

Valoración de la capacidad antioxidante y antifúngica del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en cultivos de la vereda Santa Helena, Municipio El Cerrito, Valle del Cauca

Diana Yogebeth Leiton Pistala

Programa 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 de Licenciada en Química en la Universidad CESMAG.

Toda la correspondencia relacionada con este trabajo debe ser dirigida al Programa de Licenciatura en Química de la Universidad CESMAG, a través del correo electrónico lic.quimica@unicesmag.edu.co.

Valoración de la capacidad antioxidante y antifúngica del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en cultivos de la vereda Santa Helena Valle del Cauca

Diana Yogebeth Leiton Pistala

Programa Licenciatura en Química, Facultad de Educación, Universidad CESMAG

Asesor: Mg. Luis Felipe Arturo Perdomo

06 agosto de 2026

Nota de aceptación

Luis Felipe Arturo Perdomo

Asesor

Jurado

Jurado

Nota de exclusión

El presente trabajo de grado fue desarrollado en cumplimiento de los requisitos académicos establecidos para la obtención del título profesional. Las ideas, análisis, datos y conclusiones contenidos en este documento son de entera responsabilidad del autor y no comprometen ni representan la postura de la Universidad CESMAG. Cabe señalar que los resultados obtenidos de la caracterización del mucílago de cacao están sujetos a variaciones dependiendo del cultivar utilizado, las condiciones climáticas y lugar geográfico, propias de cada región, por lo que los resultados presentados aplican exclusivamente a la muestra objeto de este estudio.

Dedicatoria

Dedico con todo mi corazón este trabajo de grado, en primer lugar a Dios que es mi poder superior y, aunque no lo vi sabía que él estaba allí, en mis momentos más tristes, de ansiedad y cansancio, su compañía me brindó la fuerza para seguir luchando por mis sueños. En segunda instancia a mi madre quien es la promotora de mi carrera universitaria, con su amor, trabajo y perseverancia me encaminó a seguir mis sueños. A mis hermanos y sobrinos, quienes con sus consejos y su amor me brindaron su apoyo y compañía. A mis compañeros y amigos quienes me mostraron que es posible, me escucharon cuando lo necesite e impactaron mi vida. asimismo a cada uno de los docentes que formaron parte del programa por sus enseñanzas, especialmente al Maestro Luis Felipe Arturo Perdomo, quien fue la razón por la que este proyecto fue posible, con su constancia, empatía y altruismo, logré llegar a meta.

Y finalmente una dedicatoria llena de gratitud al docente Jhoni Alexander Portillo Caicedo que con el poco tiempo en el que compartimos fue de gran ayuda para mi vida.

Agradecimientos

El principal agradecimiento que hoy deseo expresar es hacia Dios, por ser mi fortaleza, mi guía y mi refugio en cada momento de este camino. Este proceso ha requerido esfuerzo, voluntad y perseverancia, Él ha estado presente acompañándome en cada paso, incluso en los días más difíciles.

Mi siguiente agradecimiento es para mi madre, por su amor infinito y por ser una bendición en mi vida. Para mí es un orgullo y una alegría llamarte “mamá”. Gracias por cada palabra, cada abrazo y cada sacrificio que has hecho por mí. Te amo.

También agradezco de todo corazón a mi familia y amigos, porque han sido mi fuerza, mi ejemplo, mi hogar y el amor más sincero que la vida me ha regalado. Gracias por acompañarme, creer en mí y sostenerme incluso cuando yo misma dudaba.

Además agradezco a mis docentes, quienes hicieron parte de mi formación académica y humana. Gracias por compartir sus conocimientos, su paciencia y dedicación. De manera especial, agradezco al maestro Luis Felipe Arturo Perdomo, por acompañarme y guiarme durante la elaboración de este trabajo de grado, brindándome apoyo y confianza a lo largo de este proceso.

Y finalmente, gracias a DC, por ser mi apoyo en medio de este camino, por acompañarme con cariño, paciencia y sinceridad.

Desde lo más profundo de mi corazón a todas las personas que estuvieron en este camino brindándome su apoyo. GRACIAS.

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) ha sido históricamente uno de los cultivos más importantes en las regiones tropicales, no solo por su valor económico, sino también por su impacto cultural y social (Arvelo Sánchez et al., 2017). Sin embargo, la industria cacaotera se ha centrado casi exclusivamente en el aprovechamiento de la semilla para la producción de derivados achocolatados, dejando de lado el resto de la fruta. Según Estella (2013), entre el 70 % y el 90 % de los subproductos generados durante el procesamiento del chocolate son desechados. Uno de estos subproductos es el mucílago, una sustancia gelatinosa que rodea las semillas de cacao y que habitualmente ha sido considerada un residuo sin valor agregado.

En los últimos años, el mucílago de cacao ha comenzado a llamar la atención de la comunidad científica debido a su composición química. Investigaciones previas han identificado en él la presencia de compuestos bioactivos como polifenoles, catequinas, epicatequinas y procianidinas, a los que se atribuye una importante capacidad antioxidante (Martín y Ramos, 2021). Sin embargo, su actividad antifúngica ha sido poco explorada. Un estudio reciente evaluó el mucílago fermentado frente a *Moniliophthora roreri*, encontrando que la fermentación durante 10 y 15 días redujo el crecimiento del hongo en comparación con una fermentación de 5 días (Ruperty-Parraga et al., 2026). A esto se suma la falta de estudios sobre el clon regional FLE-3 y la limitada investigación cacaotera en el Valle del Cauca, región menos estudiada que departamentos como Santander, que concentra cerca del 50 % de la producción nacional (SIC, 2011). En este contexto, evaluar la capacidad antioxidante y antifúngica del mucílago de cacao del clon FLE-3 contribuirá al aprovechamiento de este subproducto y a la generación de conocimiento sobre su potencial biológico.

Índice

Introducción	7
Índice	8
1. Problema de investigación	10
1.1 Objeto o tema de estudio.	10
1.2 Línea de investigación.	10
1.3 Planteamiento del problema	10
1.4 Formulación del problema	13
1.5 Objetivos	14
1.5.1 Objetivo General	14
1.5.2 Objetivos específicos	14
1.6 Justificación	14
2. Marco referencial	17
2.1 Antecedentes	17
2.2 Marco teórico	21
2.2.1 Theobroma cacao L.	26
2.2.2 Semilla de cacao	26
2.2.3 Mucílago de cacao	27
2.2.4 Exudado de cacao	28
2.2.5 Capacidad antioxidante	28
2.2.6 Compuestos fenólicos y flavonoides presentes en el mucílago	30
2.2.7 Caracterización de cacao tipo FLE-3	31
2.2.8 Extracción por ultrasonicación (EUA)	32
HPLC	32
Fusarium graminearum	34
3. Metodología	35
3.1 Paradigma	35
3.2 Enfoque	35
3.3 Método	36
3.4 Tipo de investigación	36
3.5 Diseño de experimentación	37
3.5.1 Cuasi experimental	37
3.5.2 Diseño experimental extracción y preparación para evaluar estándares físico químicos de mucílago	37
2.5 Definición nominal y operativa de las variables	39
Capacidad antioxidante del mucílago método DPPH	42
Caracterización físico química del mucílago	44
3.6 Población	44

CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y ANTIFÚNGICA DE MUCÍLAGO DE CACAO

9

3.7 Muestra

45

4. Resultados

46

7. Referencias

62

Índice de Figuras

Figura 1. <i>Evidencia de desechos de residuos de cacao</i>	13
Figura 2. <i>Imagen de la vaina del cacao, partes de esta</i>	25
Figura 3. <i>Fruto de cacao de tipo FLE-3.</i>	26
Figura 4. <i>Separación e identificación de compuestos en HPLC.</i>	29
Figura 5. <i>Área de estudio correspondiente a la finca La Elisa, vereda El Cerrito, Valle del Cauca, Colombia.</i>	36
Figura 6. <i>Cromatogramas de la muestra en comparación con los cromatogramas del estándar para azúcares.</i>	47
Figura 7. <i>Cromatogramas del estándar y la muestra para identificación de ácidos orgánicos.</i>	53
Figura 8. <i>Curva de calibración del ácido ascórbico mediante el método DPPH a diferentes tiempos de lectura.</i>	55
Figura 9. <i>Porcentaje de inhibición del radical DPPH en función de la concentración del mucílago de cacao a diferentes tiempos de lectura</i>	56
Figura 10. <i>Registro macroscópico de la muestra madre de fusarium graminearum sin mucílago en medio PDA incubado por 15 a 25°C.</i>	57
Figura 11. <i>Registro fotográfico macroscópico del efecto del mucílago de cacao sobre las colonias de fusarium graminearum.</i>	58

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Distribución mundial y regional de los fenotipos de cacao.</i>	23
Tabla 2. <i>Componentes químicos y cantidades en el mucílago de cacao.</i>	27
Tabla 3. <i>Mecanismos bioquímicos y enzimáticos de Fusarium graminearum.</i>	31
Tabla 4. <i>Tratamientos para la preparación de la muestra de control de DPPH.</i>	37
Tabla 5. <i>Mediciones y variaciones de pH.</i>	44
Tabla 6. <i>Datos cromatográficos del mucílago de cacao, Santa Helena 2025.</i>	45
Tabla 7. <i>Datos cromatográficos del estándar de referencia.</i>	46
Tabla 8. <i>Comparación de las concentraciones de azúcares entre la muestra de mucílago de cacao y los estándares analíticos.</i>	47
Tabla 9. <i>Comparación de las concentraciones de los glucósidos de la muestra de mucílago de la vereda, Santa Helena, Valle del Cauca con concentraciones de referentes teóricos.</i>	48

Tabla 10. *Caracterización cromatográfica de ácidos orgánicos en mucílago de cacao y comparación con estándares analíticos.* 54

Tabla 11. Porcentaje de inhibición en relación con la concentración de mucílago de cacao. 58

1. Problema de investigación

1.1 Objeto o tema de estudio.

La capacidad antioxidante y antifúngica del mucílago de cacao extraído de cultivos en la vereda Santa Helena, Municipio el Cerrito, Valle del Cauca

1.2 Línea de investigación.

El proyecto “Valoración de la capacidad antioxidante y antifúngica del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en cultivos de la vereda Santa Helena, Municipio el Cerrito, Valle del Cauca” está vinculado a la línea de investigación Didáctica de las Ciencias Naturales, Sustentabilidad Ambiental y Química Verde, porque busca dar un valor agregado al subproducto del procesamiento del cacao (mucílago) considerado como un desperdicio. Este proyecto apunta a la sostenibilidad ambiental e innovación industrial ofreciendo una alternativa viable para el aprovechamiento del mucílago a través del estudio de las propiedades antioxidantes y antifúngicas de este producto orgánico, en beneficio de otras áreas industriales y económicas otorgando algunas alternativas para mitigar el impacto ambiental que causa el mucílago a largo plazo, siendo beneficioso para los sectores económico, social y ambiental de la región.

1.3 Planteamiento del problema

Como se señaló previamente, la industria cacaotera se ha centrado casi exclusivamente en el aprovechamiento de la semilla, relegando el mucílago a la condición de subproducto desechable (Estrella, 2013). Esta desatención no es solo una oportunidad perdida en términos de investigación como se evidenció en la limitada evidencia disponible sobre la actividad antifúngica del mucílago (Ruperty-Parraga et al., 2026) y en la ausencia de estudios sobre el clon

FLE-3 en el Valle del Cauca, sino que constituye también un problema con consecuencias ambientales y económicas concretas para las comunidades cacaoteras de la región.

En términos ambientales, el desecho inadecuado del mucílago cerca de zonas de cultivo y procesamiento contribuye a la acumulación de metales pesados como cadmio y plomo en el suelo (Rosales-Huamaní et al., 2021), además de deteriorar el suelo, la flora y la fauna circundantes, y generar condiciones insalubres que afectan la calidad del producto final (Márquez y Salazar, 2015). Esta situación es visible en fincas de la vereda Santa Helena, municipio El Cerrito (Figura 1), donde la acumulación de residuos de cacao evidencia la falta de estrategias de aprovechamiento de este subproducto. Como consecuencia indirecta, los agricultores recurren al uso intensivo de fertilizantes y pesticidas químicos para contrarrestar la proliferación de plagas y hongos en el cultivo, lo que a largo plazo empobrece los suelos.

Figura 1.

Evidencia de desechos de residuos de cacao.



Nota. Fuente: Elaboración Propia. La imagen muestra desechos de cacao cerca de cultivos de cacao en la finca “Delicao”, Municipio El Cerrito, Valle del Cauca, lo que genera contaminación.

En términos económicos, este desaprovechamiento limita las posibilidades de diversificación de ingresos en una región donde el cacao ha sido promovido como estrategia de sustitución de cultivos ilícitos. No obstante, los agricultores enfrentan desafíos de rentabilidad frente a otros cultivos, ya que el cacao permite generalmente una sola cosecha anual, a diferencia de la coca, que puede cosecharse de dos a tres veces al año (Gil et al., 2019). Sin alternativas de valor agregado como el mucílago, se reduce el atractivo económico del cacao como cultivo lícito sostenible. Así, el problema no es únicamente la falta de conocimiento científico identificada en la introducción la poca exploración de la actividad antifúngica del mucílago, la ausencia de caracterizaciones del clon FLE-3 y la limitada investigación cacaotera en el Valle del Cauca (SIC, 2011)

1.4 Formulación del problema

La literatura reporta que el mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) contiene compuestos fenólicos y flavonoides, como epicatequina y catequina, así como azúcares fermentables, a los cuales se atribuye una posible actividad inhibitoria frente a hongos fitopatógenos como *Fusarium graminearum*, y compuestos como vitamina C y ácidos fenólicos entre ellos el ácido cafeico y el ácido gálico que sugerirían una capacidad antioxidante relevante (Martín y Ramos, 2021). Estos hallazgos, sin embargo, provienen mayoritariamente de estudios realizados sobre variedades comerciales y en contextos geográficos distintos al del Valle del Cauca, por lo que no es posible asumir que dichas propiedades se expresen de la misma manera en el mucílago proveniente de cultivos regionales como el clon FLE-3, cuya composición

bioactiva no ha sido caracterizada previamente (Eco Yuma, s.f.), ni en las condiciones agroecológicas específicas de la vereda Santa Helena, municipio El Cerrito.

Ante esta incertidumbre, y considerando la escasa investigación cacaotera desarrollada en el Valle del Cauca en comparación con otras regiones productoras del país (SIC, 2011), surge la necesidad de determinar si el mucílago producido en esta zona efectivamente presenta actividad antioxidante y antifúngica de lo que surge la siguiente pregunta de investigación:

¿El mucílago de cacao producido en la vereda Santa Helena, municipio El Cerrito, Valle del Cauca, presenta actividad antioxidante y antifúngica?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Valorar la capacidad antioxidante y antifúngica del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en cultivos provenientes de la vereda Santa Helena, Valle del Cauca.

1.5.2 Objetivos específicos

- Caracterizar mediante técnicas físicoquímicas las muestras de mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) y el análisis de compuestos bioactivos mediante cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), en cultivos provenientes de la vereda Santa Helena, Valle del Cauca.
- Determinar la actividad antioxidante del mucílago de cacao por el método de decoloración de radicales libres 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH).
- Analizar la actividad antifúngica del mucílago de cacao frente a *Fusarium graminearum* mediante la inhibición del crecimiento radial en medio PDA.

1.6 Justificación

El cacao (*Theobroma cacao L.*) ha sido objeto de numerosos estudios debido a su importancia económica, nutricional y agroindustrial, especialmente por su uso en la producción de chocolate. En Colombia, y particularmente en el departamento del Valle del Cauca, el cultivo de cacao ha cobrado relevancia como alternativa productiva sostenible para comunidades rurales. En este contexto, se desarrolló un proyecto de fortalecimiento de familias cacaoteras liderado por la Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao), Cacao Hunters y la Fundación Mundo Mujer, orientado a mejorar la sostenibilidad y competitividad del sector mediante la producción de chocolate artesanal de alta calidad y bebidas achocolatadas. Dicho proyecto benefició aproximadamente a 400 familias campesinas de zonas como Popayán y Palmira, consolidando el uso de la semilla de cacao como eje principal de la cadena productiva

Si bien estos esfuerzos han impulsado el aprovechamiento del grano, otros componentes del fruto, como el mucílago, continúan siendo subutilizados. Este subproducto, generado durante el proceso de beneficio del cacao, representa una oportunidad estratégica para diversificar la cadena de valor y reducir el desperdicio agroindustrial. En este sentido, la presente investigación tiene como objetivo estudiar el potencial antioxidante y antifúngico del mucílago de cacao procedente de la vereda Santa Helena, Municipio el Cerrito, Valle del Cauca, con el fin de ampliar el enfoque tradicional del aprovechamiento del cacao y promover el uso integral del fruto. El desarrollo de productos a partir del mucílago se alinea con principios de economía circular y sostenibilidad rural, contribuyendo a la generación de valor agregado y a la innovación en comunidades agrícolas (Coral et al., 2021; FAO, 2017).

Para el desarrollo del estudio se empleó cacao tipo FLE3, uno de los materiales genéticos más cultivados en el suroccidente colombiano, debido a su adecuada adaptación a las condiciones edafoclimáticas locales, su buen rendimiento productivo y su importancia económica para los agricultores de la región. La selección de este material permite que los resultados obtenidos sean representativos y transferibles a la realidad productiva regional, fortaleciendo el impacto científico y social de la investigación (Fedecacao, 2019; MinAgricultura, 2021).

De acuerdo con informes del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2020), el sector cacaotero colombiano presentó un crecimiento aproximado del 3 %, alcanzando 194.428 hectáreas cultivadas y una producción cercana a 65.174 toneladas en 2021 (MinAgricultura, 2021). Entre los años 2015 y 2021, el área sembrada aumentó un 13 % y la producción un 15 %, lo que evidencia el creciente interés por este cultivo. No obstante, este incremento también genera mayores volúmenes de subproductos, reforzando la necesidad de buscar alternativas sostenibles para su aprovechamiento y valorización (ICA, 2020; Fedecacao, 2019).

En este contexto, el mucílago de cacao ha despertado un creciente interés científico debido a sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Diversos estudios han demostrado su capacidad aglutinante (Citalán, 2022), fermentativa (Ponce, 2022), antifúngica (Bastidas, 2017) y clarificante (Torres y Vega et al., 2021). Además, su contenido de compuestos fenólicos y antioxidantes lo posiciona como una materia prima prometedora para aplicaciones en la industria alimentaria, agrícola y farmacéutica (Afoakwa, 2016; Hernández et al., 2020). Por lo tanto, el aprovechamiento integral de *Theobroma cacao* L., surge como una alternativa viable para generar ingresos lícitos, mejorar la calidad de vida de los agricultores y fortalecer las economías locales mediante el uso eficiente de todos los componentes del fruto.

En presente proyecto de investigación se tomaron muestras en el departamento del Valle del Cauca, en la vereda Santa Helena, municipio de El Cerrito, en la finca “La Eliza” y las zonas de tratamiento Delicao, donde se obtuvo el mucílago de cacao durante la temporada de cosecha. Se recolectaron dos litros de exudado de tipo FLE-3 provenientes de mazorcas en estado de madurez y libres de enfermedades. El estudio se realizó en el Laboratorio de Cromatografía de la Universidad de Nariño sede Pasto (UDENAR), ubicada en Ciudadela Universitaria Torobajo, Calle 18 No. 50-02. Esta investigación se delimitó al análisis antioxidante y antifúngico del mucílago.

2. Marco referencial

2.1 Antecedentes

Según Abbott (2017), el cacao en Colombia no es solo un cultivo, sino un pilar fundamental de la historia, la cultura y la economía colombiana. El país está considerado como uno de los principales productores mundiales de cacao fino de aroma en el cual entra en clon de tipo FLE-3 en palabras de Fedecacao (2015), un tipo altamente valorado por su calidad y sabor a nivel global, cuya cadena productiva, desde el cultivo hasta la elaboración de productos finales, genera empleo en zonas rurales y urbanas, contribuyendo al desarrollo socioeconómico de diversas regiones. Además de ser la materia prima para la elaboración del chocolate, el cacao y sus subproductos han sido objeto de numerosas investigaciones debido a su rica composición química, la cual incluye una variedad de compuestos bioactivos con propiedades benéficas para la salud.

Citando a Márquez y Salazar (2015) el tratamiento del cacao en la actualidad pasa por procedimientos rústicos evidenciando que hay serios problemas en la producción del chocolate demostrando que los mecanismos de recolección del mucílago de cacao son deficientes, en razón de que no hay muchos estudios para el aprovechamiento de este, por motivos del escaso financiamiento para el uso de tecnología que permita una recolección más fácil, eficiente, eficaz donde no se desperdicie la mayor parte de la materia prima (mucílago), de este modo se ha revelado las fallas en la sostenibilidad productiva de mayoría de las industrias cacaoteras que en gran parte realizan la dispersión del mucílago o en palabras de Estrella (2013) "Desperdicio" en las aguas de los ríos y en los suelos cercacos a los cultivos, presenciando que en América del Sur hace muchas décadas estas prácticas son la razón de la baja sostenibilidad en la producción del cacao evidenciando prácticas obsoletas, poco sostenibles y aún más preocupante se observa que el modo de tratamiento resulta en una baja funcionalidad año con año por prácticas rústicas como el rastrilleo que se ha realizado aproximadamente por tres décadas hasta la actualidad usando métodos muy antiguos que provocan la proliferación de plagas, todo con el fin de favorecer a una "producción artesanal" (ICA y Fedecacao 2012).

Álvarez et al. (2002) realizaron una caracterización fisicoquímica del mucílago de cacao en distintas zonas de cultivo en Venezuela, evidenciando que la composición del mucílago varía considerablemente según el lugar geográfico y el genotipo evaluado. Los autores señalaron que dependiendo de la zona de cultivo varía el pH manteniéndose en un rango ácido de 3,01 a 3,76 en todos los genotipos estudiados. Estos resultados son consistentes con lo descrito por Piracoca (2022), dado que la composición química del mucílago está dominada por agua, azúcares, ácido cítrico y pectina, siendo precisamente el contenido de ácido cítrico el que determina su pH cercano a 3,6. La variabilidad reportada por Álvarez et al. (2002) entre zonas geográficas

constituye un referente fundamental para el presente estudio, ya que sugiere que el mucílago producido en Santa Helena podría presentar un perfil fisicoquímico diferenciado, condicionado por las particularidades agroecológicas locales y fenotipo cultivado en la región, aspectos que serán evaluados mediante análisis de pH, densidad, contenido de ácidos orgánicos y contenido de azúcares.

En la actualidad, se evidencia un creciente interés científico en el aprovechamiento del mucílago de cacao como subproducto agroindustrial, debido a su composición rica en compuestos bioactivos y a su potencial aplicación en diferentes sectores. La mayoría de los estudios realizados hasta el momento se han centrado principalmente en la caracterización química y biológica del mucílago, evaluando parámetros como el contenido de azúcares totales oscilando entre 100–180 g/L, ácidos orgánicos como ácido cítrico, ácido acético, ácido tartárico y ácido láctico, vitaminas y compuestos fenólicos (Piracoca 2022). No obstante, muchos de estos trabajos presentan un impacto limitado en términos de innovación y aplicación industrial, en gran medida debido a la falta de financiamiento y a la escasa articulación entre la investigación científica y el sector productivo. Tradicionalmente, el mucílago de cacao ha sido estudiado como materia prima para la obtención de combustibles orgánicos, bebidas alcohólicas y bebidas con alto valor nutricional; sin embargo, a partir de la década de 2010 se ha observado un aumento significativo en investigaciones que destacan su potencial funcional, atribuible a sus propiedades fermentativas, aglutinantes, antioxidantes y vitamínicas. (Ponce, 2022; Citalán, 2022; Bastidas, 2017). Estas características han posicionado al mucílago como una alternativa prometedora para el desarrollo de productos con valor agregado, especialmente en aplicaciones relacionadas con la conservación de alimentos y el control biológico de microorganismos. El mucílago de cacao ha sido reconocido como un subproducto con importante actividad antioxidante.

En estudios realizados por Ramírez et al. (2013) se pone en evidencia la alta capacidad antioxidante del mucílago en diferentes variedades de cacao (Criollo y Trinitario) mediante ensayos de inhibición de radicales libres (DPPH), demostrando un alto potencial antioxidante en este subproducto con un porcentaje de 57 % y 71,1 %. Demostrando que los principales componentes del mucílago son agua, azúcares, ácido cítrico y pectina, cuya composición química actúa como medio de compuestos antioxidantes y bioactivos como catequinas. De manera adicional Zhunio (2020) evaluó la capacidad antioxidante del mucílago de *Theobroma cacao* L. en muestras provenientes de Ecuador, reportando valores de 7,89 y 3,35 $\mu\text{M TE} \cdot \text{mL}^{-1}$ para los materiales genéticos del complejo Nacional y Trinitario y CCN-51, respectivamente. Estos resultados demuestran que el mucílago de cacao posee capacidad antioxidante cuantificable y que dicha actividad varía según el genotipo evaluado, siendo mayor en el material Nacional x Trinitario que en el CCN-51. De manera complementaria los autores Corvi y Collini et al. (2024)) identificaron alcaloides, flavonoides, taninos, saponinas y triterpenoides como los principales compuestos responsables de la actividad antioxidante en la cáscara y el exudado de ésta. En conjunto, estos hallazgos demuestran que los subproductos del cacao poseen propiedades parecidas como fuente de compuestos fenólicos y metabolitos bioactivos con capacidad antioxidante y antimicrobiana.

Bastidas (2017) demostró mediante ensayos *in vitro* que el mucílago de cacao posee efecto inhibitor sobre el crecimiento de hongos fitopatógenos, particularmente frente a *Moniliophthora roreri*, lo que sentó una base importante para el estudio del mucílago como agente de control biológico. Cabe señalar que, si bien *Fusarium graminearum* ha sido ampliamente estudiado como patógeno de importancia agrícola principalmente en cultivos de cereales, donde genera pérdidas significativas en trigo y maíz, la mayoría de los antecedentes

sobre su control mediante compuestos de origen vegetal provienen de matrices distintas al cacao. Se ha reportado, por ejemplo, que el ácido ferúlico, un compuesto fenólico presente también en el mucílago de cacao, ejerce actividad antifúngica e inhibe mecanismos de crecimiento en *F. graminearum* (Yan et al., 2023), lo que sugiere una posible vía de acción trasladable a otros compuestos fenólicos como los identificados en el mucílago (epicatequina, catequina). Sin embargo, hasta donde se ha podido identificar, no existen antecedentes que hayan evaluado directamente el efecto del mucílago de cacao fermentado o sin fermentar sobre *F. graminearum*, lo que representa un vacío experimental específico que este estudio busca abordar, diferenciándose de los antecedentes previos centrados casi exclusivamente en *Moniliophthora roreri* (Ruperty-Parraga et al., 2026). Esta ausencia de antecedentes directos, sumada a la escasa caracterización del mucílago proveniente del clon FLE-3 y a la limitada investigación cacaotera desarrollada en el departamento del Valle del Cauca (SIC, 2011), refuerza la pertinencia de evaluar experimentalmente la capacidad antioxidante y antifúngica del mucílago producido en la vereda Santa Helena, municipio El Cerrito, como una contribución novedosa frente a los vacíos identificados en la literatura.

Más estudios presentados por Rahayu et al. (2023) evidencian que los subproductos del cacao constituyen fuentes valiosas de compuestos bioactivos con múltiple actividad biológica, lo que respalda directamente la exploración del mucílago como subproducto igualmente subestimado, con potencial para ser aprovechado como fuente natural de antioxidantes y agentes antifúngicos.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Generalidades del cacao (*Theobroma cacao* L.)

El árbol de cacao (*Theobroma cacao* L.) es una planta tropical de hoja perenne originaria de las regiones tropicales y amazónicas de América del Sur (Lachenaud, 1995). Su nombre científico significa "alimento de los dioses" en griego, y presenta compuestos naturales asociados a un sabor afrodisíaco (Martínez, 2016). Se desarrolla en zonas con temperaturas entre 20 y 30 °C, alta humedad y suelos nitrogenados, sueltos y ricos en calcio y magnesio. El árbol puede alcanzar hasta 20 m de altura, con hojas de 20 a 50 cm de largo y frutos de 15 a 30 cm (Lachenaud, 1995).

2.2.2 Distribución geográfica y fenotipos de cacao

El cacao se cultiva en la mayoría de regiones de clima tropical del mundo y se agrupa principalmente en tres fenotipos que difieren en sabor, productividad y participación en el mercado mundial y colombiano:

Tabla 1

Distribución mundial y regional de los fenotipos de cacao

Fenotipo	Características	% producción mundial	% producción en Colombia
Forastero	Sabor más amargo, menos complejo; el más cultivado a nivel mundial; usado en la industria alimentaria de Europa y África (Aguilar, 2013; Museo del Chocolate, 2021)	Más del 80%	2–3%

Trinitario	Sabor complejo y aromático, con notas frutales, florales y especiadas (Aguilar, 2013)	10–15% (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020)	95%
Criollo (fino de aroma)	El más antiguo y raro; sabor delicado y floral; en estado puro ya no existe, solo variedades acriolladas (Aguilar, 2013)	~5%	1–2%

Nota. Elaboración propia a partir de Aguilar (2013), Museo del Chocolate (2021) y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2020).

Aunque los tres fenotipos comparten los mismos compuestos base (azúcares, pectinas, grasas, ácidos), las cantidades de cada uno varían según el medio de cultivo, el método de extracción y el entorno de crecimiento de la planta (Graziani de Fariñas et al., 2003).

2.2.3 Anatomía del fruto de cacao

Independientemente del fenotipo, el fruto del cacao mantiene una estructura común: semillas de 2 a 3 cm de longitud la parte comercialmente más valorada recubiertas por una pulpa o baba mucilaginosa de color blanco o amarillento, de sabor dulce y ligeramente ácido (Estrella, 2013).

Figura 2

Imagen de la vaina del cacao, partes de esta.



Nota. Fuente: Tomado de Ecoyuma (s.f.). Imagen representativa de la vaina de cacao abierta tipo FLE-3.

Tradicionalmente, esta baba se ha utilizado casi exclusivamente como medio de fermentación láctica para mejorar la calidad del grano —empleando cerca del 20% del mucílago disponible y desechando el 80% restante (Arvelo Sánchez et al., 2017)—, práctica que se mantiene sin mayores variaciones a pesar de las numerosas investigaciones orientadas a mejorar la calidad del chocolate.

2.2.4 Caracterización del clon FLE-3

El clon de cacao FLE-3, material específico de este estudio, corresponde a un híbrido derivado de programas de selección y mejoramiento genético en Colombia, que combina características del grupo Trinitario con influencia genética de Criollo y Forastero. Presenta un fenotipo intermedio, con frutos de tamaño medio, color rojizo, buena conformación de la

mazorca y semillas con adecuada relación pulpa-grano, además de contenidos favorables de azúcares fermentables en la pulpa (López-Hernández et al., 2021).

Figura 3

Fruto de cacao de tipo FLE-3.



Nota. Fuente: elaboración propia. Fruto de cacao de tipo FLE-3, extraído de la vereda El Cerrito, Valle del Cauca.

2.2.5 Bioquímica del mucílago de cacao

El mucílago es una sustancia viscosa de color blanco o ligeramente amarillento, cuya textura gelatinosa se debe a su alto contenido de agua (hasta 80% de su peso; Santana et al., 2018). Su densidad y viscosidad varían según la concentración de pectinas (Bone-Quintero et al., 2022) y el grado de fermentación. La siguiente tabla resume sus principales componentes bioquímicos:

Tabla 2.

Componentes químicos y cantidades en el mucílago de cacao

Compuesto	Rango reportado	Función / relevancia	Fuente
Azúcares (glucosa, fructosa, sacarosa)	10–14% (63% son azúcares reductores)	Sustrato energético para microorganismos durante la fermentación láctica	Villarreal-Bastidas et al. (2024)
Pectinas	1–3%	Forman geles, dan viscosidad y textura gelatinosa; retienen ~80% de agua en la semilla	Bone-Quintero et al. (2022)
Ácido cítrico	1.5–2%	Sabor ácido; conservante natural	Sánchez-Olaya et al. (2019)
Ácido málico	0.5–0.7%	Contribuye al perfil ácido	Vega-Vega (2023)
Flavonoides (catequinas, epicatequinas, proantocianidinas)	~15% en peso seco (en vaina)	Antioxidantes y antifúngicos; aroma y sabor afrutado	Vázquez-Agell et al. (2011)

Nota. Elaboración propia a partir de las fuentes citadas. Esta tabla muestra algunos de los componentes químicos presentes en el mucílago de cacao, su relevancia y la fuente de donde fue tomada la información.

Estos compuestos le confieren al mucílago propiedades funcionales de interés industrial: capacidad aglutinante (Citalán, 2022), antifúngica (Bastidas, 2017) y clarificante (Fernández et

al., 2022). Para su extracción y análisis, se han empleado métodos como la extracción ácida, que permite identificar polifenoles, flavonoides, ácidos orgánicos, azúcares, aminos y pectinas (Villa-Uvidia et al., 2020). Aplicaciones derivadas de esta composición: La pectina actúa como espesante y estabilizante natural, evidenciado en la elaboración de mermeladas de mucílago sin necesidad de aditivos adicionales (Jiménez y Bonilla, 2012), además, los compuestos fenólicos actúan como antioxidantes y contribuyen a la conservación de productos alimenticios (Coronado et al., 2015), y la fibra dietética del mucílago actúa como prebiótico, estimulando bacterias intestinales beneficiosas (Abarca et al., 2010).

2.2.6 Semilla y exudado de cacao (componentes complementarios)

La semilla, cubierta por una capa protectora blanquecina, es la base del chocolate. Posee alto contenido de lípidos y compuestos bioactivos como polifenoles, además de teobromina y pequeñas cantidades de cafeína que le confieren un efecto ligeramente estimulante (Zhunio, 2022; Martínez et al., 2000). El exudado la pulpa del mucílago encuentra aplicación en cosmética y farmacéutica por sus compuestos antioxidantes y antiinflamatorios, con un contenido de fibra dietaria soluble de 10-15% en peso seco (Holguín, 2025), y potencial para la obtención de jarabes endulzantes de alta calidad (Calderón y Ruiz, 2024).

2.2.7 Capacidad antioxidante: concepto y métodos de evaluación

La capacidad antioxidante se refiere a la habilidad de un compuesto para prevenir o retardar la oxidación de otras moléculas, actuando como escudo frente a los radicales libres (Vázquez-Ovando et al., 2022). En el cacao, los flavonoides son los principales responsables de esta actividad (Sotelo, 2015).

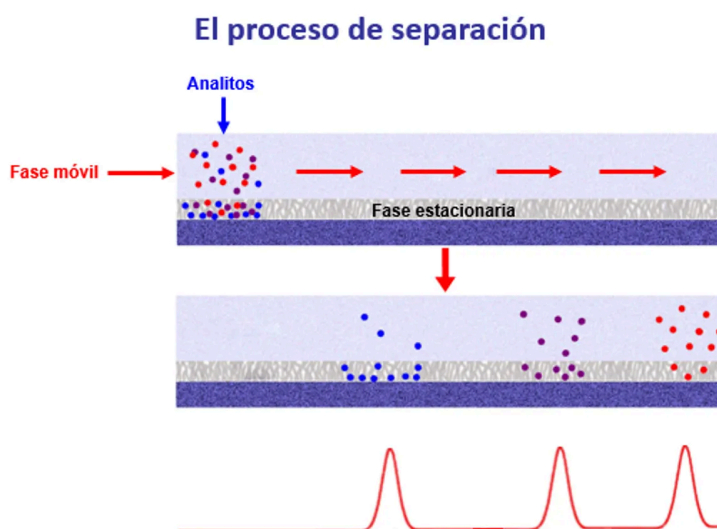
Para su evaluación en este estudio se emplearán:

Método DPPH: mide la capacidad de un antioxidante para decolorar el radical DPPH al donarle un electrón (Guija-Poma et al., 2015). Se expresa en $\mu\text{mol TE/g}$ (equivalente Trolox) o mg AAE/g (equivalente ácido gálico) (Escobar-Cruz y Vázquez-Ovando, 2024).

HPLC (cromatografía líquida de alta resolución): técnica de alta precisión para identificar y cuantificar flavonoides y compuestos fenólicos (Volonté, 2013), separando componentes según su naturaleza química en tiempos de retención característicos.

Figura 4

Separación e identificación de compuestos en HPLC.



Nota. Fuente: NotiJenck (2018). Gráfica del funcionamiento e identificación de compuestos por el método de HPLC

2.2.8 Capacidad antifúngica: concepto y métodos de evaluación

Se define como la habilidad de una sustancia para inhibir o eliminar hongos, propiedad relevante tanto para la protección del cultivo como para aplicaciones en salud y seguridad alimentaria (Mejía et al., 2008). Los métodos que se emplearán en este estudio incluyen:

Difusión en agar: un disco impregnado con la sustancia se coloca sobre agar inoculado; la formación de un halo de inhibición (medido en mm) indica actividad antifúngica (Ezpeleta-Baquedano et al., 2013; Ruiz, 2013).

Dilución en caldo: determina la concentración mínima inhibitoria (CMI), la menor concentración que inhibe visiblemente el crecimiento fúngico (Ruiz, 2013).

Conteo de colonias: permite determinar la concentración mínima bactericida (CMB) tras la exposición a la sustancia (Ezpeleta-Baquedano et al., 2013).

***Fusarium graminearum*: patógeno de estudio**

Fusarium graminearum es un patógeno de gran importancia agrícola, causante del tizón de la espiga en trigo, cebada, arroz y avena, y asociado a podredumbres en mazorcas y tallos de maíz (Alisaac y Mahlein, 2011). Su infección provoca decaimiento del grano, pérdida de peso y deterioro del tejido, además de favorecer la producción de micotoxinas como el deoxinivalenol (DON) y la zearalenona (ZEA), perjudiciales para la salud animal y humana (Desjardins y Proctor, 2007). Su relevancia para este estudio se refuerza con evidencia local: estudios del ICA (2020) confirmaron la presencia de especies del género *Fusarium*, incluida *F. graminearum*, en granos de maíz del Valle del Cauca, con niveles de micotoxinas que superan los límites permitidos para consumo, lo que evidencia que este patógeno ya constituye una amenaza fitosanitaria activa en la región de estudio.

Tabla 3.

Mecanismos bioquímicos y enzimáticos de Fusarium graminearum asociados a su patogenicidad, y su relación con los posibles mecanismos antioxidante y anti fúngico del mucílago de cacao.

Componente enzimático/bioquímico	Función en la patogénesis de <i>F. graminearum</i>	Relación con la acción antioxidante/antifúngica del mucílago	Fuente
Enzimas degradadoras de pared celular (poligalacturonasas, xilanasas, celulasas)	Hidrolizan pectina, xilano y celulosa de la pared celular del hospedero, facilitando la penetración de hifas y la colonización del tejido vegetal	Los compuestos fenólicos y ácidos orgánicos del mucílago (ácido cítrico, málico) podrían inhibir competitivamente estas enzimas, reduciendo la capacidad invasiva del hongo	Kikot et al. (2009); Sella et al. (2016, <i>Molecular Plant-Microbe Interactions</i>)
Peroxidasas fúngicas (incluida la catalasa-peroxidasa KatG2)	Neutralizan el peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂) generado por el hospedero como mecanismo de defensa, protegiendo al hongo del estrés oxidativo	El estrés oxidativo inducido por los polifenoles del mucílago (catequina, epicatequina) podría saturar este sistema enzimático, comprometiendo la viabilidad celular fúngica	Lee et al. (2018); Guo et al. (2019, <i>Molecular Plant Pathology</i>)
Superóxido dismutasa (SOD)	Cataliza la dismutación del radical superóxido (O ₂ • ⁻) en H ₂ O ₂ y O ₂ , protegiendo a la célula fúngica de especies reactivas de oxígeno (ROS)	La inhibición de esta enzima antioxidante fúngica por acción de flavonoides puede favorecer la acumulación intracelular de ROS y el daño oxidativo de la célula del hongo	Heller y Tudzynski (2011); Tian et al. (2021, <i>Molecular Plant Pathology</i>)

Genes <i>TRI</i> (biosíntesis de tricotecenos)	Codifican las enzimas responsables de sintetizar micotoxinas (DON, ZEA) como respuesta de virulencia y como mecanismo asociado al estrés oxidativo	Se ha reportado que compuestos fenólicos actúan como inhibidores de la biosíntesis de tricotecenos, lo que vincula la actividad antioxidante del mucílago con una posible reducción del potencial toxigénico del hongo	Desjardins y Proctor (2007); revisión de fenoles inhibidores de tricotecenos en <i>Fusarium</i> (Toxins, 2022)
---	--	--	--

Nota. Fuente: Elaboración propia, Tabla que muestra los mecanismos y regulación enzimática del fusarium con el mucílago de cacao

2.2.10 Métodos analíticos complementarios

Extracción por ultrasonicación (EUA): La extracción asistida por ultrasonido se fundamenta en la cavitación acústica, fenómeno en el que ondas ultrasónicas de alta intensidad generan burbujas de vacío en el líquido que, al colapsar violentamente, liberan energía capaz de romper las paredes celulares y transferir los compuestos de interés hacia el disolvente (Azuola y Vargas, 2007). Este tipo de extracción fue seleccionado para el procesamiento del mucílago de cacao por su versatilidad, ya que permite ajustar tanto el tipo de solvente como la intensidad de la ultrasonicación sin alterar la composición de la muestra.

HPLC: descrita en la sección 2.2.7, se aplicará también para el análisis de ácidos orgánicos y glucósidos presentes en el mucílago.

3. Metodología

3.1 Paradigma

El presente estudio se enmarca dentro del paradigma positivista, con un enfoque cuantitativo de tipo experimental, dado que se orienta a la observación, medición y análisis objetivo de fenómenos naturales mediante métodos científicos verificables (Ramos et al., 2020). Este paradigma se caracteriza por la búsqueda de relaciones causales, el uso de variables medibles y la obtención de resultados reproducibles, aspectos que se ajustan al análisis de la actividad antioxidante y antifúngica del mucílago de cacao a través de ensayos químicos y microbiológicos estandarizados. De acuerdo con Gómez y Roquet (2018), el paradigma positivista es ampliamente utilizado en investigaciones experimentales en ciencias naturales debido a su capacidad para generar conocimiento objetivo y generalizable.

3.2 Enfoque

El enfoque cuantitativo permite recolectar datos numéricos para analizarlos estadísticamente y de esta manera verificar las hipótesis planteadas. Esta se basa en la búsqueda referencial, planteamiento de hipótesis o resolución de una pregunta, análisis de resultados y comparación referencial, como lo menciona Baena (1996).

3.3 Método

El estudio del mucílago de cacao de Santa Helena, Valle del Cauca, se basa en una metodología de investigación cuasi experimental, mediante una serie cronológica con diseños compensados y un análisis por tratamientos. La caracterización del fenotipo extraído en Santa Helena (Popayán) se realiza en primera instancia con HPLC, a través de la comparación gráfica

del gradiente de concentración obtenido con acetonitrilo. A partir de ahí, el estudio se organiza en tres frentes experimentales:

Capacidad antioxidante: se evalúa mediante el ensayo de DPPH, que consiste en la captación de radicales libres para detectar propiedades antioxidantes en el exudado del mucílago.

Capacidad antifúngica: se determina mediante el método de sensidiscos, empleado para evaluar la sensibilidad de los hongos frente a diferentes antibióticos.

Comparación de inhibidores microbianos: se realiza mediante microdilución en caldo, técnica que, según Concha et al. (2020), consiste en preparar diluciones seriadas del compuesto en un medio líquido (caldo) inoculado con los microorganismos, como lo sugieren Ramírez y Castaño (2019).

En los tres casos, el mucílago se compara frente a diferentes materias primas y productos industriales de referencia.

3.4 Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptiva, ya que, según Arias (2006), este tipo de investigación permite la recolección de información y la descripción de fenómenos concretos, así como su posterior análisis e interpretación. El estudio tendrá, además, un diseño cuasi experimental, en el que se realizará un muestreo de un conjunto representativo de mucílago de cacao fresco recolectado en una finca de la vereda Santa Helena, Valle del Cauca.

3.5 Diseño de experimentación

3.5.1 Diseño cuasi experimental

Como señalan Campbell y Stanley (1963), los diseños cuasi experimentales son útiles cuando la manipulación aleatoria de variables no es factible o éticamente viable. En este caso, al evaluar las propiedades del mucílago de cacao en cultivos ya existentes, se busca establecer relaciones causales entre las variables, aunque sin la misma certeza que en un experimento con asignación aleatoria de distintos tipos de cacao y procedencias.

3.5.2 Delimitación espacial

Las muestras se extrajeron de la Finca La Elisa (Fábrica de Chocolate Delicao), ubicada en el km 2 de la vía a Santa Elena, municipio de El Cerrito, Valle del Cauca, Colombia (coordenadas geográficas: 3°46'10" N y 76°08'30" W). Esta región se integra en el ecosistema de Bosque Seco Tropical (bs-T) del valle interandino del río Cauca, caracterizado por una temperatura promedio de 24 °C y un régimen pluviométrico estacional bimodal (Pizano y García, 2014). Los suelos de la zona corresponden predominantemente a los órdenes Molisol e Inceptisol, con texturas franco-arcillosas a francas que favorecen la conductividad hidráulica y la retención de humedad; el pH de estos suelos oscila entre 6.0 y 6.8, ligeramente ácido a neutro (ICA, 2021). Estas condiciones agroclimáticas determinan los ciclos climáticos y el desarrollo fenológico de los cultivos locales, e influyen directamente en los perfiles metabólicos de las especies vegetales de la zona (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2018).

Figura 5.

Área de estudio correspondiente a la finca La Elisa, vereda El Cerrito, Valle del Cauca, Colombia.



Nota: elaboración propia con base en imágenes satelitales de Google Maps (Google, 2026) y diseño realizado por la autora mediante asistencia de inteligencia artificial (ChatGPT, OpenAI).

3.5.3 Diseño experimental para la extracción y evaluación de estándares físicoquímicos del mucílago

El diseño experimental para evaluar la actividad antioxidante y antifúngica corresponde a un diseño unifactorial, en el que se evalúa el efecto de una sola variable independiente —la concentración del mucílago— en tres niveles, junto con el tiempo, para obtener como resultado una única variable de respuesta (actividad antioxidante o actividad antifúngica).

Este diseño permite comparar cómo las distintas concentraciones de mucílago influyen sobre la capacidad antioxidante, determinada mediante el método DPPH, y sobre la inhibición del crecimiento fúngico. Asimismo, facilita el análisis estadístico de los resultados, al permitir identificar diferencias significativas entre tratamientos, determinar qué concentración presenta el mayor efecto biológico y verificar la correspondencia entre la curva de calibración y la muestra en función del tiempo.

3.5.4 Tratamientos para evaluar la capacidad antioxidante del mucílago (método DPPH)

Tabla 4.

Tratamientos para la preparación de la muestra de control de DPPH.

Solución	Preparación
Solución madre (0,0020 mg/mL)	Pesar 0,1 g de ácido ascórbico y aforar a 10 mL con H ₂ O.
0,0015 mg/mL	Medir 7,5 mL de la solución madre y aforar a 10 mL con H ₂ O.
0,0010 mg/mL	Medir 5,0 mL de la solución madre y aforar a 10 mL con H ₂ O.
0,0005 mg/mL	Medir 2,5 mL de la solución madre y aforar a 10 mL con H ₂ O.

Nota. Fuente: elaboración propia. Solución de control (ácido ascórbico)

Tabla 2.

Tratamientos para la preparación de la muestra experimental.

Solución	Preparación
Solución madre (50 %)	Preparar una dilución 1:10 utilizando 0,5 mL de mucílago y 10 mL de agua destilada (H ₂ O).
0,5 %	Medir 0,05 mL de la solución madre y aforar a 10 mL con H ₂ O destilada.
0,2 %	Medir 0,02 mL de la solución madre y aforar a 10 mL con H ₂ O destilada.
0,1 %	Medir 0,01 mL de la solución madre y aforar a 10 mL con H ₂ O destilada.
0,05 %	Medir 0,005 mL de la solución madre y aforar a 10 mL con H ₂ O destilada.

Nota. Fuente: elaboración propia. Solución experimental (Mucílago)

Según García et al. (2021), el porcentaje de actividad antioxidante mediante el método DPPH se calcula con la ecuación 1, que permite determinar la capacidad de inhibición de radicales libres de la muestra analizada en comparación con el blanco de referencia:

$$\%I = [(A - A1) / A] \times 100$$

Ecuación 1. Porcentaje de inhibición de la capacidad oxidativa. Fuente: García et al. (2021).

Donde: %I corresponde al porcentaje de inhibición antioxidante; A representa la absorbancia del control; A₁ representa la absorbancia del blanco; y A corresponde a la absorbancia obtenida para la muestra evaluada.

Una disminución en la absorbancia indica una mayor capacidad antioxidante, debido a la reducción del radical libre DPPH y al cambio de coloración de púrpura a amarillo.

3.5.5 Tratamiento para la caracterización fisicoquímica del mucílago

Los extractos se analizan mediante HPLC, empleando una columna de fase reversa tipo C18 y un sistema de elución en gradiente compuesto por agua-etanol. La detección se realiza con detector UV a una longitud de onda de 517 nm, bajo condiciones controladas de tiempo, temperatura y relación sólido-solvente, con el fin de maximizar la recuperación de compuestos fenólicos y flavonoides (Khoddami et al., 2013). Previamente, los extractos obtenidos se concentran y filtran a través de membranas de tamaño de poro definido (Bastidas, 2017).

3.5.6 Identificación y cuantificación de compuestos bioactivos.

La identificación de los compuestos se efectúa comparando los tiempos de retención y los espectros UV con estándares externos, tales como ácido gálico, ácido cafeico, catequina y epicatequina. Para la cuantificación, se construyen curvas de calibración con los estándares seleccionados, lo que permite determinar la concentración de cada compuesto presente en el mucílago (Hernández, 2019).

3.6 Variables del estudio

3.6.1 Variables independientes

Ensayos antifúngicos: concentraciones del extracto de mucílago al 12,5 %, 25 % y 50 % (v/v), sometidas previamente a filtración esterilizante a 0,25 μm para eliminar partículas y microorganismos interferentes.

Ensayos antioxidantes: concentraciones del extracto de 0,0005; 0,001; 0,002 y 0,005 mg/mL, obtenidas mediante extracción asistida por ultrasonido (EAU) para preservar la integridad de los compuestos bioactivos.

Controles y referentes de validación: ácido ascórbico (vitamina C) para el método DPPH, y el hongo fitopatógeno *Fusarium graminearum* como modelo biológico blanco para los ensayos antifúngicos.

3.6.2 Variables dependientes

Caracterización fisicoquímica: pH (adimensional), densidad relativa (g/mL) medida por picnometría y temperatura de registro de la muestra ($^{\circ}\text{C}$).

Perfil químico: compuestos fenólicos individuales (epicatequina, catequina, ácido gálico y ácido cafeico), determinados mediante HPLC a partir del área de los picos cromatográficos y sus respectivos tiempos de retención (TR, en minutos).

Actividad biológica: actividad antioxidante, expresada como porcentaje de inhibición del radical DPPH (%I), y actividad antifúngica, cuantificada mediante el porcentaje de crecimiento radial del micelio, la desviación estándar y el coeficiente de variación de *Fusarium graminearum*, en comparación con el tratamiento control.

3.6.3 Variables controladas

Las condiciones experimentales se estandarizaron para garantizar la reproducibilidad de los ensayos. La temperatura de incubación se mantuvo constante a 25 °C en todos los ensayos biológicos, con un periodo de incubación de una a dos semanas para el crecimiento de *Fusarium graminearum*. Se empleó como medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA), ajustado a pH 4,5 para favorecer el desarrollo del hongo y limitar la proliferación de contaminantes bacterianos. Asimismo, se mantuvo constante el volumen de las alícuotas del extracto de mucílago aplicadas en cada réplica de acuerdo con la concentración evaluada. En los ensayos de capacidad antioxidante, la concentración inicial del radical DPPH fue la misma para todos los tratamientos, y las mediciones espectrofotométricas se realizaron a una longitud de onda de 517 nm, valor internacionalmente validado para la determinación de la absorbancia de este radical libre.

Como control del ensayo antifúngico se empleó la muestra madre de *Fusarium graminearum*, sembrada únicamente en medio Agar Papa Dextrosa (PDA), sin adición de extracto de mucílago. Esta muestra se sometió a las mismas condiciones de incubación que los tratamientos experimentales (25 °C durante un periodo de 15 días), con el fin de verificar el comportamiento basal del hongo y confirmar la viabilidad de las condiciones del ensayo.

3.7 Población

La población de estudio estuvo conformada por un cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) ubicado en la vereda Santa Helena, municipio de El Cerrito, Valle del Cauca. Este cultivo representa el conjunto de unidades productivas que generan mucílago de cacao durante el proceso de beneficio del grano y fermentación láctica, y constituye la base sobre la cual se pretende inferir el comportamiento de las propiedades antioxidantes y antifúngicas del mucílago.

3.8 Muestra

La muestra estuvo constituida por mucílago de cacao obtenido a partir de vainas seleccionadas de manera aleatoria en un solo cultivo de la vereda Santa Helena. Se empleó un muestreo aleatorio simple, en el cual cada vaina tuvo la misma probabilidad de ser seleccionada, con el fin de garantizar la representatividad de la muestra y minimizar posibles sesgos asociados a la selección del material vegetal. Como señalan Hernández-Sampieri et al. (2014), el muestreo aleatorio simple es un procedimiento de muestreo probabilístico que da a cada elemento de la población objetivo, y a cada posible muestra de un tamaño determinado, la misma probabilidad de ser seleccionado.

3.9 Análisis de laboratorio

Caracterización química: técnicas cromatográficas de HPLC para cuantificar flavonoides, fenoles, taninos y otros compuestos bioactivos con potencial antioxidante, así como para determinar los tipos y las cantidades de carbohidratos presentes en el mucílago.

Capacidad antioxidante: métodos de DPPH y ORAC, para medir la capacidad de los extractos de mucílago de capturar radicales libres y evaluar su efecto protector frente al daño oxidativo.

Capacidad antifúngica: ensayos de microdilución en caldo y de sensidiscos, para evaluar la actividad de los extractos de mucílago frente a *Fusarium* y *Candida*, complementados con un análisis microbiológico del mucílago orientado a determinar la presencia de microorganismos que puedan afectar su cantidad y propiedades.

Observación directa, para registrar las características de los hongos y los cambios cualitativos de los compuestos a lo largo de los ensayos.

3.10 Análisis estadístico de los datos

Con el fin de aclarar el tratamiento estadístico aplicado a los resultados —mencionado de forma dispersa en los apartados anteriores—, este se describe de manera unificada a continuación.

Estadística descriptiva: para cada tratamiento y concentración se calculan medidas de tendencia central y de dispersión (media, desviación estándar y coeficiente de variación), tanto para el porcentaje de inhibición del radical DPPH como para el porcentaje de crecimiento radial del micelio de *Fusarium graminearum*.

Estadística inferencial: se aplica un análisis de varianza (ANOVA) de un factor para determinar si existen diferencias significativas entre las concentraciones evaluadas y entre el mucílago y el ácido ascórbico (control), tanto en los ensayos de actividad antioxidante como en los de actividad antifúngica.

Comparaciones post hoc: en caso de encontrarse diferencias significativas en el ANOVA, se procederá con una prueba de comparación múltiple para identificar entre qué tratamientos específicos se presentan dichas diferencias.

Nivel de significancia: se establece un nivel de significancia estadística de $p < 0,05$ para todas las pruebas.

Relación dosis-respuesta: se analizará la relación entre la concentración del extracto y el efecto biológico observado (inhibición del radical DPPH o del crecimiento micelial), con el fin de identificar la concentración de mayor efecto y verificar la correspondencia entre la curva de calibración y el comportamiento de la muestra en función del tiempo.

4. Resultados

4.1 Propiedades Fisicoquímicas del mucílago de cacao

Como punto de partida en la caracterización del mucílago de cacao proveniente de la vereda Santa Helena, Valle del Cauca, se determinaron las propiedades fisicoquímicas básicas de la muestra, cuyos valores se presentan en la Tabla 5. Las mediciones de pH arrojaron un promedio de 3,34, con una temperatura promedio de 19,1°C y una densidad promedio de la muestra fue de 1,0649 g/mL. Estos valores son cercanos con lo reportado por Loureiro et al, (2017) que son de promedio en torno a 3.6 - 3.8 dado que la pulpa del cacao se clasifica como un producto de alta acidez con pH inferior a 4,5. Además la densidad concuerda muy bien con los resultados de Villarroel-Bastidas et al. (2022) que reportaron densidades de 0,91 g/cm³ para mucílago de cacao variedad CCN-51 y de 0,93 g/cm³ para la variedad Nacional debido a su composición rica en pectinas.

Tabla 5.

Mediciones y variaciones de pH

Mediciones de pH		
pH	Temperatura	Densidad de la muestra
3,37	19,2°C	1,0649
3,38	19,1°C	1,0648

3,32	18,9°C	1,0647
3,34	18,2°C	1,0650
3,28	19,0°C	1,0651

Nota. Fuente: Elaboración propia. Esta tabla muestra los valores de pH medidos a distintas temperaturas.

4.2 Determinación de azúcares por HPLC

Previo a los análisis, se realizó la extracción asistida por ultrasonido debido a que esta técnica permite obtener compuestos bioactivos de manera eficiente sin alterar significativamente la naturaleza de la muestra. La extracción por ultrasonido es considerada un método no térmico, lo que favorece la conservación de compuestos sensibles al calor y mantiene su integridad química durante el proceso. (Azuola y Vargas, 2007).

El análisis cromatográfico del mucílago de cacao permitió identificar tres azúcares mayoritarios: sacarosa, glucosa y fructosa. Los datos obtenidos se presentan en la Tabla 6, donde se analizaron los tiempos de retención, las áreas cromatográficas y las concentraciones determinadas para cada compuesto.

Tabla 6.

Datos cromatográficos del mucílago de cacao, Santa Helena 2025.

Azúcares	Tiempo de retención	Área	% Área	Concentración (g/L)
Sacarosa	8,577	859894	13,432	4,51
Glucosa	9,742	1281622	20,019	5,83
Fructosa	10,497	3261192	50,941	2,56
Total		6401962	100	

Nota. Fuente: Elaboración propia. La tabla muestra los datos obtenidos en el cromatógrafo para la muestra de mucílago.

La identidad de cada azúcar fue confirmada mediante la comparación con estándares analíticos de referencia, cuyos datos cromatográficos se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7

Datos cromatográficos del estándar de referencia.

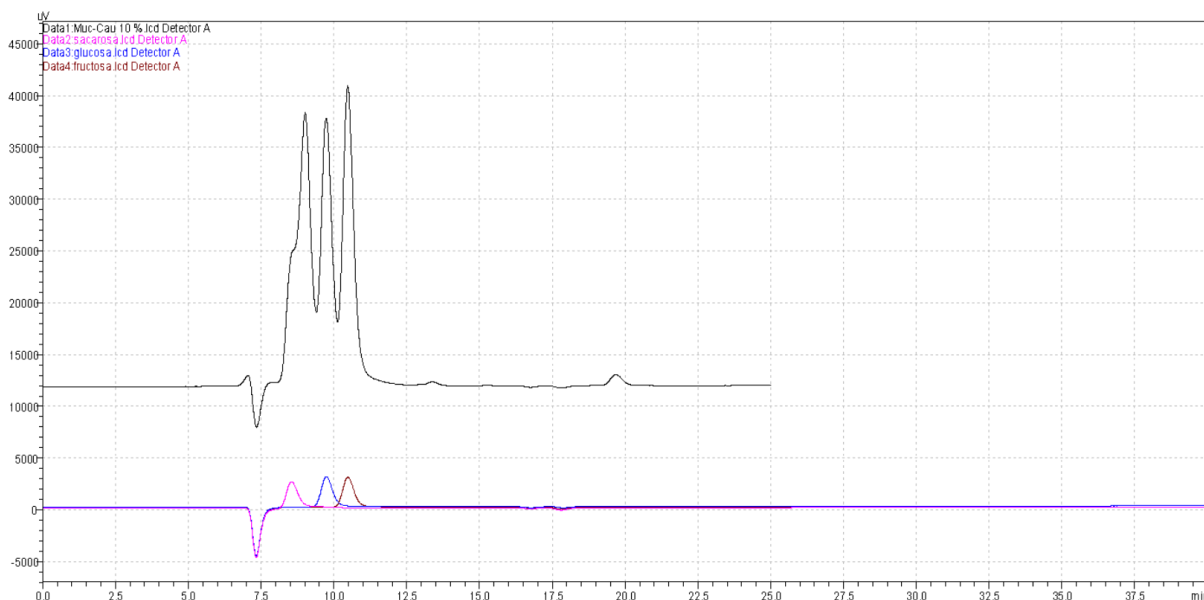
Estándares	Tiempo de retención	Área	Concentración (g/L)
Sacarosa	8,545	1909163	10,012
Glucosa	9,738	2199966	10,008
Fructosa	10,477	2162790	10,024

Nota. Fuente: Elaboración propia. La tabla muestra los datos obtenidos en el cromatógrafo para los estándares de los glucósidos.

La comparación entre los datos cromatográficos de la muestra de mucílago de cacao y los estándares analíticos evidenció una gran similitud en los tiempos de retención, confirmando la presencia de sacarosa, glucosa y fructosa en la muestra analizada. El primer pico de la muestra presentó un tiempo de retención de 8,577 min, muy cercano al estándar de sacarosa (8,545 min); el segundo pico mostró un Tiempo de retención de 9,75 min, correspondiente al estándar de glucosa (9,738 min); mientras que el tercer pico presentó un tiempo de retención de 10,497 min, coincidiendo con el estándar de fructosa (10,477 min), cada uno de estos datos graficados en la Figura 6. Estas pequeñas variaciones pueden atribuirse a la fermentación del mucílago e isomerización de las azúcares presentes en el mucílago. Los resultados demuestran una adecuada correlación entre los estándares y la muestra, validando la precisión del método HPLC empleado para la identificación de carbohidratos presentes en el mucílago de cacao.

Figura 6

Cromatogramas de la muestra en comparación con los cromatogramas del estándar.



Nota. Fuente: Elaboración propia. En esta figura se observan los cromatogramas del estándar graficados con magenta para sacarosa, azul para glucosa y naranja para fructosa y los cromatogramas de la muestra de mucílago están graficados por color negro.

Tabla 8.

Comparación de las concentraciones de azúcares entre la muestra de mucílago de cacao y los estándares analíticos.

Azúcar	Muestra (g/L)	Estándar (g/L)	% respecto al estándar
Sacarosa	4,509	10,012	45,0 %
Glucosa	5,830	10,008	58,3 %
Fructosa	2,559	10,024	25,5 %

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

En esta tabla se observa la comparación entre la concentración de glucósidos del estándar y de la muestra, además el porcentaje corresponde a la relación entre la concentración del azúcar en la muestra y la concentración del estándar. Este porcentaje se analizó mediante la siguiente ecuación.

$$\% = (\text{Concentración del estándar} / \text{Concentración de la muestra}) \times 100$$

Nota. Fuente: Garcia et al. (2021). Ecuación para calcular el porcentaje de concentración de la muestra con respecto a la concentración del estándar.

Se observó que la sacarosa presentó una concentración equivalente al 45,0 % respecto al estándar, la glucosa al 58,3 % y la fructosa al 25,5 %. Estos resultados indican que la glucosa fue el azúcar con mayor proporción relativa en la muestra analizada en comparación con los estándares empleados.

Tabla 9.

Comparación de las concentraciones de los glucósidos de la muestra de mucilago de la vereda, Santa Helena, Valle del Cauca con concentraciones de referentes teóricos.

Cita	Tipo de cacao	Cultivares y País	Concentración (g/L)		
			Fructosa	Sacarosa	Glucosa
Muestra del estudio	Híbrido FLE-3	Santa Helena, Colombia	2,56	4,51	5,83
Brunetto et, al. (2014)	Criollo	Venezuela	7,2	N/R	6,9
Piracoca, (2022)	Trinitario TSH 565	San Vicente del Chucurí, Colombia.	4,36	6,32	4,02
Romero y Zambrano, (2012)	Criollo Guasare	Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.	6,5	1,9	7,7
Romero y Zambrano, (2012)	Criollo Porcelana	Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.	4,1	2,9	8,2
Romero y Zambrano, (2012)	Criollo Merideño	Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.	3,6	2,8	10,8
Romero y Zambrano, (2012)	Híbrido Ocumare	Estado Miranda, Venezuela	11,9	4,0	5,7
Romero y	Híbrido	Estado Miranda,	6,8	7,9	9,1

Zambrano, (2012)	Pentagona	Venezuela			
Romero y Zambrano, (2012)	Híbrido IMC-67 x OC-61	Estado Miranda, Venezuela	7,7	8,4	13,2
Romero y Zambrano, (2012)	Forastero Amelonado I	Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.	3,8	1,1	8,9
Romero y Zambrano, (2012)	Forastero Amelonado II	Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.	10,4	4,5	6,9
Romero y Zambrano, (2012)	Forastero Pajarito	Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.	3,5	1,3	7,5

Nota. Fuente: Elaboración propia. En esta tabla se observa la comparación en las concentraciones de los glucósidos con referentes teóricos . N/R indica que no fue reportado.

La muestra del híbrido FLE-3 de Sta. Helena, Valle del Cauca, Colombia, presentó las concentraciones más bajas de fructosa (2,56 g/L) y sacarosa (4,51 g/L) respecto a todos los cultivares consultados, con una glucosa (5,83 g/L) en rango medio-bajo. Destaca que en la mayoría de los referentes la fructosa supera a la sacarosa, mientras que en esta muestra ocurre lo contrario, patrón que, según Brunetto et al. (2014), puede asociarse al avance de la fermentación. El cultivar colombiano más cercano, el Trinitario TSH 565 (Piracoca, 2022), mostró que las concentraciones de los glucósidos se encuentran entre el rango adecuado, lo que evidencia que la concentración de azúcares se asocia a la variedad de cacao, locación y tiempo de fermentación.

4.3 Determinación de ácidos orgánicos por HPLC

El análisis cromatográfico del mucílago de cacao permitió identificar los principales ácidos orgánicos presentes en la muestra, entre ellos ácido oxálico, cítrico, málico, succínico y ácido acético. Los datos obtenidos se presentan en la Tabla 10, donde se evaluaron los tiempos de retención y las áreas cromatográficas de cada compuesto.

Tabla 10.

Caracterización cromatográfica de ácidos orgánicos en mucílago de cacao y comparación con estándares analíticos.

Mucílago de cacao (Sta Helena 2025, 10%)				
Ácidos orgánicos	Tiempo de retención de la muestra	Tiempo de retención de los estándares	Área	% área
ácido oxálico	7,821	7,728	20122	0,796
ácido cítrico	8,552	8,543	830988	32,888
ácido málico	9,801	9,865	654089	25,887
ácido succínico	12,007	12,224	72272	2,86
ácido fórmico	13,17	13,225	32602	1,29
ácido acético	15,33	15,120	8508	0,337

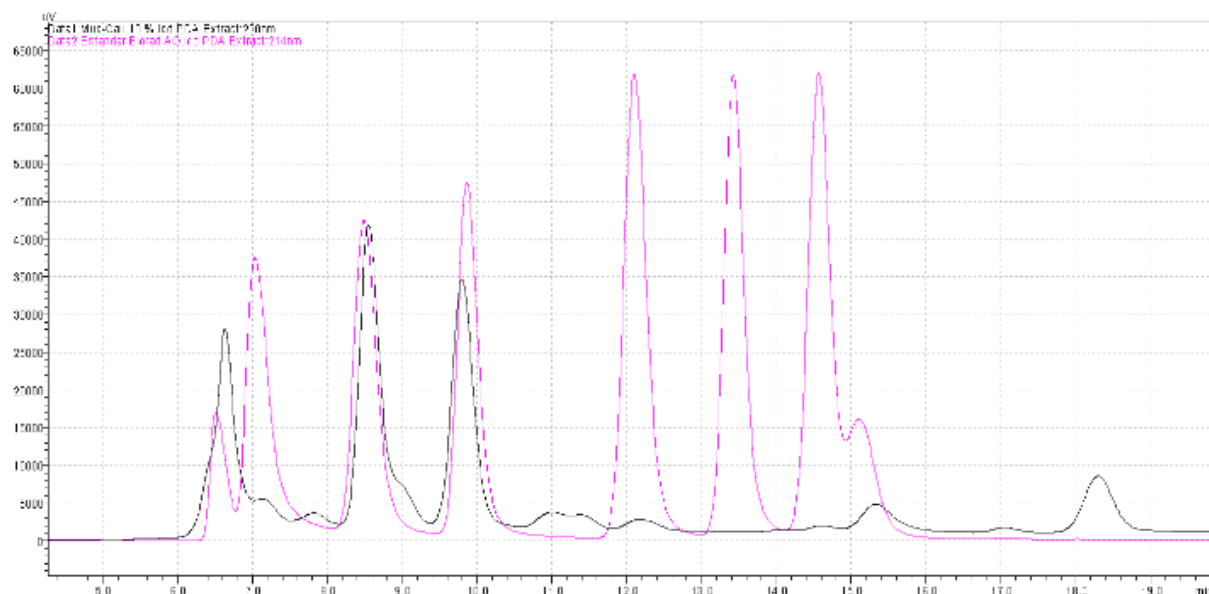
Nota. Fuente: Elaboración propia. En esta tabla se representan los datos obtenidos en el estudio

HPLC para la identificación de ácidos orgánicos en el mucílago de cacao de la vereda Santa Helena, Valle del Cauca y la comparación de estos, con el tiempo de retención de los estándares.

La comparación entre los datos cromatográficos de la muestra de mucílago de cacao al 10 % y los estándares analíticos evidenció una alta similitud en los tiempos de retención, confirmando la presencia de diversos ácidos orgánicos en la muestra analizada. El primer pico presentó un tiempo de retención de 7,821 min, correspondiente al estándar de ácido oxálico (7,728 min); el segundo mostró un tiempo de retención de 8,552 min, asociado al ácido cítrico (8,543 min); mientras que el tercer pico presentó un tiempo de retención de 9,801 min, coincidiendo con el estándar de ácido málico (9,865 min). Asimismo, se identificaron señales relacionadas con ácido succínico, fórmico y acético, representadas en la Figura 7. Las pequeñas variaciones observadas entre los tiempos de retención de la muestra y los estándares pueden atribuirse a condiciones instrumentales y a los cambios químicos generados durante la fermentación del mucílago. Los resultados obtenidos demuestran una adecuada correlación entre los estándares y la muestra, validando la precisión del método HPLC empleado para la identificación de ácidos orgánicos presentes en el mucílago de cacao.

Figura 7

Cromatogramas del estándar y la muestra para identificación de ácidos orgánicos.



Nota. Fuente: Elaboración Propia. Esta figura muestra los cromatogramas para la identificación de ácidos orgánicos de color magenta los cromatogramas del estándar y de color negro los cromatogramas de la muestra de mucilago.

Para robustecer la reproducibilidad de la identificación cualitativa, el criterio de asignación de picos se basó en la coincidencia del espectro de absorción UV y en que la variación del tiempo de retención relativo frente al estándar no superara el umbral crítico instrumental del 5% bajo condiciones de elución isocrática. Las desviaciones observadas en compuestos de elución tardía como el ácido succínico e hidroclóricos volátiles (fórmico y acético) son atribuidas a interacciones matriz-columna y efectos del pH del eluyente, sin comprometer la resolución cromatográfica.

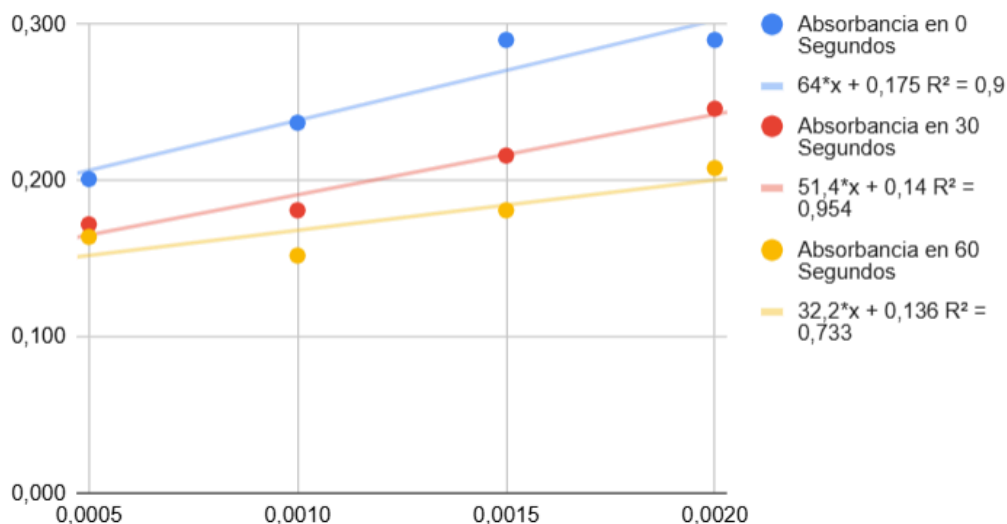
4.3 Análisis de la actividad antioxidante de mucílago de cacao

En palabras de Peña-Montes (2024) el método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) se basa en la capacidad de los compuestos antioxidantes para ceder un átomo de hidrógeno al radical libre DPPH, estable y de coloración violeta intensa, reduciéndolo a su forma no radical DPPH-H, de coloración amarilla. Esta decoloración es proporcional a la capacidad antioxidante de la muestra y puede medirse espectrofotométricamente. El ácido ascórbico se empleó como estándar de referencia por su reconocida capacidad reductora frente a este radical. Cabe destacar que la actividad antioxidante no es exclusiva de compuestos fenólicos o vitamínicos; diversos ácidos orgánicos de origen natural, como el cítrico, málico, láctico, fumárico y tartárico, también han demostrado capacidad para captar radicales libres, aunque generalmente con una eficiencia menor que la del ácido ascórbico debido a la ausencia de grupos hidroxilo susceptibles de donar átomos de hidrógeno con la misma facilidad (Duran y Borja, 1993). Esto respalda la elección del ácido ascórbico como estándar de referencia en el presente estudio, dado su reconocido poder reductor frente al radical DPPH.

La curva de calibración del ácido ascórbico evidenció una relación lineal positiva entre la absorbancia y la concentración en los tres tiempos evaluados (Figura 8). El tiempo de 30 segundos presentó el mejor ajuste lineal ($R^2 = 0,954$; pendiente = 51,4), posicionándose como el tiempo de lectura más confiable para este método. La disminución progresiva de la pendiente con el tiempo (64,2 a 0 s; 51,4 a 30 s; 32,2 a 60 s) refleja el avance de la reacción de reducción del radical DPPH conforme el ácido ascórbico transfiere electrones, confirmando que la reacción es tiempo-dependiente.

Figura 8

Curva de calibración del ácido ascórbico mediante el método DPPH a diferentes tiempos de lectura.



Nota. Fuente: Elaboración Propia. Relación entre la absorbancia y la concentración de ácido ascórbico (g/L) a 0, 30 y 60 segundos de reacción. Las líneas de tendencia corresponden a regresiones lineales con sus respectivos coeficientes de determinación (R^2).

Tomando como referencia el comportamiento del estándar, el mucílago de cacao presentó una notable actividad antioxidante frente al radical DPPH en todos los tiempos y concentraciones evaluados (Tabla 10, Figura 9). A los 0 segundos, cuando la reacción aún no ha alcanzado su máximo, se registraron los porcentajes de inhibición más bajos y variables (31,34–52,41%; $R^2 = 0,892$), mientras que a los 30 y 60 segundos la inhibición aumentó considerablemente, con promedios de 87,48% y 91,95% respectivamente, lo que indica que los compuestos antioxidantes del mucílago reaccionan progresivamente con el radical. El tiempo de 30 segundos mostró el ajuste más consistente ($R^2 = 0,968$), resultado coherente con lo observado en la curva de calibración del ácido ascórbico, sugiriendo que ambos sistemas, el estándar y la muestra, alcanzan su mayor estabilidad cinética en ese intervalo.

Finalmente, aunque las diferencias entre concentraciones no fueron amplias, las muestras más concentradas (0,002 y 0,0015 mg/mL) tendieron a presentar los mayores porcentajes de inhibición, lo que sugiere que el mucílago de cacao posee una elevada actividad antioxidante incluso a bajas concentraciones, posiblemente asociada a la presencia de compuestos fenólicos, azúcares reductores y ácidos orgánicos previamente identificados por HPLC.

Tabla 10.

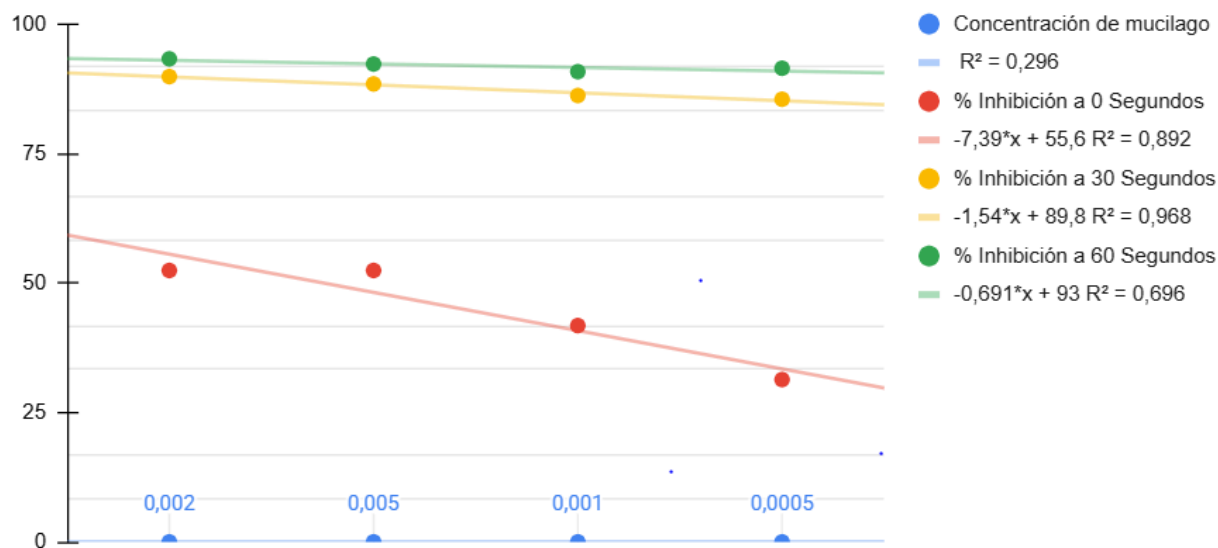
Concentración del mucílago de cacao frente al porcentaje de inhibición

Concentración de mucílago (mg/mL)	% inhibición (0 s)	% inhibición (30 s)	% inhibición (60 s)
0,002	52,41	89,84	93,27
0,0015	52,41	88,43	92,27
0,001	41,77	86,19	90,79
0,0005	31,34	85,47	91,46
Promedio	44,49	87,48	91,95

Nota. Fuente: Elaboración propia. Esta tabla muestra una comparación entre los porcentajes de inhibición en relación con la concentración de mucílago en diferentes tiempos.

Figura 9

Porcentaje de inhibición del radical DPPH en función de la concentración del mucílago de cacao a diferentes tiempos de lectura.



Nota. Fuente: Elaboración Propia. Relación entre la concentración del mucílago de cacao (g/L) y el porcentaje de inhibición del radical DPPH a 30 y 60 segundos de reacción. Las líneas de tendencia corresponden a regresiones lineales con sus respectivos coeficientes de determinación (R^2).

La capacidad antioxidante del mucílago de cacao ha sido reportada por diversos autores mediante el ensayo DPPH, el cual evalúa la capacidad de los compuestos presentes para neutralizar radicales libres. Estudios realizados en subproductos de cacao han mostrado porcentajes de inhibición superiores al 70%, considerados como una actividad antioxidante alta. Da Silva et al. (2018) reportaron porcentajes de inhibición de 79,2% y 81,3% en extractos hidroalcohólicos de subproductos de cacao, atribuyendo estos resultados a la presencia de compuestos fenólicos con elevada capacidad reductora. Asimismo, Zhang et al. (2017) reportaron valores cercanos al 80,6% de inhibición del radical DPPH después de procesos de fermentación que favorecieron la liberación de metabolitos bioactivos.

Estas evidencias sugieren que la elevada actividad antioxidante observada en el mucílago de cacao podría estar relacionada con la presencia de ácido ascórbico, catequinas, epicatequinas, procianidinas y otros compuestos fenólicos previamente identificados en este subproducto. Por tanto, los porcentajes de inhibición obtenidos en la presente investigación respaldan el potencial del mucílago de cacao como fuente natural de antioxidantes con posibles aplicaciones en la industria alimentaria y biotecnológica.

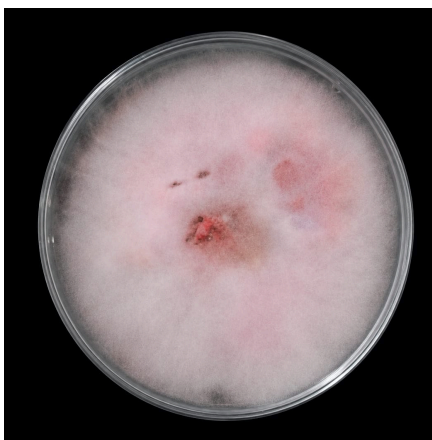
La actividad antioxidante observada en el mucílago de cacao es consistente con lo reportado en la literatura reciente sobre subproductos de esta matriz. Llerena et al. (2023) señalan que la actividad antioxidante de los subproductos de cacao (cáscara de mazorca, almendra y mucílago) podría atribuirse a la presencia de compuestos bioactivos como catequina, epicatequina y procianidina B2, hallazgo que respalda directamente los resultados discutidos en esta investigación. En ese mismo estudio, se determinó que el mucílago exudado de cacao tipo Nacional × Trinitario presentó altos contenidos de compuestos fenólicos totales, catequina, procianidinas (PCB1, PCB2, PCC1) y epicatequina, y que la actividad antioxidante evaluada por los métodos ABTS, FRAP y ORAC mostró una correlación positiva fuerte con estas procianidinas, la epicatequina y la catequina. De manera similar, revisiones recientes sobre mucílago del género *Theobroma* indican que su capacidad antioxidante ha sido evaluada mediante los ensayos ABTS, FRAP, ORAC y DPPH, y que existe una correlación positiva entre el contenido total de polifenoles y flavonoides con la actividad antioxidante del mucílago de cacao, lo que sustenta su revalorización como ingrediente funcional en aplicaciones alimentarias, nutracéuticas y biotecnológicas, en línea con la tendencia actual de aprovechamiento integral de los subproductos del cacao dentro de un enfoque de economía circular.

4.4 Actividad antifúngica

El tratamiento control, correspondiente a la muestra madre de *Fusarium graminearum* cultivada exclusivamente en medio PDA sin adición de mucílago, presentó una contaminación del 100 %, evidenciando un crecimiento completo del hongo en el medio de cultivo tras los 15 días de incubación. Este resultado, obtenido bajo las mismas condiciones de incubación aplicadas a los tratamientos experimentales, confirmó que las condiciones del ensayo fueron adecuadas para el desarrollo del microorganismo y descartó la presencia de contaminantes externos o interferencias que pudieran afectar la interpretación de los resultados antifúngicos.

Figura 10

Registro macroscópico de la muestra madre de fusarium graminearum sin mucílago en medio PDA incubado por 15 a 25°C.

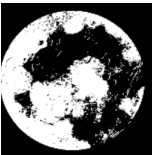
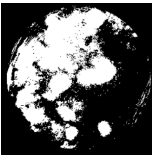
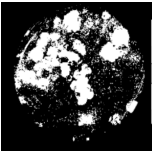
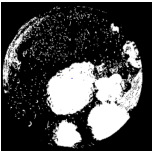
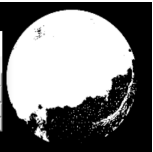
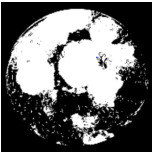
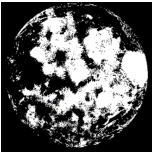
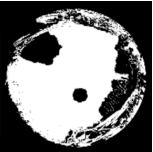
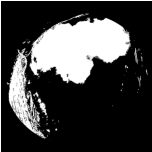


Nota. Fuente: Elaboración propia. Fotografías macroscópicas del Crecimiento micelial de la muestra madre de *Fusarium graminearum* cultivada exclusivamente en medio Agar Papa Dextrosa (PDA), sin adición de mucílago de cacao, tras 15 días de incubación a 25 °C. Se observa una contaminación del 100 % del medio, confirmando la viabilidad del inóculo y la adecuación de las condiciones experimentales.

En la Tabla 11 se presentan los resultados obtenidos para cada una de las concentraciones de mucílago de cacao evaluadas (25 %, 50 % y 100 %), donde se muestra el porcentaje de área de inhibición del crecimiento del hongo en relación con la concentración . A partir de estos datos se calcularon los promedios correspondientes a cada concentración, con el fin de analizar de manera más clara el efecto del mucílago sobre el crecimiento fúngico.

Tabla 11.

Porcentaje de inhibición en relación con la concentración de mucílago de cacao

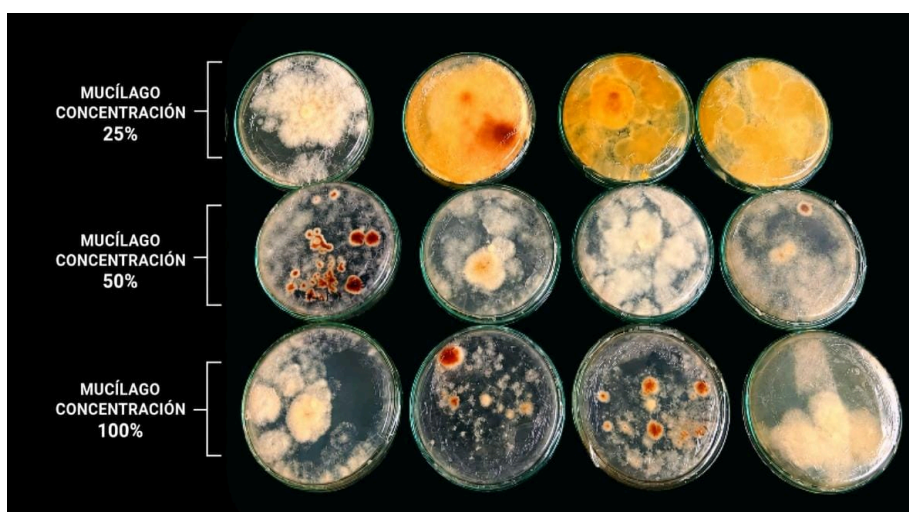
Concentración al 25%	Porcentaje inhibido	Concentración al 50%	Porcentaje inhibido	Concentración al 100%	Porcentaje inhibido
	61.33%		75,80 %		73,57 %
	57,97 %		81,07 %		75,55 %
	62,88 %		69,55 %		72,15 %
	63,41 %		70,57 %		82,96 %

Nota. Fuente: Elaboración propia. En esta tabla se observan los porcentajes de inhibición micótica del mucílago de cacao contra el fusarium. Cuadro comparativo que resalta los porcentajes de inhibición y las imágenes de las cajas petri contaminadas por el hongo fusarium graminearum y tratadas en distintas concentraciones de mucílago de cacao.

El presente estudio incluyó documentación fotográfica macroscópica del efecto del mucílago sobre las colonias de *Fusarium graminearum* (Figura 11); sin embargo, no se realizó registro micrográfico de las estructuras reproductivas del hongo (conidióforos, macroconidias), por lo que se recomienda que estudios posteriores incorporen microscopía óptica o electrónica de barrido para complementar la caracterización cualitativa del efecto inhibitorio observado.

Figura 11

Registro fotográfico macroscópico del efecto del mucílago de cacao sobre las colonias de fusarium graminearum.



Nota. Fuente: Elaboración propia, registro macro gráfico del efecto del mucílago sobre colonias de *Fusarium graminearum*.

Las imágenes presentadas fueron procesadas y analizadas mediante el software Fiji (ImageJ), herramienta ampliamente utilizada para el análisis digital de imágenes biológicas. A través de este programa se determinó el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial de *Fusarium graminearum* en presencia de diferentes concentraciones de mucílago de cacao. Los

resultados obtenidos permitieron cuantificar el efecto antifúngico del mucílago mediante la comparación del área de crecimiento del hongo en los tratamientos respecto al control, evidenciando su capacidad para reducir el desarrollo de este fitopatógeno. El mucílago de cacao mostró actividad inhibitoria frente a *Fusarium graminearum* en todas las concentraciones evaluadas (Tabla 12). A una concentración del 25%, el porcentaje de inhibición promedio fue de 61,40% ($\pm 2,27$), evidenciando capacidad antifúngica considerable incluso a bajas concentraciones. Al incrementar la concentración al 50%, la inhibición aumentó a un promedio de 74,25% ($\pm 5,04$), representando el mayor incremento entre los niveles evaluados. A la concentración del 100%, el porcentaje promedio fue de 76,06% ($\pm 4,59$), indicando que el efecto inhibitorio tiende a estabilizarse entre el 50% y el 100%, lo que sugiere una relación concentración-respuesta con tendencia a la saturación. La baja variabilidad entre réplicas en todos los tratamientos ($CV < 7\%$) confirma la reproducibilidad y confiabilidad del ensayo.

Tabla 12

*Actividad antifúngica del mucílago de cacao frente a *Fusarium graminearum* a diferentes concentraciones*

Concentración	Promedio	Desviación Estándar	CV%
25%	61,40%	2,27%	3,70%
50%	74,25%	5,04%	6,79%
100%	76,06%	4,59%	6,03%

Nota. Fuente: Elaboración propia. Los datos se expresan como desviación estándar CV= coeficiente de variación. El ensayo se realizó mediante evaluación del crecimiento micelial del hongo.

El ensayo estadístico arrojó coeficientes de variación muy bajos ($CV < 7\%$), validando la alta reproducibilidad metodológica del cribado biológico.

El tratamiento control presentó una contaminación del 100 %, evidenciando un crecimiento completo de *Fusarium graminearum* en el medio de cultivo. Este resultado confirmó que las condiciones experimentales fueron adecuadas para el desarrollo del microorganismo. De manera general, los resultados muestran que a medida que aumentó la concentración de mucílago de cacao, disminuyó el porcentaje de área colonizada por *Fusarium graminearum*, lo cual indica una reducción progresiva de la población del hongo. Este comportamiento sugiere que el mucílago de cacao posee propiedades antifúngicas capaces de limitar el crecimiento micelial, evidenciadas en el aumento de los porcentajes de inhibición y en la disminución del área contaminada en las concentraciones más altas del tratamiento.

El uso de matrices bioactivas residuales representa una alternativa biotecnológica promisorio para el control fitosanitario. En este sentido, se ha evidenciado que el mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) ejerce un efecto inhibitorio significativo sobre el crecimiento del hongo fitopatógeno *Fusarium graminearum*. Esta actividad antifúngica se atribuye de manera sinérgica a la presencia de ácidos orgánicos y, fundamentalmente, a compuestos fenólicos y polifenoles constituyentes de esta matriz, los cuales actúan alterando la integridad de la membrana celular fúngica e induciendo desbalances osmóticos y estrés oxidativo intracelular. Estudios previos sobre los subproductos agroindustriales del cacao reafirman que el mucílago es

una fuente excepcional de estos metabolitos secundarios con una marcada actividad biológica y antioxidante, lo que justifica mecánicamente su capacidad para restringir el desarrollo micelial y la viabilidad agroecológica de *F. graminearum* (Mejia-Reyes et, al. 2022).

5. Conclusiones

A continuación, se presentan las conclusiones del estudio modificadas e integradas formalmente de acuerdo con el estilo académico y la estructura metodológica y de resultados del manuscrito: Los análisis fisicoquímicos y cromatográficos realizados al mucílago de cacao *Theobroma cacao* L. del clon regional FLE-3, cultivado en las condiciones agroecológicas de la vereda Santa Helena (Municipio de El Cerrito, Valle del Cauca), permitieron caracterizar con precisión este subproducto agroindustrial, estableciendo que corresponde a una matriz de alta acidez con un pH promedio de 3,34, una temperatura de registro de 19,1 °C y una densidad relativa de 1,0649 g/mL.

Mediante la técnica de cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), se identificó y cuantificó el perfil de carbohidratos en la muestra, confirmándose la presencia de glucosa, sacarosa y fructosa. La glucosa se posicionó como el azúcar predominante con una concentración de 5,830 g/L (58,3 % respecto al estándar), seguida de la sacarosa con 4,509 g/L (45,0 % respecto al estándar) y la fructosa con 2,559 g/L (25,5 % respecto al estándar). Este perfil particular, donde la concentración de sacarosa supera a la de fructosa, difiere de la tendencia común observada en otros cultivares teóricos y se asocia directamente a la variedad genética evaluada, la ubicación geográfica y un estado inicial o controlado en el avance del proceso de fermentación.

El análisis cromatográfico por HPLC también permitió mapear el perfil de ácidos orgánicos del mucílago, validando su carácter ácido. Se destacaron el ácido cítrico y el ácido málico como los componentes mayoritarios absolutos, registrando porcentajes de área cromatográfica de 32,888 % y 25,887 %, respectivamente, en perfecta correspondencia con los tiempos de retención de sus respectivos estándares analíticos. De forma complementaria, se detectaron ácidos oxálico (en dos señales con 0,796 % y 3,711 %), succínico (2,86 %), fórmico (1,29 %) y acético (0,337 %) en menores proporciones, atribuyéndose las ligeras variaciones instrumentales de los compuestos volátiles y tardíos a interacciones con la matriz.

En cuanto a la actividad antioxidante evaluada por el método DPPH, los resultados evidenciaron que el mucílago de cacao posee una alta capacidad inhibitoria frente al radical libre que progresa de forma lineal y positiva en función del tiempo de reacción y de manera dosis-dependiente. A tiempo cero se registraron los porcentajes de inhibición más bajos y variables con un promedio de 44,49 % (rango de 31,34 % a 52,41 %), incrementándose sustancialmente a un promedio de 87,48 % a los 30 segundos (rango de 85,47 % a 89,84 %) y alcanzando un valor óptimo promedio de 91,95 % a los 60 segundos de reacción (rango de 90,79 % a 93,27 %). El tiempo de lectura de 30 segundos demostró el ajuste cinético más consistente ($R^2 = 0,968$), guardando una estrecha correlación con el comportamiento lineal del ácido ascórbico usado como control positivo. Esta notable capacidad reductora posiciona al mucílago de la muestra del Valle del Cauca como una fuente natural de antioxidantes de alta eficiencia a bajas concentraciones, debido a la acción sinérgica de sus compuestos fenólicos, azúcares reductores y ácidos orgánicos.

Finalmente, la evaluación de la actividad antifúngica demostró que el mucílago de cacao ejerce un efecto inhibitorio dosis-dependiente sobre el crecimiento micelial del hongo

fitopatógeno *Fusarium graminearum*, modelo biológico de amenaza activa en la región. El procesamiento digital con el software Fiji (ImageJ) determinó que a una concentración inicial del 25 % se alcanza una inhibición promedio del 61,40 % (2,27); al aumentar la dosis al 50 %, el porcentaje de inhibición se eleva significativamente hasta un promedio de 74,25 % (5,04); mientras que a una concentración pura del 100 %, la inhibición del crecimiento se estabiliza en un 76,06 % (4,59), revelando un comportamiento de saturación frente a un control que exhibió el 100 % de contaminación y desarrollo fúngico. Los bajos coeficientes de variación obtenidos ($CV < 7$) convalidan estadísticamente la alta reproducibilidad del ensayo micótico.

En conjunto, la confirmación de estas notables propiedades biológicas valida la hipótesis planteada en la investigación y consolida al mucílago de cacao como una matriz rica en compuestos de alto interés tecnológico. Su revalorización bajo principios de economía circular y sostenibilidad verde demuestra que este subproducto agroindustrial, históricamente subutilizado y generador de contaminación local, cuenta con un potencial real de aplicación en los sectores alimentario, biotecnológico, cosmético y farmacéutico. Su aprovechamiento integral se proyecta como una alternativa viable para mitigar el impacto ambiental en los suelos, abrir nuevas vías de diversificación económica lícita para las comunidades cacaoteras del suroccidente colombiano y disminuir progresivamente la dependencia regional de agroquímicos sintéticos en los cultivos.

6. Recomendaciones

En el proceso artesanal de tratamiento de cacao, los frutos maduros se cosechan manualmente y se abren para extraer las semillas recubiertas de mucílago. Posteriormente, los granos se colocan en cajones de madera o recipientes tradicionales para llevar a cabo la fermentación (Federación Nacional de Cacaoteros, 2015). No obstante, el mucílago suele desecharse, generando contaminación por su alta carga orgánica y desaprovechando su potencial

como subproducto. Por ello, se recomienda implementar prácticas sostenibles para su recolección, como sistemas de drenaje controlado durante la fermentación (cajas perforadas con recipientes colectores), que permitan obtener el exudado de forma limpia. Este puede aprovecharse en la elaboración de productos con valor agregado, como bebidas fermentadas, endulzantes o agentes gelificantes, contribuyendo a una economía circular. Asimismo, es importante optimizar variables como la temperatura, aireación y tiempo de fermentación, asegurando que la remoción parcial del mucílago no afecte el desarrollo microbiano ni la calidad final del grano (FAO, 2021). Luego, al comenzar la extracción y separación de los compuestos presentes en el mucílago de cacao, se recomienda una correcta elección de disolventes, temperatura, y agitación controlada por esta razón, la aplicación de la extracción asistida por ultrasonido (EAU) es una técnica viable para obtener compuestos bioactivos, que en palabras de Azuola y Vargas (2007) se debe a su alta eficiencia y a su capacidad para preservar la naturaleza química de los compuestos bioactivos, a diferencia de técnicas convencionales como la maceración o Soxhlet, la EAU opera en condiciones más suaves de temperatura y menor tiempo de extracción, lo que reduce la degradación térmica y oxidativa de compuestos sensibles como los polifenoles con actividad antioxidante y antimicrobiana presentes en el mucílago; además, permite una mayor eficiencia en la separación de compuestos no solubles al incrementar el área de contacto y disminuir el uso de solventes, aportando ventajas tanto ambientales como económicas

En el estudio antimicótico se sugiere integrar un protocolo de purificación o elución selectiva para separar los carbohidratos en el mucílago de cacao previo a la determinación de su bioactividad. La elevada concentración de azúcares totales aproximadamente $15,23 \pm 0,08$ % según (Piracoca 2022), funciona como un ambiente óptimo que cataliza la proliferación de

microorganismos competidores, provocando sesgos en la cuantificación de la actividad antifúngica. Aunque los ensayos contra *Fusarium graminearum* mostraron un potencial antifúngico significativo, la remoción de azúcares es necesaria en estudios posteriores para mitigar las interferencias. Dado que el perfil polifenólico del mucílago es altamente termolábil y fotosensible, se recomiendan técnicas de separación no térmicas, como la extracción en fase sólida (SPE) con cartuchos C18. También, se recomienda que, durante la realización de la prueba de DPPH para evaluar la capacidad antioxidante utilizando el ácido ascórbico como control, se controle cuidadosamente el tiempo de reacción, ya que este compuesto provoca la decoloración progresiva de la solución de DPPH debido a su capacidad para donar electrones y neutralizar radicales libres. Por esta razón, es importante registrar el cambio de coloración de púrpura a amarillo y relacionarlo mediante una curva de coloración o absorbancia en función del tiempo, permitiendo así obtener resultados más precisos y comparables sobre la actividad antioxidante de las muestras analizadas.

7. Referencias

- Abarca, D., Martínez, R., Muñoz, J. J., Torres, M. P., & Vargas, G. (2010). Residuos de café, cacao y cladodio de tuna: Fuentes promisorias de fibra dietaria. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 23(2). <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/57>
- Abbott, P. C., Benjamin, T. J., Burniske, G. R., Croft, M. M., Fenton, M. C., Kelly, C. R., Lundy, M. M., Rodríguez Camayo, F., & Wilcox, M. D. (2017). *Análisis de la cadena productiva del cacao en Colombia*. Universidad de Purdue, & Centro Internacional de Agricultura Tropical. <https://www.purdue.edu/colombia/partnerships/cacaoforpeace/docs/2019FinalCacaoReport-Spanish.pdf>

- Aguilar Lliguín, J. P. (2013). *Cultura e historia gastronómica del cacao en la provincia del Guayas. Guion museológico*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/91c95a4c-5a9c-4474-8a5a-965c904ed302>
- Alisaac, E., & Mahlein, A. K. (2023). Fusarium Head Blight on Wheat: Biology, Modern Detection and Diagnosis and Integrated Disease Management. *Toxins*, 15(3), 192.
<https://doi.org/10.3390/toxins15030192>
- Álvarez, C., Pérez, E., & Lares, M. (2002). Morfología de los frutos y características físico-químicas del mucílago del cacao de tres zonas del Estado Aragua. *Agronomía Tropical*, 52(4), 497-506. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7427862>
- Anthropic. (2026). *Claude* [Modelo de lenguaje de inteligencia artificial]. [Claude](#)
- Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. Editorial Episteme.
- Arvelo Sánchez, M. Á., León, D. G., Arce, S. M., López, T. D., & Rodríguez, P. M. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao prácticas latinoamericanas*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
https://agroavances.com/img/publicacion_documentos/BVE17089191e_1.pdf
- Azuola, R. y Vargas, P. (2007). Extracción de sustancias asistida por ultrasonido (EUA). *Tecnología en marcha*, 20(4), 30-40.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=699878328004>
- Afoakwa, E. O. (2016). *Chocolate science and technology*. John Wiley & Sons.
- Baena, G., Montero, S., & Cead'Ancona, M. D. L. Á. (1996). *Metodología cuantitativa: estrategias y técnicas de investigación social*.
- Bastidas Ruiz, V. E. (2017). *Estudio exploratorio del control biológico de la monilla (Moniliophthora roreri) en cacao nacional (Theobroma cacao L.) con microorganismos*

- nativos de la zona de Mocache*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/2068>
- Bone-Quintero, J. K., Lara-Cevallos, V. G., Canchingre-Bone, M. E., & Mosquera-Quintero, G. A. (2022). Obtención de pectina y su uso en la producción de mermelada a partir del cacao (*Theobroma cacao l.*). *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3(6), 289-297. <https://journals.sapienzaeditorial.com/index.php/SIJIS/article/view/556>
- Brunetto de Gallignani, M., Orozco Contreras, W., Delgado Cayama, Y., Clavijo Roa, S., Gallignani de Bernardi, M., Ayala Montilla, C. y Zambrano García, A. (2014). Desarrollo de un método analítico para la determinación de glucosa, fructosa y sacarosa en muestras de cacaos criollos venezolanos. *Revista Cubana de Química*, 26(3), 181-201. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212014000300003
- Calderón Rodríguez, M., y Ruiz Jiménez, P. (2024). *Estandarización del proceso de obtención del jarabe de mucílago de cacao por evaporación*. [Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander] <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/15894>
- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1963). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Houghton Mifflin.
- Citalán, M. A. (2022). *Evaluación del mucílago de okra (Abelmoschus esculentus L.) como agente espumante para el secado de pulpa de melón por el método de espuma* [Tesis Ingenieria de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala]. <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/4493>
- Concha Camacho, E., Chino, B., Acevedo Ortiz, A. C., & Argueta Figueroa, L. (2020). Efecto antibacteriano de los selladores endodónticos en los conductos radiculares. *Revista Cubana de Estomatología*, 57(3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75072020000300007
- Coral Rojas, Y. E., Melo Mosquera, G. O., Agredo Madroñero, D. A., & Moncayo Rosero, J. K. (2021). Oferta exportable del cacao del Departamento de Nariño,(2010-2018). *Tendencias*, 22(1), 279-302.

- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). (2018). *Plan de Acción Institucional: Fortalecimiento ambiental del Valle del Cauca*. Santiago de Cali.
- Corvi, A., & Collini, L. (2024). Shear-thickening-fluid-based meta-material for adaptive impact response. *Materials & Design*, 244, 113174. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2024.113174>
- Coronado, M., Vega y León, S., Gutiérrez, R., Vázquez, M., & Radilla, C. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista chilena de nutrición*, 42(2), 206-212. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182015000200014>
- Da Silva, L. H. M., Campos-Vega, R., Oomah, B. D., & de la Rosa, L. A. (2018). Effect of the solid state fermentation of cocoa shell on the secondary metabolites, antioxidant activity, and fatty acids. *Journal of Food Science and Technology*, 55(7), 2801–2810. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3205-8>
- Desjardins, A., & Proctor, A. (2007). Molecular biology of Fusarium mycotoxins. *International journal of food microbiology*, 119(1-2), 47–50. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.024>
- Durán, R. y Borja-Padilla, R. (1993). Actividad antioxidante de esteroides y ácidos orgánicos naturales. *Grasas y Aceites*, 44(3), 208–212. <https://doi.org/10.3989/gya.1993.v44.i3.1096>
- Escobar-Cruz, F., & Vázquez-Ovando, A. (2024). Influencia del tiempo de fermentación sobre las características sensoriales del cacao cultivado en Soconusco, Chiapas, México. *IBCIENCIAS*, 7(1), 1-9.
- Estrella, Y. A. (2013). Estudio del desperdicio del mucílago de cacao en el cantón Naranjal (Provincia del Guayas). *Revista ECA sinergia*, 4(1), 49-59. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6197548>
- Ezpeleta-Baquedano, C., Barrios-Andrés, J. L., & García-Campero, A. D. I. (2013). Control microbiológico ambiental. *Enfermedades infecciosas y microbiología clínica*, 31(6), 396-401. <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2012.03.005>

- Fernández Escobar, Á., Erazo Solórzano, C. Y., Torres Segarra, C. V., Torres Navarrete, E. D., Tuárez García, D. A., & Díaz Ocampo, R. G. (2022). Extracción de mucílago de cáscara de *Theobroma cacao* L. para uso en clarificación de jugos de *Saccharum officinarum*. *Ciencia y Tecnología*, 15(1), 25–33. <https://doi.org/10.18779/cyt.v15i1.540>
- FAO. (2017). *The future of food and agriculture: Trends and challenges*. FAO Publications ISBN 978-92-5-109551-5
- Fedecacao. (2015). *Guía Técnica para el Cultivo del Cacao* (6ª ed.). Federación Nacional de Cacaoteros – Fondo Nacional del Cacao. Bogotá, Colombia.
- Fedecacao. (2019). *Caracterización del sistema productivo del cacao en Colombia*. Federación Nacional de Cacaoteros. – Fondo Nacional del Cacao. Bogotá, Colombia.
- García Pacheco, Y. L. Meriño Stand, N. Morales Pinto, J. Palacio, A. Angarita & S. D. Vargas-Barrios, (2021). Obtención de clorofila a partir de cáscaras de sábila (*Aloe barbadensis*) por medio de solvents. *INGE CUC*, 17(2). 133–142, 2021. <http://doi.org/10.17981/ingecuc.17.2.2021.13>
- Gil A. Buriticá A. J. Jaraba A. B. León A. Aguirre C. A. Suárez D. R. Vega F. N. Urrego J. E. Bautista J. F. (2019). *Cosecha, beneficio y calidad del grano de cacao (Theobroma cacao L.)*. Campaña nacional del Chocolate. <https://chocolates.com.co/wp-content/uploads/2019/09/Cartilla-Cosecha-Benef-Calidad-SEP-2019.pdf>
- Gómez, M., & Roquet, J. (2018). El paradigma positivista y su aplicación en la investigación científica. *Revista Científica Multidisciplinaria*, 4(2), 48–53.
- Graziani de Fariñas, L., Ortiz de Bertorelli, L., & Parra, P. (2003). Características químicas de la semilla de diferentes tipos de cacao de la localidad de Cumboto, Aragua. *Agronomía Tropical*, 53(2), 133-144.
- Guija-Poma, E., Inocente-Camones, M. Á., Ponce-Pardo, J., & Zarzosa-Norabuena, E. (2015). Evaluación de la técnica 2, 2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad

- antioxidante. *Horizonte medico (lima)*, 15(1), 57-60.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-558X2015000100008
- Guo, Y., Yao, S., Yuan, T., Wang, Y., Zhang, D., & Tang, W. (2019). The spatiotemporal control of KatG2 catalase-peroxidase contributes to the invasiveness of *Fusarium graminearum* in host plants. *Molecular Plant Pathology*, 20(5), 685-700.
- Heller, J., & Tudzynski, P. (2011). Reactive oxygen species in phytopathogenic fungi: signaling, development, and disease. *Annual Review of Phytopathology*, 49, 369-390.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a. ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Holguín Matiz, J. S. (2025). *Alternativas biotecnológicas para el aprovechamiento del mucílago de cacao en el Oriente Caldense, mediante recopilación de información bibliográfica* [Trabajo de grado, Ingeniería de Alimentos, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)].
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). (2020). *Situación fitosanitaria de hongos del género Fusarium en cultivos de importancia agrícola en Colombia*. ICA.
<https://www.ica.gov.co/icacomunica/pyp/fusarium-r4t>
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) & Fedecacao. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo del cacao (Theobroma cacao L.): Medidas para la temporada invernal*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, Colombia.
<https://www.ica.gov.co/getattachment/56449f50-f3fa-4254-a410-3153a872e8bb/Manejo-fitosanitario-del-cultivo-del-cacao.pdf>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2021). Caracterización físico-química y manejo de suelos de la zona plana del Valle del Cauca. *Boletín Técnico de Investigación Agrícola*, 45(2), 112-125.
- Jiménez Gil, F., y Bonilla Culqui, M. (2012). *Aprovechamiento de mucílago y maguey de cacao (Theobroma cacao) fino de aroma para la elaboración de mermelada* [Tesis de pregrado, Universidad Estatal de Bolívar. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Escuela de

Ingeniería

Agroindustrial].

<https://dspace.ueb.edu.ec/items/e8e4b4a4-4102-468e-b6b8-8961991f2361>

- Khoddami, A., Wilkes, M. A., & Roberts, T. H. (2013). Techniques for analysis of plant phenolic compounds. *Molecules*, 18(2), 2328–2375. <https://doi.org/10.3390/molecules18022328>
- Kikot, G. E., Hours, R. A., & Alconada, T. M. (2009). Contribution of cell wall degrading enzymes to pathogenesis of *Fusarium graminearum*: A review. *Journal of Basic Microbiology*, 49(3), 231-241.
- Lachenaud, P. (1995). Variations in the number of beans per pod in *Theobroma cacao* L. in the Ivory Coast. III. Nutritional factors, cropping effects and the role of boron. *Journal of Horticultural Science*, 70(1), 7-13.
- Lee, Y., Son, H., Shin, J. Y., Choi, G. J., & Lee, Y.-W. (2018). Genome-wide functional characterization of putative peroxidases in the head blight fungus *Fusarium graminearum*. *Molecular Plant Pathology*, 19(3), 715-730.
- Llerena, W., Samaniego, I., Vallejo, C., Arreaga, A., Zhunio, B., Coronel, Z., Quiroz, J., Angós, I., & Carrillo, W. (2023). Profile of bioactive components of cocoa (*Theobroma cacao* L.) by-products from Ecuador and evaluation of their antioxidant activity. *Foods*, 12(13), 2583. <https://doi.org/10.3390/foods12132583>
- López-Hernández, M. del P., Sandoval-Aldana, A. P., García-Lozano, J., & Criollo-Núñez, J. (2021). Estudio morfoagronómico de materiales de cacao (*Theobroma cacao* L.) de diferentes zonas productoras en Colombia. *Ciencia y Agricultura*, 18(3), 99–109. <https://doi.org/10.19053/01228420.v18.n3.2021.12570>
- Loureiro, G., Araujo, Q., Valle, R., Sodré, G. & Souza, S. (2017). Influencia de factores agroambientales sobre la calidad del clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) PH-16 en la región cacaotera de Bahía, Brasil. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 4(12), 579–587. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-9028201700030057

- Martin, M. A. y Ramos, S. (2021). Impact of cocoa flavanols on human health. *Food and Chemical Toxicology*, 151(1). <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112121>
- Martínez, R., Torres, P., Frías, J., & Vidal-Valverde, C. (2000). Composición química y valor nutritivo del cacao y productos derivados. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50(3), 280-285.
- Martínez, W. J. (2016). La Variabilidad Genética del Cacao (*Theobroma cacao* L.) Nacional Boliviano. *Apthapi*, 2(1), 78-84. <https://doi.org/10.53287/qgzz9068av65x>
- Márquez A. J., y Salazar E. J. (2015). *Análisis de los niveles de desperdicio del mucílago de cacao y su aprovechamiento como alternativa de biocombustible*. [Tesis Ingeniería Industrial, Universidad Estatal del Milagro]. <https://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream>
- Mejía, L. C., Rojas, E. I., Maynard, Z., Van Bael, S., Arnold, A. E., Hebbar, P., Samuels, G. J., Robbins, N., & Herre, E. A. (2008). Endophytic fungi as biocontrol agents of *Theobroma cacao* pathogens. *Biological Control*, 46(1), 4–14. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.01.012>
- Minagricultura (2021). *Cadena de cacao: Dirección de Cadenas Agrícolas*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). *Colombia reconocida por la ICCO como país productor y exportador de cacao fino y de aroma en un 95 %*. Gobierno de Colombia. Recuperado de Agronet. <https://agronet.gov.co/noticias/colombia-registro-la-mayor-produccion-de-cacao-de-la-historia-en-el-ultimo-ano-cacaotero>
- Museo del Chocolate. (2021, 20 de mayo). *El cacao forastero*. Museo del Chocolate. <https://museodelchocolate.com.co/el-cacao-forastero/>
- NotiJenck. (2018). *¿Qué es la HPLC y cómo funciona?* [NotiJenck](#)
- OpenAI. (2026). *ChatGPT* (GPT-5.5) [Modelo de lenguaje de inteligencia artificial]. [OpenAI](#)

- Peña-Montes, D. (2024). *Determinación de la actividad anti-radical 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH •)*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12015.34721>
- 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]. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias Agrarias. Bogotá, Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84381>
- Pizano, C., & García, H. (Eds.). (2014). *El Bosque Seco Tropical en Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH)
- Ponce Z, G. (2022). *Incidencia de las bacterias ácido-lácticas provenientes del mucílago de cacao (Theobroma cacao L.) En las características sensoriales del queso*. [Tesis doctoral, Universidad agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/PONCE%20ZAMBRANO%20IVETTE%20GABRIELA.pdf>
- Rahayu, YC, Setiawatie, EM, Rahayu, RP y Ramadan, DE (2023). Análisis de la actividad antioxidante y antibacteriana del extracto de cáscara de vaina de cacao (Theobroma cacao L.). *Dent J* , 56 (4), 220-225.
- Ramírez González, M. B., Cely Niño, V. H., & Ramírez, S. I. (2013). Actividad antioxidante de clones de cacao (Theobroma cacao l.) finos y aromáticos cultivados en el estado de Chiapas-México. *Perspectivas en Nutrición Humana*, 15(1), 32-40. <https://doi.org/10.17533/udea.penh.17900>
- Ramos, L., Pérez, A., & Castillo, D. (2020). Enfoques cuantitativos en la evaluación de compuestos bioactivos de origen vegetal. *Journal of Agricultural and Food Research*, 2, 100037.
- Rosales-Huamaní, J., Centeno-Rojas, L., Cajacuri-Perez, J., Luis-Breña, J., & Chávez-Chapana, C. (2021). Identificación de Cadmio y Plomo en los cultivos de cacao ubicados en la zona de Satipo—Junín. *Tecnia*, 31(2), 83-89. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v21i2.1062>

- Romero, C., & Zambrano, A. (2012). Análisis de azúcares en pulpa de cacao por colorimetría y electroforesis capilar. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(4), 910–911. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6104326>
- Ruiz Quiroz, J. R. (2013). *Actividad antifúngica in vitro y concentración mínima inhibitoria mediante microdilución de ocho plantas medicinales* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
- Ruperty-Parraga, J. E., Ponce-Arévalo, L. D., Rodríguez-Rivera, R. S., Reasco-Tigua, E. D., & Manrique-Piedra, K. X. (2026). Mucílago de cacao como agente antifúngico in vitro frente a *Moniliophthora roreri*. *Revista Científica Zambos*, 5(1), 298–317. <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n1/166>
- 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>
- Santana, P., Vera, J., Vallejo, C., & Alvarez, A. (2018). Mucílago de cacao, nacional y trinitario para la obtención de una bebida hidratante. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 4(1).
- Sotelo C., L., Alvis B., A., & Arrázola P., G. (2015). Evaluación de epicatequina, teobromina y cafeína en cáscaras de cacao (*Theobroma cacao* L.), determinación de su capacidad antioxidante. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 9(1), 124-134. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/3751
- Superintendencia de Industria y Comercio [SIC]. (2011). Cadena productiva del cacao: Diagnóstico de libre competencia. https://www.sic.gov.co/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios_Economicos/Cacao.pdf
- Torres Sacón, J. V., & Vera Mora, V. E. (2021). *Clarificación del zumo de caña de azúcar mediante temperatura y mucílago de cacao para la obtención de una bebida refrescante* [Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL]

- Vázquez-Ovando, A., Reyes, J., Cabrera, K., & Ovalle, G. (2022). Capacidad antioxidante: conceptos, métodos de cuantificación y su aplicación en la caracterización de frutos tropicales y productos derivados. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 9(1), 30-33. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8739331>
- Vega-Vega, S., Troya, V., Álava, G., Miranda, S., Escobar, K., & Morejón, J. (2023). Utilización de mucílago de cacao (*Theobroma cacao*) con mora (*Rubus ulmifolius*) arándano (*Oxycoccus microcarpus*) y frambuesa (*Rubus idaeus*) en la elaboración de un néctar. *Revista De Investigación Talentos*, 10(2), 41-52. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9617664>
- Villa-Uvidia, D., Osorio-Rivera, M., & Villacis-Venegas, N. (2020). Extracción, propiedades y beneficios de los mucílagos. *Dominio de las Ciencias*, 6(2), 503-524. <https://doi.org/10.23857/dc.v6i2.1181>
- Villarroel-Bastidas, J., Gabriel Argüello-Rivadeneira, J., Leonel Mendoza-Zambrano, J., Córdoba, M. D. G., Rodríguez, A., & Hernández, A. (2024). Efecto del mucílago de cacao en la bioconservación de carnes. *Información Tecnica Economica Agraria*, 120(3). <https://doi.org/10.12706/itea.2024.006>
- Villarroel-Bastidas, J. V., Angulo-Ortega, G. del C., & Briones-Bitar, J. (2022). *Reducing sugars degradation in cocoa mucilage to produce bioethanol*. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (108), 98–106. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20220992>
- Volonté, M. (2013). Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC). *Análisis farmacéutico*. (pp. 78 - 120). Editorial de la Universidad de La Plata. ISBN 978-950-34-1036-3
- Zhang, X., et al. (2017). Effect of fermentation on antioxidant activity and bioactive compounds in plant materials. *Food Chemistry*, 221, 674–680.
- Zhunio Rodríguez (2020). *Evaluación de la actividad antioxidante en el mucílago de cacao (Theobroma cacao L.) Variedades: CCN-51 y Nacional*. [Tesis de pregrado. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ingeniería en alimentos]

[/https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/901cf412-c459-444f-bf17-3a5e465e73d3/content](https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/901cf412-c459-444f-bf17-3a5e465e73d3/content)

 UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN	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, agosto 6 del 2026

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 **Valoración de la capacidad antioxidante y antifúngica del mucílago de cacao (*Theobroma cacao L.*) en cultivos de la vereda Santa Helena, Municipio El Cerrito, Valle del Cauca**, presentado por la autora **Diana Yogebe Leiton Pistala** del Programa Académico **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
Número de documento: 1020415784
Programa académico: Licenciatura en Química
Teléfono de contacto: 3155209866
Correo electrónico: lfarturo@unicesmag.edu.co

 UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MREDCACIÓN	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 DE LA AUTORA	
Nombres y apellidos del autor: Diana Yogebe Leiton Pistala	Documento de identidad: 1004532552
Correo electrónico: dyleiton.2552@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 3154844496
Nombres y apellidos del asesor: Luis Felipe Arturo Perdomo	Documento de identidad: 1020415784
Correo electrónico: lfarturo@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 315 5209866
Título del trabajo de grado: Valoración de la capacidad antioxidante y antifúngica del mucílago de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en cultivos de la vereda Santa Helena, Municipio El Cerrito, Valle del Cauca.	
Facultad y Programa Académico: Facultad de Educación – Programa de Licenciatura en Química	

En mi calidad de autora y/o titular del derecho de autora del Trabajo de Grado 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:

- La autorización se otorga desde la fecha de suscripción del presente documento y durante todo el término en el que el firmante, del presente documento conserve la titularidad de los derechos patrimoniales de la autora. En el evento en el que deje de tener la titularidad de los derechos patrimoniales sobre el Trabajo de Grado o de Aplicación, me comprometo a informar de manera inmediata sobre dicha situación a la Universidad CESMAG. Por consiguiente, hasta que no exista comunicación escrita de mi 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. Conozco 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.
- 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, acepto que el Trabajo de Grado o de Aplicación circulará con un alcance mundial.
- Acepto que la autorización que se otorga a través del presente documento se realiza a título gratuito, por lo tanto, renuncié 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.
- 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, manteniéndome indemne de cualquier reclamación que surja en virtud de la misma. En todo caso, la Universidad CESMAG se compromete a indicar siempre la autoría del escrito incluyendo el nombre de la autora y la fecha de publicación.
- 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.

 UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MREDCACIÓN	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
---	--	---

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 autora garantizo que he cumplido con los derechos y obligaciones asumidos con dicha entidad y como consecuencia de ello dejó 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 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 Agosto del año 2026


Nombre del autor: Diana Yogebe Leiton Pistala

Nombre del asesor: Luis Felipe Arturo Perdomo