torres, P., Meneses, M.A., Figueroa, J.G., Pérez-Álvarez, J.A., Viuda Martos, M. (2012). Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of cocoa (*Theobroma cacao L.*) co-products. *Food Research International* 49(1), 39 - 45. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.08.005>.

- Murray, R. K., Granner, D. K., & Rodwell, V. W. (2007). *Bioquímica ilustrada. Manual Moderno*. https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=aldehidos+y+cetonas+glucosa+y+fructosa&oq=#:~:text=Bioqu%C3%ADmica%20ilustrada
- Muñoz Simi, I. M., & Ordoñez Miranda, J. M. (2022). *Análisis energético de un motor de combustión interna de encendido provocado bajo el uso de biocombustible obtenido a partir del mucílago de cacao*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/91e53a5c-a426-48ba-a685-911d2cefe460/content>
- Organización de las Naciones Unidas, ONU (2024). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2024: Edición especial. <https://unstats.un.org/sdgs/>
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). (2016). El trabajo decente en el sector del cacao: Un desafío global. OIT. https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@americas/@ro-lima/@sro-li/ma/documents/publication/wcms_886027.pdf
- Pabón, M. Herrera-Roa, L. Sepúlveda, W. (2016). Caracterización socio-económica y productiva del cultivo de cacao en el departamento de Santander (Colombia). *Revista Mexicana de Agronegocios*, 38(2016), 283-294. <https://www.redalyc.org/journal/141/14146082001/html/>
- Piracoca-Robles, M. (2022). *Caracterización del mucílago de cacao (Theobroma Cacao L., clon TSH 565) como fuente de pectina y azúcares para el aprovechamiento en la industria de alimentos*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. URL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84381>
- Perea, J., Ramirez O., Villamizar A. (2011). Caracterización fisicoquímica de materiales regionales de cacao colombiano. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y*

Agroindustrial Vol 9(1), p. 35 - 42. URL.

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6117873.pdf>

Poole, C. (Ed.). (2012). *Gas chromatography* (1st ed.). Elsevier.

<https://www.sciencedirect.com/book/9780123855404/gas-chromatography>

Plaza-Díaz, Julio, Martínez Augustín, Olga, & Gil Hernández, Ángel. (2013). Los alimentos como fuente de mono y disacáridos: aspectos bioquímicos y metabólicos. *Nutrición Hospitalaria*, 28(4), 5-16.

http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112013001000002&lng=es&tlng=es.

Pelaez Sánchez, P., Pinedo Ríos, D., (2002). *Exudado de cacao (Theobroma cacao) en la obtención de jalea*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]

<https://hdl.handle.net/20.500.14292/206>

Quintero M. y Díaz K. (2004). El mercado mundial del cacao. *Agroalimentaria*, 9(18), 47-59.

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-03542004000100004&lng=es&tlng=es.

Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutr Hosp.* 27(1), p 76-89. https://scielo.isciii.es/pdf/nh/v27n1/09_revision_08.pdf

Reverchon, E., & De Marco, I. (2006). Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter. *The Journal of Supercritical Fluids*, 38(2), 146-166.

<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2006.03.020>

Federación Nacional de Cacaoteros (FEDECACAO), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, & Chocolates.com.co. (2024). Buenas prácticas agrícolas.

https://chocolates.com.co/wp-content/uploads/2024/02/buenas_practicas_agricolas.pdf

- Rodríguez-Castro, R., Guerrero, R., Valero, A., Franco-Rodríguez, J., & Posada-Izquierdo, G. (2024). Mucílago de cacao como ingrediente novedoso en la fermentación innovadora de Kombucha. *Alimentos*, 13 (11), 1636. <https://doi.org/10.3390/foods13111636>
- Rodríguez, R., Posada, G., Valero, A., Torres, E., Torres, Y., & Díaz, R. (2021). Valoración de baba de cacao (mucílago) no utilizada en el cantón Quevedo - Ecuador. *Revista Científica Ciencia y Tecnología*, 21(32), 79–86. DOI: 10.47189/rcct.v21i32.489
- Robards, K., Jackson, P. E., & Haddad, P. A. (1994). *Principles and practice of modern chromatographic methods (1st ed.)*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-589570-5.X5001-7>
- Romero, C., & Zambrano, A. (2012). Análisis de azúcares en pulpa de cacao por colorimetría y electroforesis capilar. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(4), 906–913. <https://www.bioline.org.br/pdf?cg12103>
- Rizo-Mustelier, M., Vuelta-Lorenzo, D., Lorenzo-García A., (2017). Agricultura, desarrollo sostenible, medioambiente, saber campesino y universidad, *Ciencia en su PC*, núm. 2, pp. 106-120, URL. <https://www.redalyc.org/journal/1813/181351615008/html/>
- Sánchez, D., & Ramírez, L. E. (2006). Plataformas de proteómica. Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Curso: Métodos Físico-Químicos en Biotecnología. Cuernavaca, Morelos. https://www.academia.edu/download/53372342/plataformas_de_proteomica.pdf
- Sánchez-Olaya, D. M., Rodríguez Pérez, W., Castro Rojas, D. F., & Trujillo Trujillo, E. (2019). Respuesta agronómica de mucílago de cacao (*Theobroma cacao L.*) en cultivo de maíz (*Zea mays L.*). *Ciencia en desarrollo*, 10(2), 43-58. <https://doi.org/10.19053/01217488.v10.n2.2019.7958>
- Santamaría, J. C., Rodríguez-Urrutia, E. A., Escalante, M. M., y Lara, L. L. (2019). Procesamiento artesanal de cacao (*Theobroma cacao L.*) y café (*Coffea arabica*).

- Revista Agrociencia*, 3(14), 45-53.
<https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia/index.php/agrociencia/article/view/160>
- Sinnott, M. (2013). *Carbohydrate chemistry and biochemistry: structure and mechanism*. Royal Society of Chemistry.
- Sierra, D. C. (2016). *El cacao como producto líder en la sustitución de cultivos ilícitos en el proceso de posconflicto*. [Tesis de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada].
<http://hdl.handle.net/10654/15777>
- Suksom, W., Wannachai, W., Boonchiangma, S., Chanthai S. & Srijaranai S., (2015). Análisis cromatográfico iónico de monosacáridos y disacáridos en azúcar sin refinar. *Chromatographia* 78 , 873–879. <https://doi.org/10.1007/s10337-015-2865-3>
- Suarez Ospina, D., & Morales Hernández, Y. (2018). Principios básicos de la cromatografía líquida de alto rendimiento para la separación y análisis de mezclas. *Formación Investigativa*, 4(1).
<https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/ca69b75f-d804-4528-904b-20b0725fb7e7/content>
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2008). *Principios de análisis instrumental*. McGraw-Hill, Learning.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/848438/7276_T_16_S_1_-_Principios_analisis_instrumental_Skoog_5ta_Edici_n_A_1_.pdf
- Torres Coronel, A. I. (2018). *Extracción del polvo de cacao (Theobroma cacao L.) de cinco clones experimentales susceptibles a la monilla (Moniliophthora roreri Cif & Par) para la elaboración de una bebida adicionando mucílago de cacao y guayaba (Psidium guajava L.)*. [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]
<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/4e46121c-7335-44fe-9e13-293095387bb6/content#page=84.39>

Shintani, T., Lema-Perez, L. & Shintani, H, (2021) The Sugars with the Potential to Prolong Human Life, *Sugar Intake - Risks and Benefits and the Global Diabetes Epidemic*.

IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.97885 o la URL

<https://www.intechopen.com/chapters/76776>

Villacis, J., y Peralta, J. (2012). *Estudio de viabilidad para la producción de la mermelada de mucilago de cacao*. [Tesis de Pregrado. Universidad Estatal de Milagro].

<http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/1660>

Vasquez Ayala, D., Trujillo Navarro Y., y Duran Osorio D., (2020). *Mucilago del cacao biomasa residual: Perspectiva como materia prima en la industria de alimentos*. [Trabajo de Pregrado, Universidad de Pamplona]

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

Volonté, M. G. (2013). *Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)*. Libros de Cátedra.

<https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/150656>

Vinatoru, M. (2015). Ultrasonically assisted extraction (UAE) of natural products – some procedures and examples. *Ultrasonics Sonochemistry*, 22, 514–523.

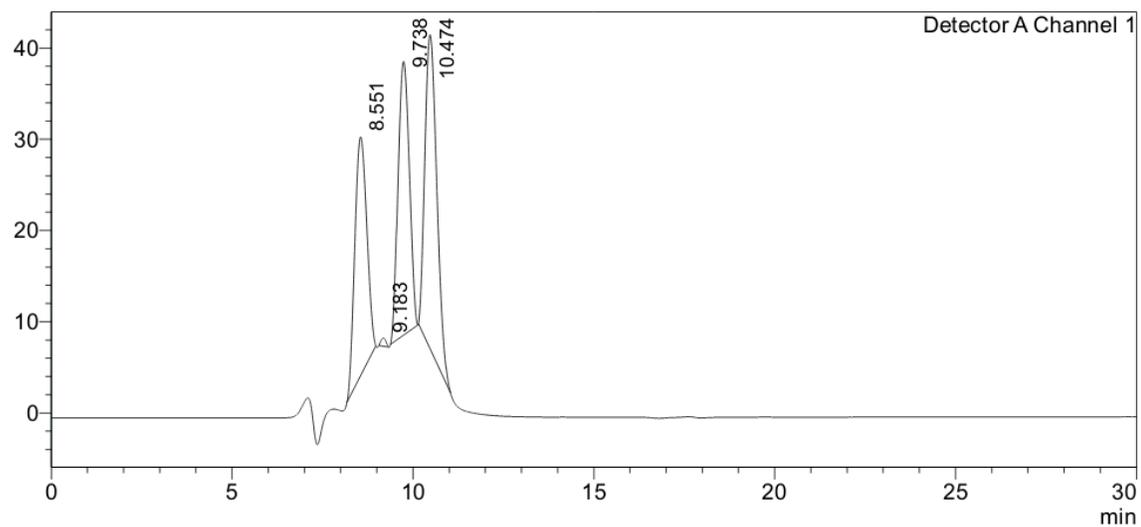
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.10.006>

ANEXOS

Anexo 1

Cromatograma Muestra de mucílago 2.

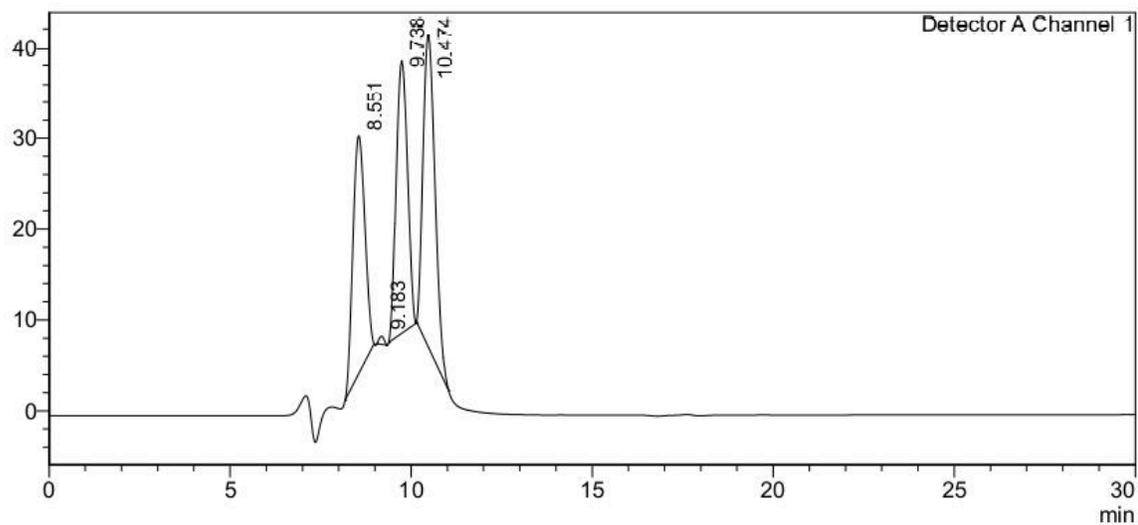
mV



Anexo 2

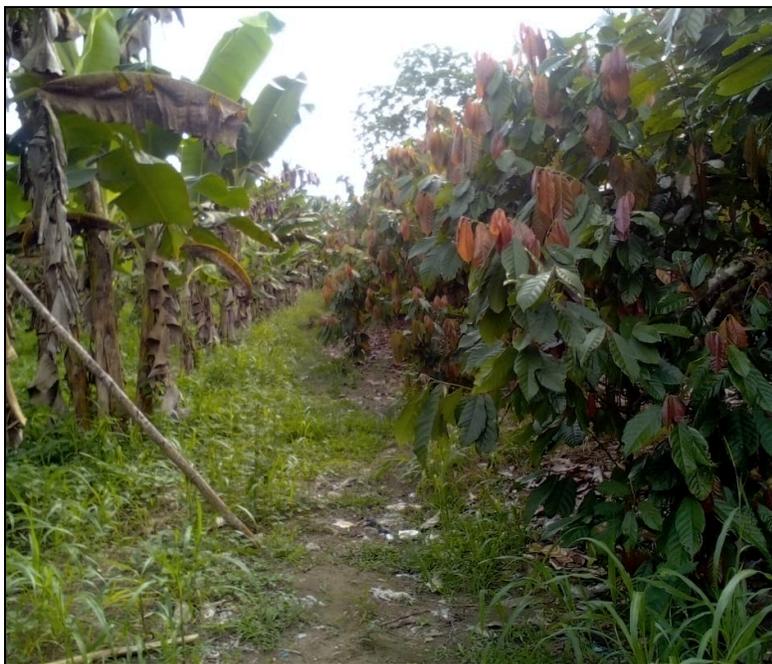
Cromatograma Muestra de mucílago 3.

mV



Anexo 3

Finca ubicada en la vereda Restrepo Tumaco, Nariño.

**Anexo 4**

Selección de muestras de acuerdo a su calidad.



Anexo 5

Diversidad genética de cacao en la finca experimental, Vereda Restrepo.



 <p>UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</p>	CARTA DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO O TRABAJO DE APLICACIÓN – ASESOR(A)	CÓDIGO: AAC-BL-FR-032
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

San Juan de Pasto, 6 de mayo del 2025

Biblioteca
REMIGIO FIORE FORTEZZA OFM. CAP.
Universidad CESMAG
Pasto

Saludo de paz y bien.

Por medio de la presente se hace entrega del Trabajo de Grado denominado **Determinación de la composición de azúcares en el mucílago de cacao (*Theobroma cacao L.*) recolectado en la Vereda Restrepo, Tumaco-Nariño, Colombia**, presentado por el autor **Gerson Julian Rosero Chamorro** del Programa Académico de Licenciatura en Química al correo electrónico:
biblioteca.trabajosdegrado@unicesmag.edu.co.

Manifiesto como asesor, que su contenido, resumen, anexos y formato PDF cumple con las especificaciones de calidad, guía de presentación de Trabajos de Grado o de Aplicación, establecidos por la Universidad CESMAG, por lo tanto, se solicita el paz y salvo respectivo.

Atentamente,



LUIS FELIPE ARTURO PERDOMO
C.C. 1020415784
Programa de Licenciatura en Química
Cel. 3155209866
Correo. lfarturo@unicesmag.edu.co

 UNIVERSIDAD CESMAG <small>NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</small>	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

INFORMACIÓN DEL (LOS) AUTOR(ES)	
Nombres y apellidos del autor: Gerson Julian Rosero Chamorro	Documento de identidad: 1193472738
Correo electrónico: gjrosero.2738@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 3206090462
Nombres y apellidos del asesor: Luis Felipe Arturo Perdomo	Documento de identidad: 1020415784
Correo electrónico: lfarturo@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 3155209866
Título del trabajo de grado: Determinación de la composición de azúcares en el mucílago de cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>) recolectado en la Vereda Restrepo, Tumaco-Nariño, Colombia.	
Facultad y Programa Académico: Facultad de educación, Programa de Licenciatura en Química	

En mi calidad de autor y/o titular del derecho de autor del Trabajo de Grado o de Aplicación señalado en el encabezado, confiero a la Universidad CESMAG una licencia no exclusiva, limitada y gratuita, para la inclusión del trabajo de grado en el repositorio institucional. Por consiguiente, el alcance de la licencia que se otorga a través del presente documento, abarca las siguientes características:

- a) La autorización se otorga desde la fecha de suscripción del presente documento y durante todo el término en el que los firmantes del presente documento conservemos la titularidad de los derechos patrimoniales de autor. En el evento en el que dejemos de tener la titularidad de los derechos patrimoniales sobre el Trabajo de Grado o de Aplicación, nos comprometemos a informar de manera inmediata sobre dicha situación a la Universidad CESMAG. Por consiguiente, hasta que no exista comunicación escrita de nuestra parte informando sobre dicha situación, la Universidad CESMAG se encontrará debidamente habilitada para continuar con la publicación del Trabajo de Grado o de Aplicación dentro del repositorio institucional. Conocemos que esta autorización podrá revocarse en cualquier momento, siempre y cuando se eleve la solicitud por escrito para dicho fin ante la Universidad CESMAG. En estos eventos, la Universidad CESMAG cuenta con el plazo de un mes después de recibida la petición, para desmarcar la visualización del Trabajo de Grado o de Aplicación del repositorio institucional.
- b) Se autoriza a la Universidad CESMAG para publicar el Trabajo de Grado o de Aplicación en formato digital y teniendo en cuenta que uno de los medios de publicación del repositorio institucional es el internet, aceptamos que el Trabajo de Grado o de Aplicación circulará con un alcance mundial.
- c) Acepto que la autorización que se otorga a través del presente documento se realiza a título gratuito, por lo tanto, renuncio a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y/o cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente autorización y de la licencia o programa a través del cual sea publicado el Trabajo de grado o de Aplicación.
- d) Manifiesto que el Trabajo de Grado o de Aplicación es original realizado sin violar o usurpar derechos de autor de terceros y que ostento los derechos patrimoniales de autor sobre la misma. Por consiguiente, asumo toda la responsabilidad sobre su contenido ante la Universidad CESMAG y frente a terceros, manteniéndose indemne de cualquier reclamación que surja en

 <p>UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</p>	<p>AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL</p>	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

virtud de la misma. En todo caso, la Universidad CESMAG se compromete a indicar siempre la autoría del escrito incluyendo nombre del autor y la fecha de publicación.

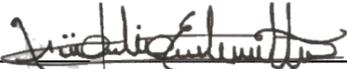
- e) Autorizo a la Universidad CESMAG para incluir el Trabajo de Grado o de Aplicación en los índices y buscadores que se estimen necesarios para promover su difusión. Así mismo autorizo a la Universidad CESMAG para que pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

NOTA: En los eventos en los que el trabajo de grado o de aplicación haya sido trabajado con el apoyo o patrocinio de una agencia, organización o cualquier otra entidad diferente a la Universidad CESMAG. Como autor garantizo que he cumplido con los derechos y obligaciones asumidos con dicha entidad y como consecuencia de ello dejo constancia que la autorización que se concede a través del presente escrito no interfiere ni transgrede derechos de terceros.

Como consecuencia de lo anterior, autorizo(autorizamos) la publicación, difusión, consulta y uso del Trabajo de Grado o de Aplicación por parte de la Universidad CESMAG y sus usuarios así:

- Permito que mi Trabajo de Grado o de Aplicación haga parte del catálogo de colección del repositorio digital de la Universidad CESMAG por lo tanto, su contenido será de acceso abierto donde podrá ser consultado, descargado y compartido con otras personas, siempre que se reconozca su autoría o reconocimiento con fines no comerciales.

En señal de conformidad, se suscribe este documento en San Juan de Pasto a los 6 días del mes de mayo del año 2025

<p>Gerson Chamorro</p>
<p>Nombre del autor: Gerson Julian Rosero Chamorro</p>

<p>Nombre del asesor: Luis Felipe Arturo Perdomo</p>