UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS DE UNA BEBIDA A BASE DE MUCÍLAGO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) ENDULZADO CON MIEL DE ABEJA (*Apis mellífera*)

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Autores : Bach. Delcy Yaqueliny Bazan Guevara

: Bach. Luz Veide Bazan Guevara

Asesor : Dr. Frank Fernández Rosillo

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: LI-IIA-02 Desarrollo y Caracterización de Productos

JAÉN – PERÚ

2026

Bazan Guevara Delcy Y. Y Bazan Guevara Luz V.

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS DE UNA BEBIDA A BASE DE MUCÍ...

Quick Submit

Quick Submit

Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3656245938

Fecha de entrega
21 sep 2026, 3:33 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
21 sep 2026, 3:38 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
UZ_BEBIDA_DE_MUCLAGO_DE_CACO_-_DELCY_YAQUELINY_BAZAN_GUEVARA.pdf

Tamaño del archivo
3.1 MB

90 páginas

20.697 palabras

112.702 caracteres

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

3%	Fuentes de Internet
2%	Publicaciones
2%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 16 de setiembre del año 2026, siendo las 09:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Dr. Ernesto Hernández Martínez
Secretario : Dra. Eliana Milagros Cabrejos Barrios
Vocal : Dr. Ralph Stein Rivera Botonares

para evaluar la Sustentación de:

( ) Trabajo de Investigación
(X) Tesis
( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: **"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS DE UNA BEBIDA A BASE DE MUCÍLAGO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) ENDULZADO CON MIEL DE ABEJA (*Apis mellífera*)"** presentado por las tesistas **Delcy Yaqueliny Bazan Guevara** y **Luz Veide Bazan Guevara** de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar ( ) Desaprobar (X) Unanimidad ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

a)	Excelente	18, 19, 20	( )
b)	Muy bueno	16, 17	(17)
c)	Bueno	14, 15	( )
d)	Regular	13	( )
e)	Desaprobado	12 o menos	( )

Siendo las 10 : 10 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Jaén, 16 de setiembre de 2026

Dr. Ernesto Hernández Martínez
Presidente del Jurado Evaluador

Dra. Eliana Milagros Cabrejos Barrios
Secretario del Jurado Evaluador

Dr. Ralph Stein Rivera Botonares
Vocal del Jurado Evaluador

Escaneado con CamScanner

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Nosotras, **Bazan Guevara Delcy Yaqueliny**, identificada con **DNI: 76903600** y **Bazan Guevara Luz Veide**, identificada con **DNI: 76971531** bachilleres de la carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén.

Declaro bajo juramento que:

1. Somos Autores del trabajo titulado:

   “EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS DE UNA BEBIDA A BASE DE MUCÍLAGO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) ENDULZADO CON MIEL DE ABEJA (*Apis mellífera*)”.
   Asesorado por el Dr. Frank Fernández Rosillo.
   El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero de Industrias Alimentarias.

2. El texto de nuestro trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de nuestro trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.

3. El texto del trabajo final que presentamos no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.

4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a nuestra autoría son veraces.

5. Declaramos que nuestro trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.

6. Somos consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Jaén, 22 de octubre del 2026



Bach. Bazan Guevara Delcy Yaqueliny



Bach. Bazan Guevara Luz Veide

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN 6
ABSTRACT 7
I. INTRODUCCIÓN 8
II. MATERIAL Y MÉTODO 11
2.1. Lugar de ejecución 11
2.2. Población, muestra y muestreo 11
2.3. Variables de investigación 11
2.4. Métodos, técnicas, procedimientos 12
2.4.1. Métodos y técnicas 12
2.5. Procesos 13
2.5.1. Preparación de la bebida 13
2.5.2. Determinación de propiedades fisicoquímicas 16
2.5.3. Evaluación de la capacidad antioxidante y polifenoles totales 18
2.6. Evaluación sensorial 22
2.7. Análisis estadístico 23
III. RESULTADOS 25
3.1. Características fisicoquímicas del mucílago de cacao CCN-51 25
3.2. Características fisicoquímicas de la bebida 25
3.3. Compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante 29
3.4. Evaluación sensorial de la bebida 34
3.5. Relación entre los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante 40
3.6. Análisis de componente principales 42
3.6.1. Agrupamiento jerárquico 45
3.7. Integración de las propiedades funcionales y sensoriales 46
IV. DISCUSIÓN 50
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 57
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 59
AGRADECIMIENTO 64
DEDICATORIA 65
ANEXOS 66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de las formulaciones de la bebida a base de mucílago de cacao 12
Tabla 2. Datos de preparación para la curva de calibración 22
Tabla 3. Resultados de fisicoquímicos del mucílago de cacao CCN-51 25
Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas de las formulaciones de bebida 25
Tabla 5. Parámetros de las curvas de calibración empleadas para la determinación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante 30
Tabla 6. Compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante del mucílago y de las formulaciones de bebida 30
Tabla 7. Puntuaciones de los atributos sensoriales y aceptación global de las formulaciones 35
Tabla 8. Porcentaje de respuestas favorables por atributo 36
Tabla 9. Correlaciones de Spearman globales y centradas por muestra entre los compuestos fenólicos totales y los métodos de capacidad antioxidante 40
Tabla 10. Varianza explicada y cargas de las variables en los dos primeros componentes principales 43
Tabla 11. Centroides de las muestras en los dos primeros componentes principales 43
Tabla 12. Integración de la capacidad funcional y la aceptación sensorial de las formulaciones 46
Tabla 13. Resultados de método de DPPH 69
Tabla 14. Datos de absorbancia con espectrometría. 70
Tabla 15. Resultados del método de ABTS 70
Tabla 16. Datos de absorbancia con espectrómetro. 71
Tabla 17. Resultados de FRAP 71
Tabla 18. Datos de absorbancia del Método de FRAP 71
Tabla 19. Datos de absorbancia del método de Folin Ciocalteou 72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de la elaboración de la bebida de mucílago de cacao endulzado con miel de abeja 16
Figura 2. Propiedades fisicoquímicas de las formulaciones de la bebida a base de mucílago de cacao. 27
Figura 3. Compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante del mucílago y de las formulaciones de la bebida 32
Figura 4. Perfil sensorial de las formulaciones de la bebida a base de mucílago de cacao. ... 37
Figura 5. Porcentaje de respuestas favorables para los atributos sensoriales de las formulaciones. 38
Figura 6. Distribución de la aceptación sensorial global de las formulaciones. 39
Figura 7. Matriz de correlaciones entre los compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante. 42
Figura 8. Biplot del análisis de componentes principales de los compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante. 44
Figura 9. Agrupamiento jerárquico del mucílago y las formulaciones de la bebida según su perfil funcional. 45
Figura 10. Relación entre la aceptación global y el índice antioxidante de las formulaciones de la bebida. 48
Figura 11. Curva de calibración de DPPH 69
Figura 12. Curva de calibración de ABTS 70
Figura 13. Curva de calibración de FRAP 72
Figura 14. Curva de calibración de Folin Ciocalteu 72

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Recepción de materia prima 66
Anexo 2. Lavado la materia prima 66
Anexo 3. Despulpado 66
Anexo 4. Extracción del mucílago de cacao 66
Anexo 5. Evaluando los resultados fisicoquímicos 66
Anexo 6. Formulaciones diluidas 67
Anexo 7. Pasteurización de las formulaciones 67
Anexo 8. Producto final 67
Anexo 9. Muestra llevada al laboratorio de UNTRM 67
Anexo 10. Reactivos que se usaron para determinar cada métodos 67
Anexo 11. Muestra preparada para trabajar en los métodos 68
Anexo 12. Determinando los resultados del método DPPH 68
Anexo 13. Determinando los resultados del método ABTS 68
Anexo 14. Determinando los resultados del método FRAP 68
Anexo 15. Determinando los resultados del método Folin Ciocalteu 69
Anexo 16. Consolidado de datos del método DPPH 69
Anexo 17. Consolidado de datos del método ABTS 70
Anexo 18. Consolidado de datos del método FRAP 71
Anexo 19. Consolidado de datos del método Folin Ciocalteou 72
Anexo 20. Personal de apoyo con la ingeniera encargada de laboratorio de UNTRM 74
Anexo 21. Formato de consentimiento informado para evaluación sensorial 75
Anexo 22. Formato de evaluación sensorial 76
Anexo 23. Registro fotográfico de la evaluación sensorial de panelista no entrenados 77
Anexo 24. Procesamiento de estadística descriptiva e inferencial 78
Anexo 25. Autorización del comité de ética 90

RESUMEN

El mucílago de cacao constituye un subproducto con potencial para desarrollar bebidas funcionales debido a su contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante. El objetivo fue evaluar las propiedades fisicoquímicas, la capacidad antioxidante, los compuestos fenólicos totales y la aceptación sensorial de una bebida elaborado con mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51 y endulzado con miel de abeja (*Apis mellifera*). Se evaluaron el mucílago y cinco formulaciones de la bebida. Los análisis funcionales se realizaron en cuatro lotes independientes mediante Folin–Ciocalteu, DPPH, ABTS y FRAP. El pH, los sólidos solubles y la acidez titulable se determinaron por triplicado. La evaluación sensorial comprendió los atributos sabor, aroma, color, textura y aceptación global. El mucílago presentó un pH de 3.301, 16.0 de sólidos solubles y 1.65 % de acidez titulable, mientras que las bebidas mostraron valores de pH entre 3.120 y 3.311, entre 11.9 y 13.5 de sólidos solubles y acidez entre 0.70 y 0.96 %. Se encontraron diferencias significativas entre las muestras en compuestos fenólicos, DPPH, ABTS y FRAP ($p \leq 0.005$). El mucílago presentó la mayor capacidad antioxidante global. Entre las bebidas, formulación 4 alcanzó el mayor contenido fenólico (60.64 mg EAG/g), mientras que formulación 5 mostró las mayores respuestas por DPPH (24.81 µmol ET/g) y FRAP (34.68 µmol Fe^{2+}/g). La evaluación sensorial evidenció diferencias significativas entre las formulaciones ($p < 0.005$), destacando que la formulación 3 con la mayor aceptación global (5.59 puntos) y un 81.48 % de respuestas favorables. En conclusión, el mucílago de cacao CCN-51 en condicional presentaría para la elaboración de bebidas con propiedades funcionales; sin embargo, la formulación de mayor aceptación sensorial no coincidió con la de mayor capacidad antioxidante, lo que evidencia la necesidad de optimizar conjuntamente ambos atributos.

Palabras clave: *Theobroma cacao* L.; mucílago de cacao; actividad antioxidante; compuestos fenólicos; miel de abeja; aceptación sensorial.

ABSTRACT

Cacao mucilage is a by-product with potential for developing functional beverages because of its phenolic compounds and antioxidant activity. This study aimed to evaluate the physicochemical properties, antioxidant capacity, total phenolic compounds, and sensory acceptance of beverage produced from CCN-51 cacao (*Theobroma cacao* L.) mucilage and sweetened with honey (*Apis mellifera*). Cacao mucilage and five beverage formulations were evaluated. Functional analyses were performed in four independent batches using the Folin–Ciocalteu, DPPH, ABTS, and FRAP assays. pH, soluble solids, and titratable acidity were determined in triplicate. Sensory evaluation included flavor, aroma, color, texture, and overall acceptance. Cacao mucilage presented a pH of 3.301, 16.0 °Brix, and 1.65% titratable acidity, whereas the beverages formulations showed pH values ranging from 3.120 to 3.311, soluble solids from 11.9 to 13.5 °Brix, and titratable acidity from 0.70 to 0.96%. Significant differences among samples were observed for total phenolic compounds and the DPPH, ABTS, and FRAP assays ($p \leq 0.005$). Cacao mucilage exhibited the highest overall antioxidant capacity. Among the beverages formulations, F4 had the highest total phenolic content (60.64 mg GAE/g), whereas F5 showed the highest DPPH (24.81 µmol TE/g) and FRAP (34.68 µmol Fe^{2+}/g) values. Sensory evaluation revealed significant differences among formulations ($p < 0.001$), with F3 achieving the highest overall acceptance score (5.59 points) and 81.48% favorable responses. In conclusion, CCN-51 cacao mucilage shows potential for the production of beverages with functional properties. Nevertheless, the formulation with the greatest sensory acceptance did not coincide with that exhibiting the highest antioxidant capacity, highlighting the need to optimize both attributes simultaneously.

Keywords: *Theobroma cacao* L.; cacao mucilage; antioxidant activity; phenolic compounds; honey; sensory acceptance

I. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.*)* es uno de los cultivos más representativos de las regiones tropicales del Perú, con gran importancia económica y social para los pequeños productores. Sin embargo, durante su procesamiento se genera un subproducto poco aprovechado: el mucílago de cacao, una sustancia viscosa, blanca y dulce que representa entre el 10 y 15 % del fruto, y que comúnmente se desecha durante la etapa de fermentación (Nieves-Orduña et al., 2023). Este subproducto genera impactos ambientales significativos, como la proliferación de insectos, malos olores y contaminación del suelo y del agua, además de una pérdida de recursos potencialmente valioso, esta problemática evidencia la necesidad de aprovechar integralmente los componentes del cacao dentro de un enfoque de sostenibilidad y economía circular (Sotelo-Coronado et al., 2025).

El mucílago de cacao posee una composición rica en azúcares, pectinas, ácidos orgánicos, polifenoles y flavonoides, lo que le confiere propiedades antioxidantes y funcionales destacables (Coyago-Cruz et al., 2025; Huanca-Ccompe et al., 2026). Estos compuestos bioactivos, particularmente los flavonoides como catequina, epicatequina y procianidinas se asocian con efectos beneficiosos para la salud, como la reducción del estrés oxidativo y la mejora de la función metabólica (Kim et al., 2014). Pese a su valor nutricional, este subproducto sigue siendo subutilizado en la industria alimentaria (Donkor et al., 2026).

La miel de abeja (*Apis mellífera*) es un edulcorante natural que aporta azúcares simples, compuestos fenólicos, enzimas y minerales, lo que la convierte en una alternativa saludable frente al azúcar refinado. Su uso contribuye no solo al mejoramiento del perfil sensorial y nutricional de los alimentos, sino también a su estabilidad y capacidad antioxidante (Cianciosi et al., 2018; Machado De-Melo et al., 2018). La combinación del mucílago de cacao y la miel de abeja ofrece, por tanto, un potencial innovador para la elaboración de bebidas funcionales sostenibles y de alta aceptación sensorial.

Diversas investigaciones recientes han demostrado el potencial del mucílago en el desarrollo de bebidas y néctares. Villalta y Espinoza, (2025) formularon una bebida de mucílago con extracto de moringa, alcanzando altos niveles de aceptación sensorial y estabilidad fisicoquímica; López-Narváez et al. (2024) reportaron que las bebidas con 30% de mucílago presentaron mejor textura y aceptación; y Sánchez (2024) destacó su potencial en combinaciones con extractos funcionales como el cannabis no psicoactivo. Por su parte, Rocha et al. (2025) caracterizaron la denominada “miel de cacao”, identificando una

elevada concentración de compuestos antioxidantes (251 mg GAE/100 mL de fenoles y 172 mg CE/100 mL de flavonoides), confirmando su idoneidad como edulcorante natural. Estas evidencias refuerzan el interés científico en valorizar este subproducto dentro de la economía circular del cacao (Sotelo-Coronado et al., 2025).

Poveda (2022) desarrolló una bebida elaborada a partir de mucílago de cacao combinado con guayaba (*Psidium guajava*), con el objetivo de resaltar el valor nutricional de ambos ingredientes. Determinó la fórmula más adecuada y propuso su implementación a nivel industrial como una alternativa viable para reducir el desperdicio del mucílago de cacao, al mismo tiempo que se aprovechan sus propiedades nutritivas.

Torres et al. (2016) evaluaron la obtención de jaleas a partir del mucílago de cacao de variedades nacional y CCN-51, utilizaron tres formulaciones con diferentes concentraciones de azúcar (35%, 40% y 45%) y 0.5% de pectina. Emplearon un diseño experimental bifactorial 2×3 en bloques completos al azar con tres repeticiones. En la evaluación sensorial, el tratamiento con mucílago de cacao CCN-51 y 40% de azúcar + 0.5% de pectina fue el más apreciado por los catadores, destacando por su color ámbar, aroma y sabor moderadamente ácidos con notas de cacao.

La presente investigación busca aprovechar el mucílago de cacao variedad CCN-51 en la elaboración de una bebida natural endulzado con miel de abeja, como una alternativa innovadora y sostenible que contribuya a reducir el impacto ambiental del desperdicio agroindustrial y, al mismo tiempo, este estudio permitirá caracterizar las propiedades fisicoquímicas y antioxidantes de la bebida, optimizando sus formulaciones y condiciones de elaboración para asegurar calidad e inocuidad. En este contexto, surge la necesidad de desarrollar una bebida que permita revalorizar el mucílago de cacao, disminuir el impacto ambiental de su desecho y responder a la demanda de productos nutritivos y sostenibles. Por lo tanto, ¿Cómo influyen las formulaciones de agua, mucílago de cacao y miel de abeja en el análisis sensorial y en el análisis de la capacidad antioxidante y de los compuestos fenólicos de una bebida a base de mucílago de cacao endulzado con miel de abeja?

Los objetivos de la investigación fueron: Evaluar la capacidad antioxidante y de los compuestos fenólicos de una bebida a base de mucilago de cacao (*Theobroma cacao* L.) endulzado con miel de abeja (*Apis mellífera*). Objetivos específicos: Analizar la capacidad antioxidante por los métodos DPPH, ABTS, FRAP y determinar el contenido de polifenoles totales por el método de Folin Ciocalteu del mucílago de cacao variedad CCN51.

Determinar las propiedades fisicoquímicas (pH, acidez y °Brix) del mucílago del cacao variedad CCN51. Analizar la capacidad antioxidante por los métodos DPPH, ABTS, FRAP y determinar el contenido de polifenoles totales por el método de Folin Ciocalteu de la bebida a base de mucílago de cacao endulzada con miel de abeja. Determinar las propiedades fisicoquímicas (pH, acidez y °Brix) de la bebida a base de mucílago de cacao endulzado con miel de abeja. Realizar la evaluación sensorial de la bebida a base de mucílago de cacao endulzada con miel de abeja.

II. MATERIAL Y MÉTODO

2.1. Lugar de ejecución

La presente investigación se desarrolló entre enero y mayo de 2026 en los laboratorios de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM) y de la Universidad Nacional de Jaén (UNJ). En la UNTRM se efectuó la elaboración de la bebida, la caracterización fisicoquímica y los análisis de capacidad antioxidante (DPPH, ABTS y FRAP) y compuestos fenólicos totales mediante Folin Ciocalteu. La evaluación sensorial se realizó en el Laboratorio de Microbiología y Toxicología de Alimentos de la UNJ, bajo condiciones controladas.

2.2. Población, muestra y muestreo

Población: La producción de mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.*)* variedad CCN-51, fue recolectado durante la cosecha 2026 en la parcela "El Sapote" del Sr. Nazario Bazan Vallejos, ubicada en el C.P. Túpac Amaru II, distrito de Imaza, provincia de Bagua, región Amazonas, con una altitud de 259 m.s.n.m. La miel de abeja de la marca "Colmena Real", proveniente de la producción apícola artesanal de la familia Lucero López, fue adquirida en el año 2026. Esta miel procede de la provincia de Bagua capital, departamento de Amazonas, situada a una altitud de 643 m.s.n.m., fue elegida por su origen natural y alto valor nutricional, compatible con los objetivos del producto final.

Muestra: Se obtuvo 10 L de mucílago de cacao de la variedad CCN-51 y 2 kg de miel de abeja de la cosecha 2026

Muestreo: Se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia. Además, se empleó un muestreo de bola de nieve para el análisis sensorial, que indica que la persona que ha participado del análisis sensorial comunique a otras personas para realizar el análisis.

2.3. Variables de investigación

Variable independiente: formulaciones de la bebida. Variables dependientes: pH, °Brix, acidez titulable, DPPH, ABTS, FRAP, compuestos fenólicos totales por el método Folin Ciocalteu y evaluación sensorial.

2.4. Métodos, técnicas, procedimientos

2.4.1. Métodos y técnicas

a) Diseño experimental y formulación de los tratamientos

Se elaboraron cinco formulaciones de la bebida a base de mucílago de cacao de la variedad CCN-51, diferenciadas por las proporciones de agua, mucílago y edulcorante. Cuatro formulaciones fueron endulzadas con concentraciones de miel de abeja comprendidas entre 0 y 15%, mientras que la quinta formulación contenía 10% de azúcar y fue considerada como control de edulcoración convencional. Además, se analizó el mucílago de cacao sin formular como muestra de referencia para determinar los cambios producidos por la dilución, la incorporación del edulcorante y el procesamiento térmico.

La composición porcentual de las formulaciones se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1

Composición de las formulaciones de la bebida a base de mucílago de cacao

Formulación	Agua (%)	Mucílago de cacao (%)	Miel de abeja (%)	Azúcar (%)
F1	50	50	0	0
F2	45	50	5	0
F3	50	40	10	0
F4	40	45	15	0
F5	40	50	0	10

Nota: M = mucílago de cacao.

Cada formulación se elaboró en tres lotes independientes, considerados como unidades experimentales. En cada lote se determinaron el pH, la acidez titulable y los sólidos solubles, así como el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante mediante los métodos DPPH, ABTS y FRAP. En consecuencia, para las determinaciones fisicoquímicas y antioxidantes se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) con la formulación como factor de estudio y cuatro repeticiones independientes por tratamiento.

El mucílago sin formular se identificó como M y se utilizó como referencia analítica. Para la comparación global de las propiedades antioxidantes se consideraron seis niveles: M, F1, F2, F3, F4 y F5. Debido a que las proporciones de agua, mucílago y edulcorante variaron simultáneamente y F5 contenía un

edulcorante diferente, las formulaciones fueron tratadas estadísticamente como niveles categóricos y no como un diseño factorial o de mezclas.

2.5. Procesos de elaboración de la bebida

2.5.1. Preparación de la bebida

a) Recepción

La materia prima fue obtenida en el centro poblado Túpac Amaru II, donde se realizó la selección y recepción de los insumos necesarios para la elaboración del producto (Anexo 1). Durante esta etapa, se verificó visualmente el estado general de la materia prima, considerando aspectos de higiene, limpieza y condiciones adecuadas para su posterior procesamiento. Asimismo, se registró la procedencia y fecha de recepción, con la finalidad de mantener un adecuado control y trazabilidad durante las siguientes etapas del proceso de elaboración.

b) Lavado

La materia prima fue sometida a un proceso de lavado con la finalidad de eliminar la suciedad, polvo, restos de material vegetal y otras impurezas que pudieran encontrarse en su superficie como consecuencia de su manipulación y transporte. El lavado se realizó cuidadosamente, procurando mantener las condiciones higiénicas adecuadas y reducir la presencia de agentes contaminantes antes de continuar con las siguientes etapas del proceso. El procedimiento correspondiente se presenta en el Anexo 2.

c) Despulpado

En esta etapa se realizó el despulpado del cacao CCN-51, utilizando un cuchillo de acero inoxidable y bolos de acero inoxidable con capacidad de 10 L para la recolección de la pulpa y el mucílago. El procedimiento consistió en realizar un corte diagonal en el fruto para facilitar la separación y extracción de la pulpa y el mucílago (Anexo 3), evitando en lo posible la incorporación de residuos de la cáscara, se dejó reposar unos 20 minutos para la extracción del mucílago de cacao.

d) Extracción

Después del despulpado, se dejó reposar la pulpa de cacao CCN-51 durante 20 minutos. Transcurrido este tiempo, se realizó la extracción manual del mucílago mediante presión, utilizando una tela de organza previamente acondicionada para este procedimiento. La pulpa fue colocada sobre la tela y presionada manualmente, permitiendo la separación y recuperación del mucílago (Anexo 4). El mucílago extraído fue recolectado en un balde de 15 L de capacidad, previamente higienizado, para su posterior procesamiento.

e) Control de calidad

Tras la recepción del mucílago de cacao, se realizó un análisis fisicoquímico preliminar para determinar el pH, la acidez titulable y los grados Brix. En el mucílago de cacao de la variedad CCN-51 se obtuvo un pH de 3,301, parámetro importante para evaluar su calidad y contribuir a la estabilidad del producto final. Asimismo, se efectuó una evaluación sensorial preliminar, considerando los criterios establecidos en la NTP 107.303:2018, con la finalidad de verificar que las características organolépticas, como el color, aroma y sabor, se encontraron dentro de los parámetros de aceptabilidad establecidos.

f) Filtración

El mucílago de cacao obtenido fue sometido a un proceso de filtración manual utilizando tela de organza, con la finalidad de eliminar impurezas, restos de pulpa, partículas de cera y otros sólidos no deseados presentes en el producto. Este procedimiento permitió obtener un mucílago más limpio y homogéneo, con mejores condiciones para continuar con las etapas de formulación y procesamiento del néctar.

g) Formulación

Una vez filtrada la materia prima, se procedió a la preparación de las mezclas de acuerdo con las cinco formulaciones establecidas en el diseño experimental (Tabla 1). Para determinar las proporciones correspondientes a cada formulación, se utilizaron probetas graduadas con capacidad de 5 L,

lo que permitió medir y adicionar los ingredientes de acuerdo con las cantidades establecidas para cada tratamiento. Las mezclas fueron preparadas en recipientes de acero inoxidable previamente higienizados, procurando mantener condiciones adecuadas de manipulación y evitar posibles contaminaciones durante el proceso. (Anexo 6)

h) Homogenización

Después de incorporar la miel de abeja al mucílago de cacao de acuerdo con cada formulación, se realizó una agitación manual continua durante aproximadamente 5 minutos, con la finalidad de favorecer la adecuada integración y distribución de la miel en el mucílago hasta obtener una mezcla uniforme. Este procedimiento se realizó en cada una de las formulaciones antes de continuar con las siguientes etapas del proceso de elaboración. Este procedimiento no solo mejoró la textura y estabilidad de la bebida, sino que también optimizó su apariencia, aroma y sabor, ofreciendo una experiencia sensorial más agradable para el consumidor.

i) Pasteurización

Una vez estandarizada la mezcla, la bebida fue sometida a un proceso de pasteurización con el propósito de garantizar su inocuidad y contribuir a la reducción de la carga microbiana patógena y de la actividad enzimática que pudiera favorecer su deterioro. La mezcla se pasteurizó a 95 °C durante 5 minutos, manteniendo una agitación suave y constante para favorecer una distribución uniforme del calor y evitar la caramelización de la miel o la formación de depósitos en el fondo del recipiente. Este proceso se realizó en una olla de acero inoxidable con capacidad de 5 L. (Anexo7)

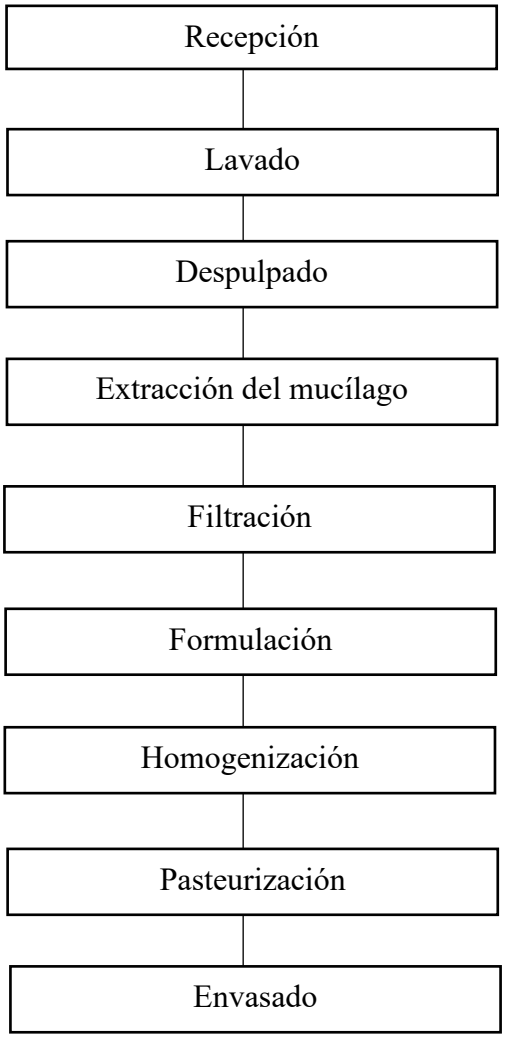
j) Envasado

La bebida pasteurizada se envasó en caliente en botellas de vidrio de 250 mL, previamente esterilizadas mediante inmersión en agua caliente a 100 °C durante 15 minutos. El llenado se realizó inmediatamente después de la pasteurización, procurando mantener una temperatura de 85–90 °C. Luego, las botellas fueron selladas manualmente con sus respectivas tapas, aprovechando la condición de llenado en caliente para favorecer la

formación de un sellado al vacío durante el enfriamiento. Finalmente, los envases sellados se dejaron enfriar a temperatura ambiente. (Anexo 8)

Figura 1

Diagrama de flujo de la elaboración de la bebida de mucílago de cacao endulzado con miel de abeja



2.5.2. Determinación de propiedades fisicoquímicas

a) Análisis del pH

La determinación del pH se realizó tanto en el mucílago de cacao fresco como en las cinco formulaciones de la bebida, utilizando un potenciómetro digital de mesa Hanna Instruments, modelo HI2211-01, previamente calibrado con soluciones buffer de pH 4,01 y 7,01, de acuerdo con las especificaciones del equipo. El HI2211-01 permite realizar una calibración

automática de uno o dos puntos y presenta una resolución de 0,01 unidades de pH.

Para el análisis, se tomaron aproximadamente 20 mL de cada muestra y se colocaron en vasos de precipitados de 50 ml limpios. Posteriormente, el electrodo de pH se sumergió en la muestra, asegurando una adecuada inmersión y evitando la presencia de burbujas de aire que pudieran interferir en la medición. Se esperó hasta que la lectura se estabilizara y, posteriormente, se registró el valor obtenido. Este procedimiento se aplicó tanto al mucílago de cacao fresco como a cada una de las cinco formulaciones de la bebida. El mucílago de cacao presentó un pH de 3,303.

b) Análisis de acidez Titulable

La acidez titulable se determinó mediante titulación ácido-base, tanto en el mucílago de cacao fresco como en las cinco formulaciones de la bebida, expresando los resultados como gramos de ácido cítrico por 100 mL de muestra. Para el análisis se utilizaron bureta de 25 mL, pipeta graduada de 5 mL, solución de hidróxido de sodio (NaOH) a 0,1 N y fenolftaleína al 1 % como indicador.

Para cada análisis, se tomó una alícuota de 10 mL de muestra y se colocó en un vaso de precipitados. Posteriormente, se adicionaron 2 a 3 gotas de fenolftaleína al 1 % y se procedió a titular con la solución de NaOH 0,1 N hasta alcanzar el punto final, identificado por la aparición de una coloración rosada pálida persistente (Anexo 5). Finalmente, se registró el volumen de NaOH consumido y se realizaron los cálculos correspondientes para determinar la acidez titulable. Este procedimiento se aplicó de la misma manera al mucílago de cacao fresco y a cada una de las cinco formulaciones de la bebida, bajo las mismas condiciones de análisis. El % de acidez titulable, se calculó con la ecuación (1):

$$\%(Acidez) = \frac{PE_{(ac)} \times V_{Til} \times N_{NaOH} \times V_{NaOH}}{10 \times M_m \times V_{Tit}} \qquad \text{Ecuación……(1)}$$

Donde:

- $PE_{(ac)}$ = Peso equivalente del ácido láctico
- V_{Til} = Volumen de la dilución de la muestra
- N_{NaOH} = Normalidad de la solución NaOH
- V_{NaOH} = Volumen gastado de NaOH
- M_m = Masa de la muestra
- V_{Tit} = Volumen de la muestra titulada
- 10 = factor de conversión para expresar el resultado

c) Análisis de sólidos solubles

La determinación del contenido de sólidos solubles se realizó mediante un refractómetro digital Hanna Instruments, modelo HI96801, de procedencia Estados Unidos, previamente calibrado con agua destilada, verificando una lectura de 0,0 °Brix. Este equipo está diseñado para la determinación del contenido de sólidos solubles expresado en °Brix en alimentos y bebidas, con un rango de medición de 0 a 85 °Brix.

Para el análisis, se colocaron 2 gotas de mucílago de cacao de la variedad CCN-51 sobre el prisma de lectura del refractómetro. Posteriormente, se cerró la tapa del equipo, procurando evitar la formación de burbujas de aire que pudieran interferir en la medición. Se esperó hasta obtener una lectura estable y se registró el valor mostrado en la pantalla. Este procedimiento se realizó tanto para el mucílago de cacao fresco como para cada una de las cinco formulaciones de la bebida, manteniendo las mismas condiciones de análisis. (Tabla 3 y 4)

2.5.3. Evaluación de la capacidad antioxidante y polifenoles totales

a) Preparación de los extractos

Para la determinación de los compuestos fenólicos totales y de la capacidad antioxidante, las muestras de mucílago y la bebida se homogeneizaron previamente. Se pesó 1 g de cada muestra y se prepararon extractos con relaciones masa: volumen diferenciadas según el método analítico: 1:100 para DPPH, 1:5 para ABTS y 1:50 para FRAP y Folin-Ciocalteu. En consecuencia, los volúmenes finales de extracción fueron 100, 5 y 50 mL, respectivamente.

Cada uno de los cuatro lotes independientes de M, F1, F2, F3, F4 y F5 fue analizado separadamente. Las lecturas instrumentales se realizaron bajo las mismas condiciones empleadas para los patrones de calibración correspondientes.

b) Capacidad antioxidante mediante DPPH

La capacidad de neutralización del radical DPPH se determinó mediante una adaptación del método de Brand-Williams et al. (1995) basado en la disminución de la absorbancia del radical a aproximadamente 517 nm. La sensibilidad del ensayo a la luz, oxígeno, solvente y tiempo de reacción justifica especificar las condiciones de incubación y preparar el reactivo protegido de la luz (Kedare y Singh, 2011).

Se preparó una solución concentrada de DPPH disolviendo 23.6 mg del reactivo en 100 mL de metanol acuoso al 80 %. De acuerdo con la masa molar del DPPH, esta preparación corresponde aproximadamente a 0.60 mM. Posteriormente, se tomaron 10 mL y se diluyeron con etanol al 96 % hasta obtener una absorbancia de 0.700 ± 0.020 a 517 nm. La solución se mantuvo protegida de la luz hasta su utilización.

La solución madre de Trolox se preparó disolviendo 15 mg en 60 mL de metanol acuoso al 80 %, obteniéndose una concentración aproximada de 1.00 mM. A partir de esta solución se prepararon patrones de 25, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 y 1000 µmol/L.

Para la reacción, se mezclaron 100 µL de cada patrón o extracto de muestra con 3.9 mL de la solución de DPPH. Las mezclas se homogeneizaron y se incubaron durante 30 min en oscuridad. Posteriormente, se midió la absorbancia a 517 nm. La capacidad antioxidante se calculó mediante la ecuación (2):

$$C_{DPPH} = \frac{A - 0.702088}{-0.000633} \qquad \text{Ecuación…….(2)}$$

El resultado final se obtuvo mediante la ecuación (3):

$$DPPH(\mu molTE/g) = \frac{C_{DPPH} \times 0.100}{1} \qquad \text{Ecuación…….(3)}$$

c) *Capacidad antioxidante mediante ABTS*

La capacidad antioxidante mediante ABTS se determinó siguiendo el principio de decoloración del catión radical ABTS•+, descrito por Re et al. (1999) para matrices hidrofílicas y bebidas.

La solución de ABTS se preparó disolviendo 36 mg en 10 mL de agua destilada, equivalente aproximadamente a 6.6–7.0 mM. Paralelamente, se preparó persulfato de potasio 140 mM disolviendo 189.2 mg en 5 mL de agua destilada. Para generar el radical ABTS•+, se mezclaron 5 mL de la solución de ABTS con 88 µL de persulfato de potasio. La mezcla se mantuvo entre 12 y 16 h en refrigeración y protegida de la luz. Antes del análisis, la solución radical se diluyó con etanol al 96 % hasta obtener una absorbancia de 0.700 ± 0.020 a 734 nm. La solución madre de Trolox se preparó disolviendo 30 mg en 60 mL de metanol acuoso al 80%, equivalente aproximadamente a 2.00 mM. Se prepararon patrones de 25, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800 y 2000 µmol/L.

Los patrones y extractos se hicieron reaccionar bajo las mismas condiciones y la absorbancia se registró a 734 nm. La concentración equivalente se calculó mediante la ecuación (4):

$$C_{ABTS} = \frac{A - 0.674305}{-0.000281} \qquad \text{Ecuación……(4)}$$

El resultado final se obtuvo mediante la ecuación (5):

$$ABTS(\mu molTE/g) = \frac{C_{ABTS} \times 0.005}{1} \qquad \text{Ecuación……(5)}$$

d) *Poder antioxidante reductor de hierro (FRAP)*

El poder reductor se determinó siguiendo el principio del ensayo FRAP, basado en la reducción del complejo Fe^{3+}–TPTZ (2,4,6-tripiridil-s-triazina) a Fe^{2+}–TPTZ en medio ácido y su medición espectrofotométrica a 593 nm (Benzie y Strain, 1996).

El tampón acetato se preparó mezclando 310 mg de acetato de sodio trihidratado con 1.6 mL de ácido acético glacial y completando a 100 mL con agua destilada. Aunque la cantidad de acetato de sodio aislada equivale aproximadamente a 23 mM, la concentración total del sistema acetato–ácido

acético es cercana a 300 mM; por ello, la preparación es consistente con el tampón FRAP convencional. La solución de $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 20 mM se preparó disolviendo 54 mg en 10 mL de agua destilada. La solución de TPTZ 10 mM se obtuvo disolviendo 31.2 mg en 10 mL de HCl. La adición de 166 µL de HCl al 37% y aforo a 50 mL produce aproximadamente 0.11 M. El reactivo FRAP se preparó el día del análisis mezclando tampón acetato, TPTZ y $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ en proporción 10:1:1. La solución se protegió de la luz hasta su utilización. Se preparó una solución madre de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 4 mM disolviendo 55.6 mg en 50 mL de agua destilada. Los patrones se prepararon en un volumen final de 5 mL, obteniéndose concentraciones de 200 a 3800 µmol/L.

La concentración equivalente de Fe^{2+} se calculó mediante la ecuación (6):

$$C_{ABTS} = \frac{A - 0.087021}{-0.000565} \qquad \text{Ecuación……(6)}$$

El resultado final se obtuvo mediante la ecuación (7):

$$FRAP(\mu mol\ Fe^{2+}/g) = \frac{C_{FRAP} \times 0.050}{1} \qquad \text{Ecuación……(7)}$$

e) *Compuestos Fenólicos Totales (CFT)*

El contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu según Singleton et al. (1999). El fundamento y las consideraciones analíticas del método se interpretaron de acuerdo con Pérez et al. (2023).

El reactivo Folin-Ciocalteu se diluyó al 10% mezclando 10 mL del reactivo comercial con 90 mL de agua destilada. La solución de carbonato de sodio al 4 % se preparó disolviendo 4 g en 100 mL de agua destilada. La solución madre de ácido gálico se preparó disolviendo 250 mg en 50 mL de metanol acuoso al 80%, equivalente a 5 mg/mL o 5000 mg/L. A partir de esta solución se prepararon patrones utilizando entre 0 y 10 mL y completando a 10 mL con agua destilada. Por consiguiente, las concentraciones nominales se observan en la Tabla 2:

Tabla 2

Datos de preparación para la curva de calibración

Solución madre (mL)	Agua destilada (mL)	Concentración final (mg/L)
0	10	0
1	9	500
2	8	1000
3	7	1500
4	6	2000
5	5	2500
6	4	3000
7	3	3500
8	2	4000
9	1	4500
10	0	5000

Para la reacción, se mezclaron 500 µL del patrón o extracto con 2.5 mL de Folin-Ciocalteu al 10 % y 2 mL de carbonato de sodio al 4%. Las mezclas se homogeneizaron, se protegieron de la luz y se mantuvieron durante 2 h antes de medir la absorbancia a 760 nm.

La concentración de compuestos fenólicos totales se calculó mediante la ecuación (8):

$$C_{Folin} = \frac{A - 0.039076}{-0.0006767}$$ Ecuación…….(8)

El resultado final se obtuvo mediante la ecuación (9):

$$CFT\ (mg\ GAE\ /g) = \frac{C_{Folin} \times 0.050}{1}$$ Ecuación…….(9)

2.6. Evaluación sensorial

La aceptación sensorial de las cinco formulaciones se evaluó mediante una prueba hedónica con consumidores no entrenados. Participaron 137 consumidores, seleccionados mediante muestreo no probabilístico por conveniencia. Antes de la evaluación, cada participante recibió información sobre el propósito y procedimiento de

la prueba y manifestó voluntariamente su consentimiento para participar (Anexo 22). Las formulaciones fueron presentadas utilizando códigos numéricos de tres dígitos para reducir la identificación directa del tratamiento: F1 = 475, F2 = 405, F3 = 441, F4 = 411 y F5 = 479. Cada consumidor evaluó las cinco formulaciones y calificó los atributos sabor, aroma, color y textura mediante una escala hedónica estructurada de siete puntos, donde 1 correspondió a "me disgusta mucho", 4 a "no me gusta ni me disgusta" y 7 a "me gusta mucho" (Peryam y Pilgrim, 1957) e . Entre muestras, los participantes se enjuagaron la boca con agua para reducir la influencia residual del producto previamente evaluado. También se habilitó un espacio para registrar observaciones y recomendaciones relacionadas con las características sensoriales de las formulaciones (ISO 11136, 2014).

De los 137 consumidores registrados, 135 completaron la evaluación de las cinco formulaciones y de los cuatro atributos. Dos consumidores dejaron sin responder los atributos correspondientes a F3. Para las comparaciones globales pareadas se consideraron los 135 registros completos.

2.7. Análisis estadístico

Los resultados fisicoquímicos, el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante se expresaron como media y desviación estándar de cuatro lotes independientes por muestra. Adicionalmente, se calcularon el coeficiente de variación y los intervalos de confianza del 95%. La posible presencia de valores atípicos se examinó gráficamente y se contrastó con la trazabilidad de las mediciones, sin excluir observaciones únicamente por criterios estadísticos. Para cada variable se verificó la normalidad de los residuos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y gráficos cuantiles–cuantiles. La homogeneidad de las varianzas se evaluó mediante la prueba de Levene con centro en la mediana. Cuando se cumplieron los supuestos, las diferencias entre muestras se analizaron mediante análisis de varianza de una vía, seguido de la prueba de Tukey. Ante heterogeneidad de varianzas se utilizó el ANOVA de Welch y la prueba de Games-Howell. Si los supuestos paramétricos no resultaron razonables, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis seguida de comparaciones múltiples con ajuste de Holm. Además del valor de probabilidad, se estimaron los correspondientes tamaños del efecto y sus intervalos de confianza.

Debido a que cada consumidor evaluó las cinco formulaciones, los resultados sensoriales se analizaron como observaciones relacionadas. Para cada atributo se calcularon la media, desviación estándar, mediana, rango intercuartílico y porcentaje de aceptación, considerando favorable una puntuación igual o superior a 5. Las formulaciones se compararon mediante la prueba de Friedman y, cuando esta resultó significativa, se realizaron comparaciones pareadas con la prueba de rangos con signo de Wilcoxon y ajuste de Holm. El tamaño del efecto global se expresó mediante el coeficiente de concordancia W de Kendall. Las relaciones entre compuestos fenólicos totales y los métodos DPPH, ABTS y FRAP se examinaron mediante correlaciones de Pearson o Spearman, según la distribución de los datos. Para explorar el comportamiento multivariante se aplicó un análisis de componentes principales a las respuestas estandarizadas. Cada lote independiente se consideró como una observación, evitando utilizar únicamente las medias de los tratamientos. El nivel de significancia se estableció en $p<0.05$.

III. RESULTADOS

3.1. Características fisicoquímicas del mucílago de cacao CCN-51

El mucílago de cacao CCN-51 presentó un pH de 3.301 ± 0.003, un contenido de sólidos solubles de 16.0 ± 0.1°Brix y una acidez titulable de 1.65 ± 0.02%. Los bajos coeficientes de variación, comprendidos entre 0.08 y 1.26 %, evidenciaron una reducida variabilidad entre los tres lotes independientes analizados (Tabla 3).

Tabla 3

Resultados de fisicoquímicos del mucílago de cacao CCN-51

Parámetro	Resultados	CV (%)
pH	3.301 ± 0.003	0.08
ºBrix	16.0 ± 0.1	0.63
Acidez titulable (%)	1.65 ± 0.02	1.26

Los resultados se expresan como media ± desviación estándar de tres lotes independientes ($n = 3$). CV: coeficiente de variación.

La combinación de 16.0 °Brix y 1.65% de acidez titulable mostró que el mucílago presentó simultáneamente una concentración importante de sólidos solubles y una marcada naturaleza ácida. Estos valores constituyeron la referencia para evaluar los cambios fisicoquímicos producidos por la dilución y la incorporación de miel o azúcar en las formulaciones de la bebida

3.2. Características fisicoquímicas de la bebida

Las formulaciones presentaron diferencias significativas en pH, sólidos solubles y acidez titulable (Tabla 4). Los valores de pH variaron entre 3.120 ± 0.002 y 3.311 ± 0.002; los sólidos solubles, entre 11.9 ± 0.1 y 13.5 ± 0.1°Brix; y la acidez titulable, entre 0.703 ± 0.006 y 0.963 ± 0.006%.

Tabla 4

Propiedades fisicoquímicas de las formulaciones de la bebida

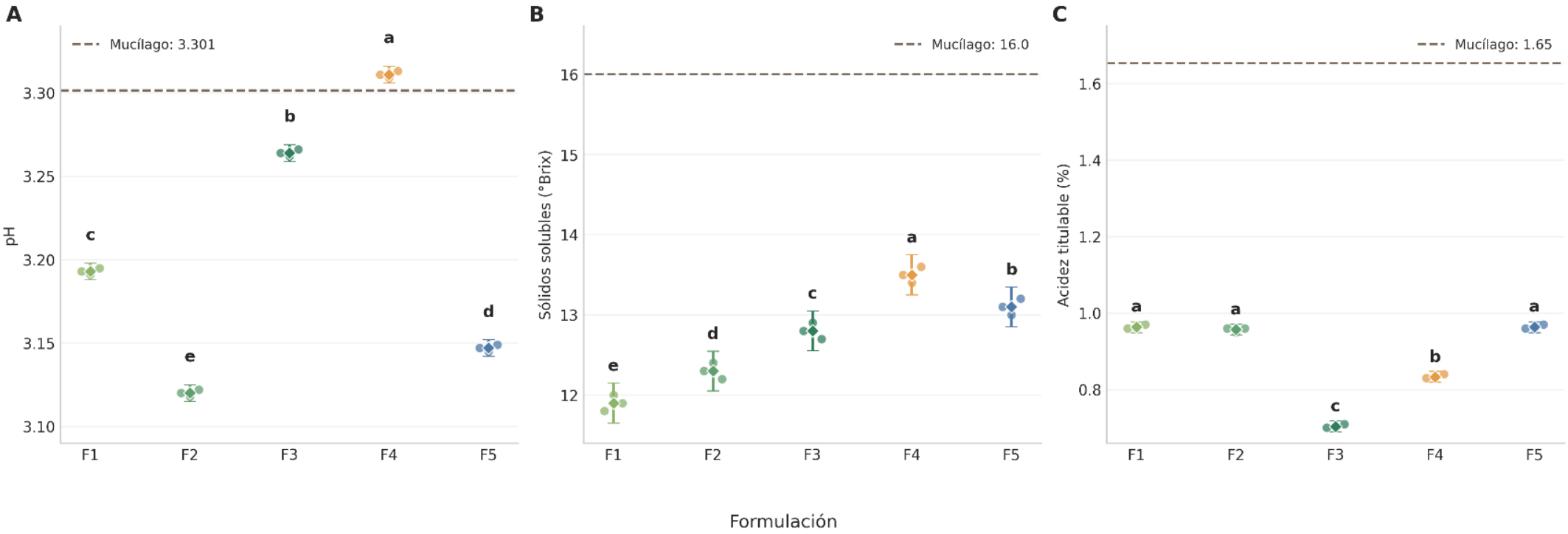
Formulación	pH	Sólidos solubles (°Brix)	Acidez titulable (%)
F1	3.193 ± 0.002^{c}	11.9 ± 0.1^{e}	0.963 ± 0.006^{a}
F2	3.120 ± 0.002^{e}	12.3 ± 0.1^{d}	0.957 ± 0.006^{a}
F3	3.264 ± 0.002^{b}	12.8 ± 0.1^{c}	0.703 ± 0.006^{c}
F4	3.311 ± 0.002^{a}	13.5 ± 0.1^{a}	0.833 ± 0.006^{b}
F5	3.147 ± 0.002^{d}	13.1 ± 0.1^{b}	0.963 ± 0.006^{a}

Los resultados se expresan como media ± desviación estándar de tres lotes independientes ($n = 3$). En cada columna, medias que no comparten una letra presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Las diferencias fisicoquímicas entre las formulaciones y la reducida variabilidad entre lotes se visualizan en la Figura 2. F4 presentó los mayores valores de pH y sólidos solubles, mientras que F3 mostró la menor acidez titulable. F1, F2 y F5 formaron un grupo estadísticamente homogéneo respecto de la acidez. Todas las formulaciones presentaron contenidos de sólidos solubles y acidez inferiores a los registrados en el mucílago sin formular.

Figura 2

Propiedades fisicoquímicas de las formulaciones de la bebida a base de mucílago de cacao.



Nota: (A) pH, (B) sólidos solubles y (C) acidez titulable. Los círculos representan los tres lotes independientes de cada formulación; los rombos indican las medias y las barras verticales sus intervalos de confianza del 95 %. La línea horizontal discontinua representa el valor medio del mucílago sin formular. En cada panel, formulaciones que no comparten una letra presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$; $n = 3$).

3.2.1. pH

El análisis de varianza mostró que la formulación influyó significativamente en el pH de la bebida F (4,10) = 4768.13; p < 0.001. El tamaño del efecto fue elevado ($\eta^2 = 0.9995$; $\omega^2 = 0.9992$), lo que indica que prácticamente toda la variabilidad del pH estuvo asociada con las diferencias entre formulaciones.

F4 presentó el mayor pH, seguida de F3, F1, F5 y F2. La prueba de Tukey confirmó diferencias significativas entre todas las formulaciones, estableciendo el siguiente orden F4 > F3 > F1 > F5 > F2. A pesar de las diferencias estadísticas, todas las formulaciones conservaron un pH inferior a 3.5 y, por tanto, mantuvieron una condición marcadamente ácida. F4 presentó un pH próximo al del mucílago, mientras que las demás formulaciones registraron valores inferiores.

3.2.2. Sólidos solubles

La formulación produjo diferencias significativas en el contenido de sólidos solubles F (4,10) = 120.60; p < 0.001. El tamaño del efecto también fue elevado ($\eta^2 = 0.980$; $\omega^2 = 0.970$). F4 presentó el mayor contenido de sólidos solubles, con 13.5 ± 0.1°Brix, seguida de F5, F3, F2 y F1. Todas las formulaciones difirieron significativamente entre sí F4 > F5 > F3 > F2 > F1.

En comparación con el mucílago, las formulaciones presentaron una reducción de los sólidos solubles comprendida entre 15.6 y 25.6%. F1 mostró la mayor reducción, mientras que F4 conservó el contenido más elevado. El incremento progresivo observado desde F1 hasta F4 fue concordante con la incorporación de miel en las formulaciones, aunque también variaron simultáneamente las proporciones de agua y mucílago.

3.2.3. Acidez titulable

La acidez titulable presentó diferencias significativas entre las formulaciones F (4,10) = 1194.20; p < 0.001. La magnitud del efecto fue elevada ($\eta^2 = 0.9979$; $\omega^2 = 0.9969$). F1, F2 y F5 presentaron valores estadísticamente equivalentes, comprendidos entre 0.957 y 0.963 %. F4 registró una acidez intermedia de 0.833 ± 0.006%, mientras que F3 presentó el valor más bajo, con 0.703 ± 0.006%. El orden estadístico fue F1 ≈ F2 ≈ F5 > F4 > F3.

En comparación con el mucílago, la elaboración de la bebida redujo la acidez titulable entre 41.7 y 57.5 %. F3 presentó la mayor reducción, seguida de F4, mientras que F1, F2 y F5 conservaron los valores más elevados de acidez entre las formulaciones. En conjunto, F3 se caracterizó por un pH de 3.264 ± 0.002, 12.8 ± 0.1 sólidos solubles y la menor acidez titulable. F4, por su parte, presentó el mayor pH y contenido de sólidos solubles, mientras que F1, F2 y F5 formaron un grupo homogéneo respecto de la acidez.

3.3. Compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante

3.3.1. Desempeño de curvas de calibración

Las curvas de calibración utilizadas para cuantificar los compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante presentaron relaciones lineales satisfactorias dentro de los intervalos evaluados (Tabla 5). Los coeficientes de determinación fueron superiores a 0.995 para los cuatro métodos, lo que indica que más del 99.5 % de la variabilidad de la absorbancia de los patrones fue explicada por la concentración correspondiente.

Las curvas de DPPH y ABTS presentaron pendientes negativas, debido a que el incremento de la concentración de Trolox produjo una mayor neutralización de los radicales y, en consecuencia, una reducción progresiva de la absorbancia. Por el contrario, las curvas de Folin-Ciocalteu y FRAP mostraron pendientes positivas, coherentes con el aumento de la formación de los complejos coloreados conforme se incrementó la concentración de ácido gálico o sulfato ferroso, respectivamente.

Tabla 5

Parámetros de las curvas de calibración empleadas para la determinación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante

Método	Intervalo de calibración	Ecuación de regresión	R^2	Error residual
Folin-Ciocalteu	0–2500 mg/L	$A = 0.0006767C + 0.039076$	0.9955	0.0798
DPPH	25–1000 µmol/L	$A = -0.000633C + 0.702088$	0.9962	0.0136
ABTS	25–2000 µmol/L	$A = -0.000281C + 0.674305$	0.9967	0.0112
FRAP	200–3800 µmol/L	$A = 0.000565C + 0.087021$	0.9953	0.0496

Nota: A: absorbancia. C: concentración del patrón

3.3.2. Cuantificación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante

Los compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante variaron significativamente entre el mucílago y las formulaciones de la bebida. Los resultados corregidos se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6

Compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante del mucílago y de las formulaciones de la bebida

Formulación	Fenoles totales (mg GAE/g)	DPPH (µmol TE/g)	ABTS (µmol TE/g)	FRAP (µmol Fe^{2+}/g)
M	44.16 ± 6.89^{b}	36.66 ± 3.90^{a}	4.23 ± 0.39^{a}	58.94 ± 3.95^{a}
F1	24.21 ± 4.06^{d}	19.09 ± 1.49^{bc}	2.36 ± 0.07^{ab}	25.43 ± 1.28^{c}
F2	28.74 ± 2.73^{cd}	13.76 ± 4.87^{cd}	2.12 ± 0.24^{b}	25.14 ± 1.39^{c}
F3	43.74 ± 0.88^{b}	8.62 ± 4.06^{d}	1.88 ± 0.09^{b}	18.43 ± 1.30^{d}
F4	60.64 ± 2.04^{a}	21.10 ± 1.88^{bc}	3.33 ± 1.27^{ab}	28.26 ± 1.13^{c}
F5	35.90 ± 3.17^{bc}	24.81 ± 4.79^{b}	2.89 ± 0.15^{ab}	34.68 ± 1.51^{b}

Nota. M: mucílago de cacao ±: desviación media estándar para cuatro repeticiones.

Resultados expresados como media ± desviación estándar de cuatro lotes independientes. En cada columna, valores que no comparten al menos una letra

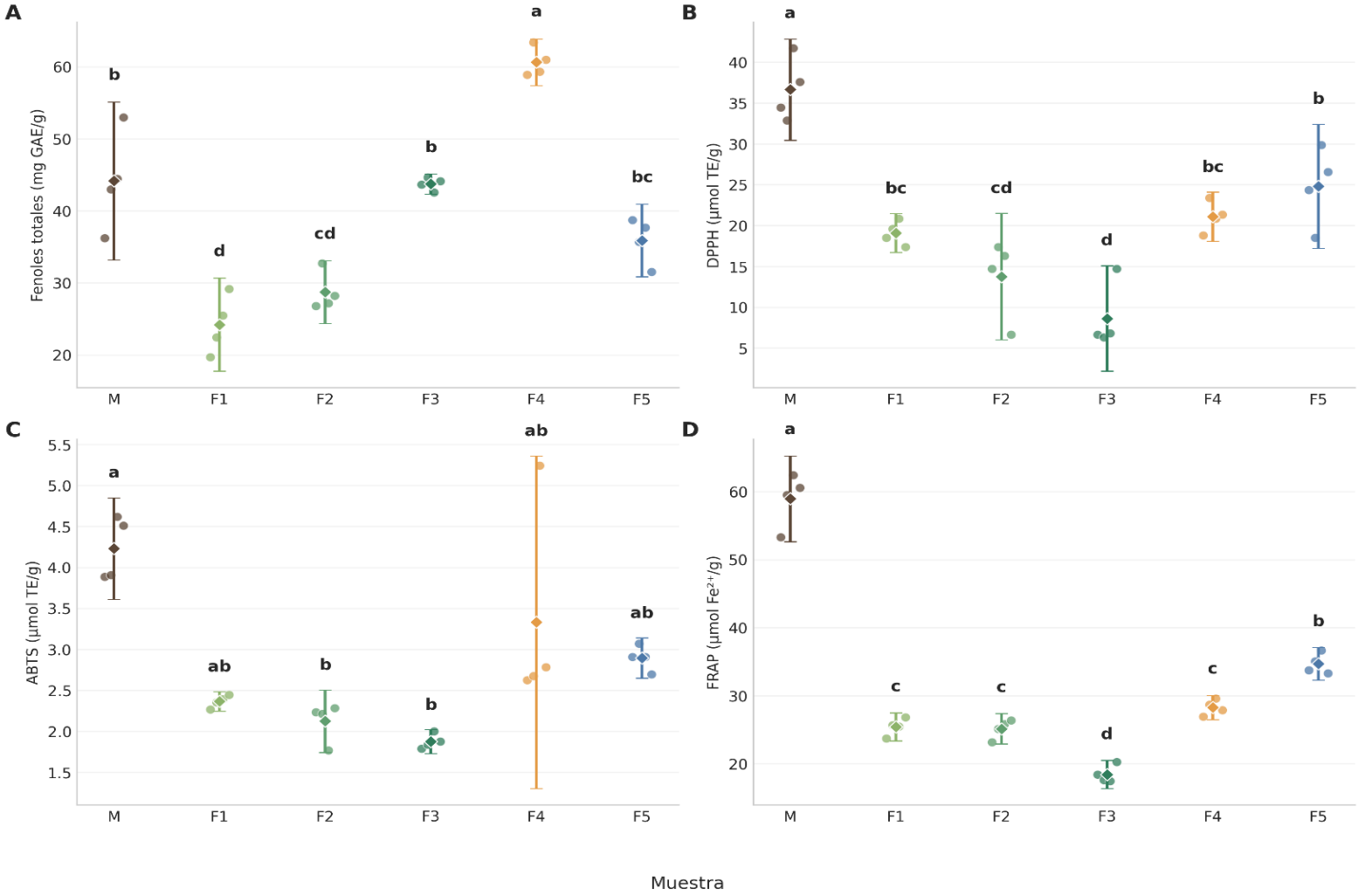
presentan diferencias significativas ($p < 0.05$). Para fenoles totales, DPPH y FRAP se empleó ANOVA y Tukey; para ABTS, Kruskal-Wallis y Dunn con ajuste de Holm. GAE: equivalentes de ácido gálico; TE: equivalentes de Trolox.

La Figura 3 evidencia comportamientos diferenciados entre los métodos analíticos. F4 presentó el mayor contenido de compuestos fenólicos totales, mientras que el mucílago mostró los valores más elevados de DPPH, ABTS y FRAP. Entre las bebidas, F5 presentó la mayor capacidad antioxidante mediante DPPH y FRAP. F3, aunque conservó un contenido fenólico estadísticamente comparable con el mucílago, registró las menores respuestas en los tres ensayos antioxidantes.

La amplitud del intervalo de confianza de F4 en ABTS se relacionó con la variabilidad entre sus lotes independientes. Uno de ellos presentó un valor superior a las otras tres repeticiones; sin embargo, se mantuvo en el análisis por corresponder a una unidad experimental válida y no haberse identificado un error analítico o de transcripción.

Figura 3

Compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante del mucílago y de las formulaciones de la bebida



Nota: (A) compuestos fenólicos totales determinados mediante Folin-Ciocalteu, (B) capacidad antioxidante mediante DPPH, (C) capacidad antioxidante mediante ABTS y (D) poder antioxidante reductor mediante FRAP. Los círculos representan los cuatro lotes independientes de cada muestra; los rombos indican las medias y las barras verticales sus intervalos de confianza del 95 %. En los paneles A, B y D, las letras corresponden a la prueba de Tukey; en el panel C, a la prueba de Dunn con ajuste de Holm. Muestras que no comparten al menos una letra presentan diferencias significativas ($p < 0.05$; $n = 4$). GAE: equivalentes de ácido gálico; TE: equivalentes de Trolox.

a) Compuestos fenólicos totales

El contenido de compuestos fenólicos totales presentó diferencias significativas entre las muestras F (5,18) = 47.17; p < 0.001. La formulación explicó el 92.9% de la variabilidad observada ($\eta^2 = 0.929$; $\omega^2 = 0.906$), lo que representa un efecto de gran magnitud.

F4 mostró el mayor contenido de compuestos fenólicos, con 60.64 ± 2.04 mg GAE/g, y fue significativamente superior al mucílago y a las demás formulaciones. F3 presentó 43.74 ± 0.88 mg GAE/g y no difirió significativamente del mucílago, cuyo contenido fue 44.16 ± 6.89 mg GAE/g. F1 presentó el menor contenido, con 24.21 ± 4.06 mg GAE/g. El orden general fue F4 > M ≈ F3 > F5 > F2 > F1.

b) Capacidad antioxidante mediante DPPH

La capacidad antioxidante determinada mediante DPPH también presentó diferencias significativas F (5,18) = 26.76; p < 0.001. El tamaño del efecto fue elevado ($\eta^2 = 0.881$; $\omega^2 = 0.843$).

El mucílago presentó la mayor capacidad antioxidante, con 36.66 ± 3.90µmol TE/g, y fue significativamente superior a todas las formulaciones. Entre las bebidas, F5 presentó el mayor valor, seguido de F4 y F1. F3 mostró la menor capacidad antioxidante mediante este método, con 8.62 ± 4.06 µmol TE/g. El orden descriptivo fue M > F5 > F4 > F1 > F2 > F3. F3 presentó un coeficiente de variación relativamente elevado, relacionado con uno de sus cuatro lotes, cuya capacidad antioxidante fue superior a las restantes réplicas.

c) Capacidad antioxidante mediante ABTS

Los residuos de ABTS no presentaron distribución normal, debido principalmente a la variabilidad observada en F4. En consecuencia, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis, que confirmó diferencias entre las muestras H (5) = 20.27; p = 0.001. El tamaño del efecto fue elevado $\varepsilon^2 = 0.848$.

El mucílago presentó el mayor valor medio, con 4.23 ± 0.39 µmol TE/g. F3 registró la menor capacidad antioxidante, con 1.88 ± 0.09 µmol TE/g. Las comparaciones posteriores mostraron que el mucílago fue significativamente superior a F2 y F3. F4 presentó 3.33 ± 1.27 µmol TE/g y la mayor dispersión de este ensayo. Uno de sus lotes alcanzó 5.24 µmol TE/g, mientras que los otros tres variaron entre 2.62 y 2.78 µmol TE/g. Debido a que los cuatro valores corresponden a lotes independientes, el resultado se conservó en el análisis.

d) Poder antioxidante reductor mediante FRAP

El poder reductor mostró diferencias altamente significativas F (5,18) = 200.43; p < 0.001. La formulación explicó el 98.2 % de la variabilidad total ($\eta^2 = 0.982$; $\omega^2 = 0.976$).

El mucílago presentó el mayor poder reductor, con 58.94 ± 3.95 µmol Fe^{2+}/g, y fue significativamente superior a todas las bebidas. Entre las formulaciones, F5 presentó el mayor resultado, seguido de F4. F1, F2 y F4 no mostraron diferencias significativas entre sí, mientras que F3 presentó el menor poder reductor. El orden descriptivo fue M > F5 > F4 > F1 ≈ F2 > F3.

3.4. Evaluación sensorial de la bebida

La evaluación sensorial fue realizada por 137 consumidores no entrenados, quienes calificaron las cinco formulaciones mediante una escala hedónica de siete puntos. Se obtuvieron 135 registros completos para las cinco formulaciones y los cuatro atributos. Dos consumidores no evaluaron F3; por ello, sus resultados descriptivos se calcularon con 135 respuestas, mientras que F1, F2, F4 y F5 contaron con 137 respuestas. Para las pruebas pareadas se utilizaron los 135 registros completos.

La consistencia interna entre sabor, aroma, color y textura fue elevada en las cinco formulaciones, con coeficientes alfa de Cronbach entre 0.853 y 0.904. Esto respaldó el

cálculo de una puntuación de aceptación global a partir del promedio de los cuatro atributos.

La evaluación sensorial demostró que la formulación influyó significativamente en la aceptación de la bebida. F3 presentó el mejor desempeño en sabor, aroma, color, textura y aceptación global, mientras que F1 fue la menos aceptada. F2, F4 y F5 conformaron un grupo sensorial intermedio sin diferencias globales significativas.

3.4.1. Caracterización descriptiva

En las Tabla 7 y (Anexo A6.4) se observan los resultados de la evaluación sensorial de la bebida. F3 presentó las puntuaciones medias más elevadas en todos los atributos: sabor (5.45 ± 1.45), aroma (5.47 ± 1.51), color (5.66 ± 1.40) y textura (5.79 ± 1.23). Las medianas de sus cuatro atributos fueron iguales a 6, categoría correspondiente a "me gusta moderadamente". En contraste, F1 presentó las menores puntuaciones, especialmente en sabor (3.83 ± 1.60) y aroma (3.97 ± 1.55). F2, F4 y F5 mostraron perfiles intermedios, con puntuaciones medias próximas a 5.

Tabla 7

Puntuaciones de los atributos sensoriales y aceptación global de las formulaciones

Formulación	Sabor	Aroma	Color	Textura
F1	3.83 ± 1.60^{d}	3.97 ± 1.55^{c}	4.40 ± 1.53^{c}	4.62 ± 1.42^{c}
F2	4.87 ± 1.41^{b}	4.76 ± 1.49^{b}	4.87 ± 1.45^{b}	5.15 ± 1.38^{b}
F3	5.45 ± 1.45^{a}	5.47 ± 1.51^{a}	5.66 ± 1.40^{a}	5.79 ± 1.23^{a}
F4	4.45 ± 1.66^{c}	4.62 ± 1.36^{b}	4.86 ± 1.47^{b}	5.03 ± 1.37^{b}
F5	4.97 ± 1.64^{b}	4.77 ± 1.46^{b}	4.82 ± 1.49^{b}	5.04 ± 1.51^{b}

Resultados expresados como media ± desviación estándar. F1, F2, F4 y F5: $n = 137$; F3: $n = 135$. En cada columna, valores que no comparten una letra presentan diferencias significativas según Wilcoxon con ajuste de Holm ($p < 0.05$). La aceptación global corresponde al promedio individual de sabor, aroma, color y textura.

3.4.2. Comparación inferencial

La prueba de Friedman mostró diferencias significativas entre las formulaciones en los cuatro atributos sensoriales y en la aceptación global (Anexo A6.3).

La mayor magnitud del efecto se observó en la aceptación global ($W = 0.199$), seguida del sabor ($W = 0.179$) y el aroma ($W = 0.173$). Aunque estos tamaños del efecto fueron moderados, las diferencias resultaron consistentes en una población sensorial heterogénea.

Las comparaciones posteriores mediante Wilcoxon mostraron que F3 fue significativamente superior a F1, F2, F4 y F5 en los cuatro atributos y en la aceptación global. F1 fue significativamente inferior a las demás formulaciones en aroma, color, textura y aceptación global. F2, F4 y F5 no presentaron diferencias significativas en aroma, color, textura ni aceptación global. En sabor, F2 y F5 fueron estadísticamente equivalentes y superiores a F4. La aceptación global estableció el siguiente orden $F3^{a} > F2^{b} \approx F5^{b} \approx F4^{b} > F1^{c}$. Por tanto, F3 (40% de mucílago, 50% de agua y 10% de miel) fue identificada como la formulación sensorialmente más aceptada.

3.4.3. Porcentaje de aceptación

Se consideró respuesta favorable una puntuación igual o superior a 5, correspondiente a las categorías “me gusta poco”, “me gusta moderadamente” y “me gusta mucho” (Tabla 10).

Tabla 8

Porcentaje de respuestas favorables por atributo

Formulación	Sabor (%)	Aroma (%)	Color (%)	Textura (%)	Aceptación global (%)
F1	33.6	43.1	53.3	56.9	30.7
F2	66.4	62.8	67.9	73.7	59.9
F3	**83**	**77.8**	**84.4**	**85.2**	**81.5**
F4	54	59.1	71.5	68.6	48.9
F5	62.8	64.2	65.7	65.7	52.6

La aceptación global favorable se calculó considerando un promedio individual de los cuatro atributos igual o superior a 5. F3 presentó porcentajes de aceptación superiores al 77 % en todos los atributos y alcanzó 81.5 % de aceptación global.

La textura fue su atributo mejor valorado, con 85.2 % de respuestas favorables, seguida del color, con 84.4 %. F1 presentó únicamente 33.6 % de respuestas favorables en sabor y 43.1 % en aroma. Sin embargo, sus porcentajes fueron mayores para color y textura, lo que indica que su menor aceptación estuvo asociada principalmente con las características gustativas y aromáticas.

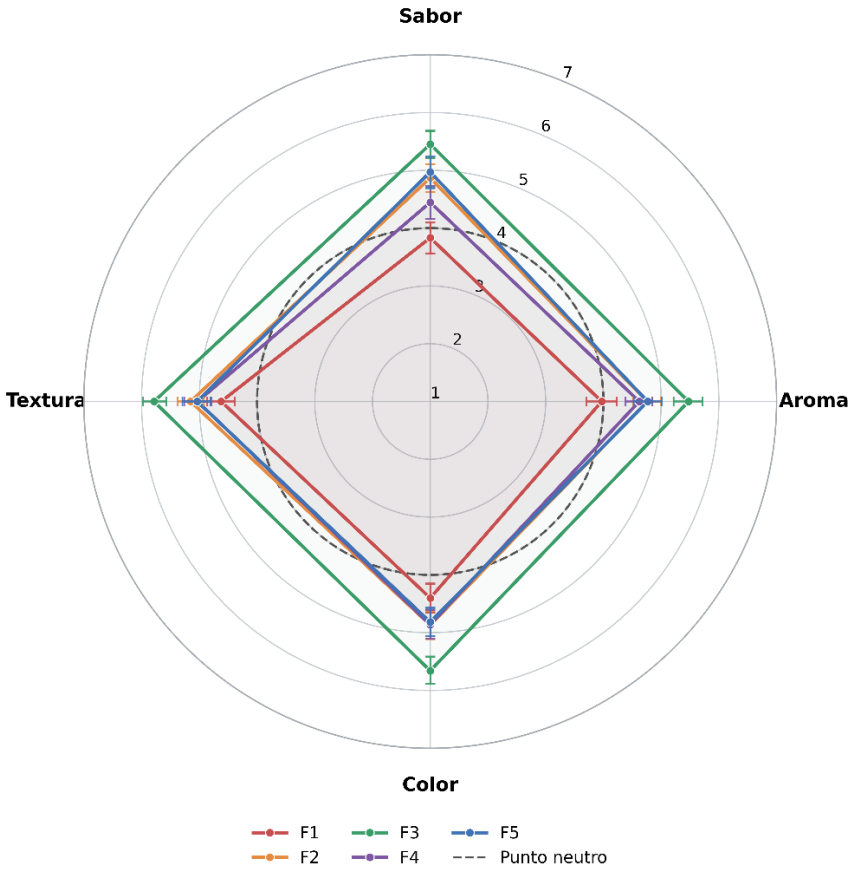
3.4.4. Perfil sensorial

El perfil sensorial de la bebida de mucílago de cacao se determinó mediante la evaluación de atributos como color, olor, sabor, textura y aceptabilidad general, con la finalidad de identificar la formulación con mayor aceptación por parte de los panelistas.

La Figura 4 muestra que F3 presentó un perfil sensorial uniformemente superior. F1 se situó cerca del punto neutro en sabor y aroma, mientras que F2, F4 y F5 mostraron perfiles intermedios.

Figura 4

Perfil sensorial de las formulaciones de la bebida a base de mucílago de cacao.



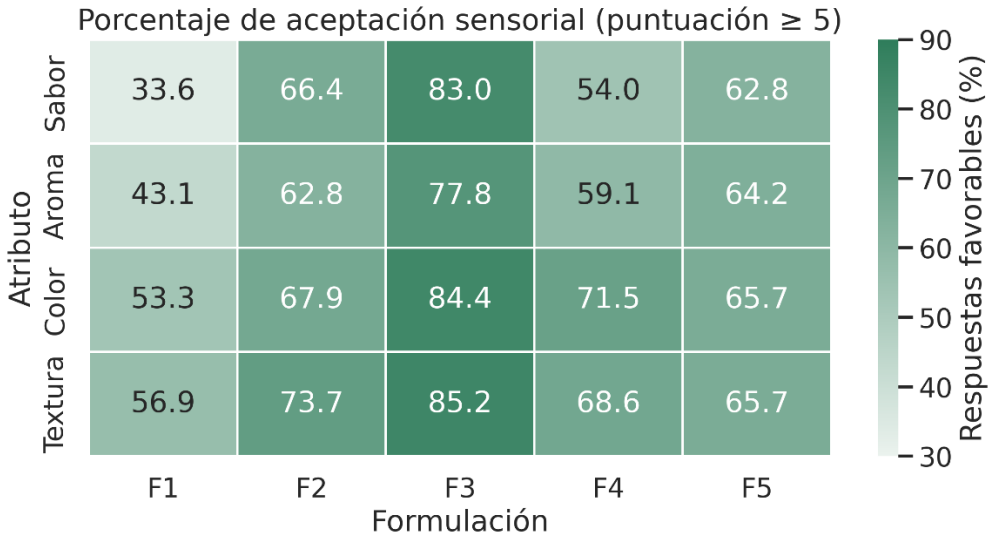
Nota: Los puntos representan las puntuaciones medias de sabor, aroma, color y textura; las líneas conectan las medias correspondientes a cada formulación y las barras radiales indican sus intervalos de confianza bootstrap del 95%. La circunferencia discontinua corresponde al punto neutro de la escala hedónica de siete puntos (4 = "no me gusta ni me disgusta"). F1, F2, F4 y F5: $n = 137$; F3: $n = 135$.

3.4.5. Distribución de las respuestas favorables

La Figura 5 confirma que F3 concentró los mayores porcentajes de aceptación en todos los atributos. F1 presentó la menor aceptación para sabor y aroma, mientras que F2 mostró un resultado favorable principalmente en textura.

Figura 5

Porcentaje de respuestas favorables para los atributos sensoriales de las formulaciones.



Se consideró favorable una puntuación igual o superior a 5 en la escala hedónica de siete puntos. Los valores dentro de las celdas representan el porcentaje de consumidores que seleccionó las categorías "me gusta poco", "me gusta moderadamente" o "me gusta mucho".

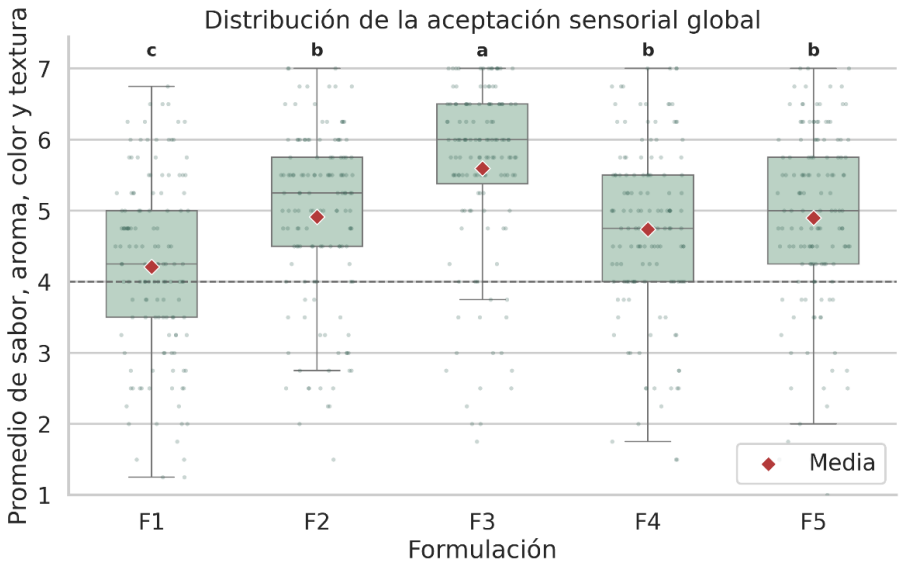
3.4.6. Aceptación sensorial global

La distribución de la aceptación global mostró un desplazamiento de F3 hacia puntuaciones superiores. Su mediana fue 6.00 y el 50 % central de las respuestas

se encontró entre 5.38 y 6.50. F1 presentó una mediana de 4.25, mientras que F2, F4 y F5 se ubicaron en posiciones intermedias (Figura 6).

Figura 6

Distribución de la aceptación sensorial global de las formulaciones.



La aceptación global corresponde al promedio individual de sabor, aroma, color y textura. Las cajas representan el rango intercuartílico, la línea interna corresponde a la mediana y los rombos rojos representan las medias. Los puntos muestran las observaciones individuales y la línea discontinua indica el punto neutro. Formulaciones que no comparten una letra presentan diferencias significativas según Wilcoxon con ajuste de Holm ($p < 0.05$).

3.4.7. Comentarios de los consumidores

Se registraron 26 comentarios sustantivos. Las observaciones positivas destacaron el sabor, aroma, textura y apariencia de algunas formulaciones. F3 fue mencionada explícitamente como agradable y como la muestra preferida por algunos consumidores. Las principales oportunidades de mejora estuvieron relacionadas con: Percepción de dulzor excesivo en algunas formulaciones. Necesidad de incrementar el dulzor de F1. Presencia de un perfil agridulce. Posibilidad de mejorar el color. Variabilidad en la intensidad del sabor.

Estos comentarios fueron concordantes con los resultados cuantitativos. F1, formulada sin miel ni azúcar, presentó la menor aceptación de sabor, mientras

que F3 alcanzó el mejor equilibrio sensorial. F4, con 15 % de miel y el mayor contenido de sólidos solubles, no superó a F3, lo que sugiere que un incremento adicional del dulzor no produjo una mejora proporcional de la aceptación.

3.5. Relación entre los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante

Las asociaciones entre el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante determinada mediante DPPH, ABTS y FRAP se evaluaron mediante el coeficiente de correlación de Spearman. El análisis global comprendió los 24 lotes a las 6 muestras evaluadas, considerando 4 repeticiones por cada muestra independientes correspondientes al mucílago y a las cinco formulaciones.

Tabla 9

Correlaciones de Spearman globales y centradas por muestra entre los compuestos fenólicos totales y los métodos de capacidad antioxidante

Variables	ρ global	p	ρ centrado por muestra	p
Fenoles–DPPH	0.238	0.263	0.283	0.181
Fenoles–ABTS	0.352	0.092	0.299	0.156
Fenoles–FRAP	0.269	0.204	0.557	0.005
DPPH–ABTS	0.854	<0.001	0.06	0.779
DPPH–FRAP	0.88	<0.001	0.358	0.086

Nota. ρ: coeficiente de correlación de Spearman. Las correlaciones centradas se calcularon después de restar a cada resultado la media correspondiente a su muestra. Los valores de p presentados son bilaterales y sin ajuste por comparaciones múltiples.

En el análisis global, DPPH, ABTS y FRAP mostraron correlaciones positivas fuertes y estadísticamente significativas. La asociación más elevada se observó entre ABTS y FRAP ($\rho = 0.911$; $p < 0.001$), seguida de DPPH–FRAP ($\rho = 0.880$; $p < 0.001$) y DPPH–ABTS ($\rho = 0.854$; $p < 0.001$). Estos resultados indican que las muestras con mayor capacidad de neutralización de los radicales DPPH y ABTS también tendieron a presentar mayor poder reductor mediante FRAP.

En contraste, los compuestos fenólicos totales no se correlacionaron significativamente con DPPH, ABTS o FRAP en el análisis global ($p > 0.05$). Este comportamiento evidencia que la respuesta obtenida mediante Folin-Ciocalteu no aumentó proporcionalmente con los resultados de los tres ensayos antioxidantes. En particular,

F4 presentó el mayor contenido de compuestos fenólicos totales, mientras que el mucílago registró la mayor capacidad antioxidante mediante DPPH, ABTS y FRAP.

Control del efecto de la muestra

Las correlaciones globales pueden incrementarse debido a la separación entre el mucílago y las diferentes formulaciones. Para distinguir este efecto de la variación entre lotes de una misma muestra, cada observación se centró con respecto a la media de su grupo y se recalcularon las correlaciones de Spearman (Figura 7).

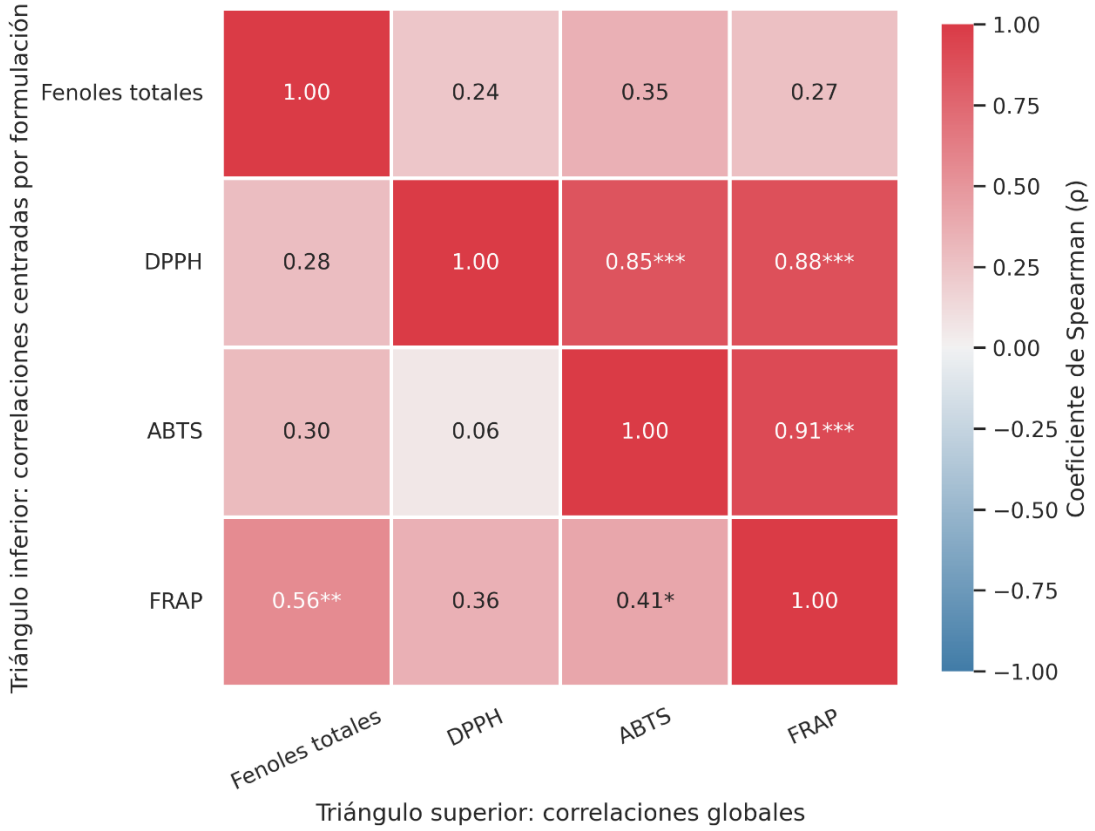
Después del centrado, las asociaciones DPPH–ABTS, DPPH–FRAP y ABTS–FRAP disminuyeron considerablemente. La correlación DPPH–ABTS pasó de $\rho = 0.854$ a $\rho = 0.060$, mientras que DPPH–FRAP disminuyó de $\rho = 0.880$ a $\rho = 0.358$. Estos cambios indican que las elevadas correlaciones globales entre los ensayos antioxidantes estuvieron explicadas principalmente por las diferencias entre las muestras y no por una relación consistente entre lotes pertenecientes a una misma formulación.

La asociación entre fenoles totales y FRAP fue la única que se mantuvo claramente significativa después del centrado ($\rho = 0.557$; $p = 0.005$). Esta relación también permaneció significativa después del ajuste de Benjamini–Hochberg por las seis comparaciones realizadas ($q = 0.028$). Aunque ABTS–FRAP presentó significancia nominal ($p = 0.044$), esta asociación no se mantuvo después del ajuste ($q = 0.133$).

Por tanto, los resultados sugieren que parte de la variación lote a lote del poder reductor determinado mediante FRAP estuvo asociada con la respuesta de Folin-Ciocalteu. Sin embargo, esta relación no fue igualmente evidente para los ensayos DPPH y ABTS.

Figura 7

Matriz de correlaciones entre los compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante.



Nota. El triángulo superior presenta las correlaciones de Spearman calculadas con los 24 lotes independientes; el triángulo inferior presenta las correlaciones obtenidas después de centrar los resultados respecto de la media de cada muestra. La escala de color representa la magnitud y dirección del coeficiente ρ. Los asteriscos indican significancia sin ajuste: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

3.6. Análisis de componente principales

El análisis de componentes principales se realizó a partir de los resultados estandarizados de compuestos fenólicos totales, DPPH, ABTS y FRAP correspondientes a los 24 lotes independientes (Tabla 10). Los dos primeros componentes explicaron conjuntamente el 92.47 % de la variabilidad total, por lo que proporcionaron una representación adecuada de la estructura multivariante de los datos.

Tabla 10

Varianza explicada y cargas de las variables en los dos primeros componentes principales

Variable	PC1	PC2
Compuestos fenólicos totales	0.412	0.903
DPPH	0.926	−0.242
ABTS	0.923	0.09
FRAP	0.937	−0.246
Varianza explicada (%)	68.91	23.55

Nota. Las cargas corresponden a las correlaciones entre las variables estandarizadas y las puntuaciones de cada componente.

El primer componente principal explicó el 68.91% de la variabilidad y presentó cargas positivas elevadas para FRAP (0.937), DPPH (0.926) y ABTS (0.923) (Tabla 11). En consecuencia, PC1 puede interpretarse como un eje general de capacidad antioxidante: las muestras localizadas hacia su extremo positivo presentaron mayor neutralización de radicales y mayor poder reductor. El segundo componente explicó el 23.55 % de la variabilidad y estuvo determinado principalmente por los compuestos fenólicos totales, cuya carga fue de 0.903. PC2 permitió distinguir las muestras con una elevada respuesta mediante Folin-Ciocalteu, pero cuya actividad relativa en DPPH o FRAP fue menor.

Tabla 11

Centroides de las muestras en los dos primeros componentes principales

Muestra	PC1	PC2
Mucílago (M)	2.987	−0.449
F1	−0.918	−1.014
F2	−1.290	−0.559
F3	−1.719	0.783
F4	0.598	1.662
F5	0.342	−0.423

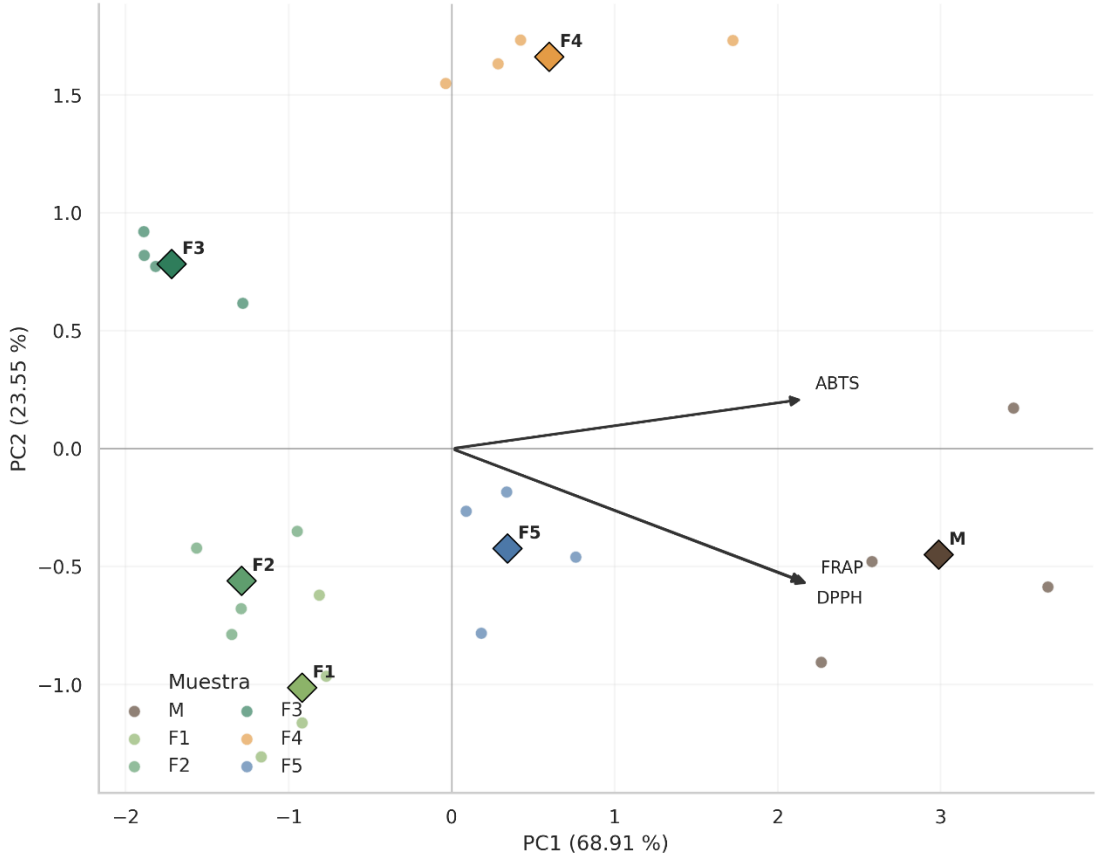
El mucílago se ubicó en el extremo positivo de PC1, en concordancia con sus elevados resultados de DPPH, ABTS y FRAP. F4 se diferenció principalmente sobre PC2 debido a su mayor contenido de compuestos fenólicos totales. Por su parte, F5 presentó valores positivos de PC1 y negativos de PC2, lo que refleja una capacidad antioxidante

relativamente elevada entre las bebidas, particularmente mediante DPPH y FRAP, pero un contenido fenólico menor que el de F4. F3 se localizó en el extremo negativo de PC1 y positivo de PC2. Esta posición representa su contenido relativamente elevado de compuestos fenólicos totales junto con una menor respuesta en los tres métodos de capacidad antioxidante. F1 y F2 se situaron en la región negativa de ambos componentes y presentaron los perfiles multivariantes más próximos entre sí.

En conjunto, el PCA confirma que el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante no describieron exactamente el mismo comportamiento (Figura 8). Por consiguiente, la determinación mediante Folin-Ciocalteu no debe utilizarse como sustituto directo de los ensayos DPPH, ABTS o FRAP.

Figura 8

Biplot del análisis de componentes principales de los compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante.



Nota: Los puntos pequeños representan los cuatro lotes independientes de cada muestra y los rombos representan sus centroides. Los vectores indican la dirección y magnitud de la asociación de los compuestos fenólicos totales, DPPH, ABTS y FRAP con los

componentes principales. PC1 y PC2 explicaron el 68.91 y 23.55% de la variabilidad, respectivamente. M: mucílago de cacao.

3.6.1. Agrupamiento jerárquico

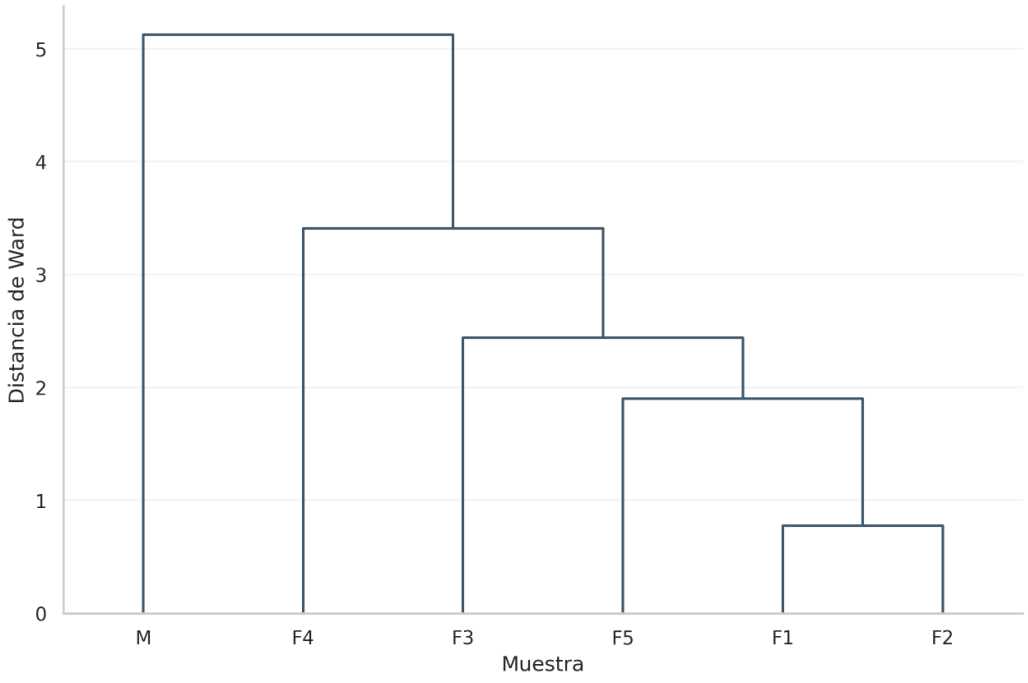
El análisis de agrupamiento jerárquico se efectuó sobre las medias estandarizadas de compuestos fenólicos totales, DPPH, ABTS y FRAP mediante el método de Ward y distancia euclidiana (Figura 9).

F1 y F2 constituyeron el primer agrupamiento, lo que indica que presentaron los perfiles químicos más semejantes. Posteriormente se incorporó F5, seguida de F3 y F4. El mucílago fue la última muestra en integrarse al conglomerado, confirmando que presentó el perfil multivariante más diferenciado.

La posición del mucílago fue coherente con sus valores superiores de DPPH, ABTS y FRAP. El agrupamiento también muestra que la formulación de las bebidas estuvo acompañada por una modificación sustancial del perfil funcional respecto de la materia prima. No obstante, el análisis representa proximidad multivariante y no permite atribuir causalmente estas diferencias a un ingrediente específico.

Figura 9

Agrupamiento jerárquico del mucílago y las formulaciones de la bebida según las propiedades beneficiosas



Nota: El dendrograma se obtuvo mediante el método de Ward y distancia euclidiana, utilizando las medias estandarizadas de compuestos fenólicos totales, DPPH, ABTS y FRAP. Una menor altura de unión indica mayor semejanza multivariante entre las muestras. M: mucílago de cacao.

3.7. Integración de las propiedades funcionales y sensoriales

Con la finalidad de comparar integralmente las cinco formulaciones de la bebida, se calculó un índice antioxidante exploratorio. Para cada ensayo, el mayor valor observado entre F1–F5 se estableció como 100%, y los resultados restantes se expresaron proporcionalmente según la ecuación (10):

$$X_{ij}^{*} = 100\left(\frac{X_{ij}}{max\ X_j}\right) \qquad \text{Ecuación……(10)}$$

El índice antioxidante correspondió al promedio de los resultados normalizados de DPPH, ABTS y FRAP:

$$IA_i = \frac{DPPH_i^{*} + ABTS_i^{*} + FRAP_i^{*}}{3} \qquad \text{Ecuación……(11)}$$

Asimismo, se calculó un índice funcional que incorporó, con igual ponderación, los compuestos fenólicos totales y los tres métodos antioxidantes:

$$IF_i = \frac{Folin_i^{*} + DPPH_i^{*} + ABTS_i^{*} + FRAP_i^{*}}{4} \qquad \text{Ecuación……(12)}$$

Estos indicadores se utilizaron únicamente como herramientas descriptivas para integrar las diferentes respuestas analíticas y no sustituyen las comparaciones estadísticas realizadas para cada variable (Tabla 14).

Tabla 12

Integración de la capacidad funcional y la aceptación sensorial de las formulaciones

Formulación	Aceptación global (1–7)	Índice antioxidante (%)	Fenoles normalizados (%)	Índice funcional (%)
F1	4.21	73.75	39.93	65.29
F2	4.91	63.91	47.39	59.78
F3	5.59	48.06	72.13	54.08
F4	4.74	88.84	100	91.63
F5	4.9	95.63	59.21	86.53

Desempeño sensorial de F3

F3 presentó la mayor aceptación global, con 5.59 puntos, además de las puntuaciones más elevadas en sabor, aroma, color y textura. Sin embargo, obtuvo el menor índice antioxidante entre las bebidas. Por tanto, esta formulación representó el mejor desempeño sensorial, pero no el mayor potencial funcional determinado mediante DPPH, ABTS y FRAP.

Perfil fenólico de F4

F4 registró el mayor contenido de compuestos fenólicos totales y, al integrar las cuatro determinaciones químicas, obtuvo el mayor índice funcional, con 91.63 %. Su aceptación global fue intermedia y no difirió significativamente de F2 y F5. Este resultado identifica a F4 como la formulación con el perfil funcional integrado más alto, aunque no como la alternativa sensorialmente más aceptada.

Capacidad antioxidante de F5

F5 presentó el mayor índice antioxidante entre las bebidas, con 95.63 %, y una aceptación global de 4.90 puntos. Su aceptación no difirió significativamente de F2 y F4. En consecuencia, F5 mostró la combinación más favorable entre capacidad antioxidante y aceptación sensorial dentro de las formulaciones evaluadas. No obstante, debe considerarse que F5 fue formulada con azúcar, mientras que F2–F4 contenían miel.

Asociación exploratoria entre aceptación y capacidad funcional

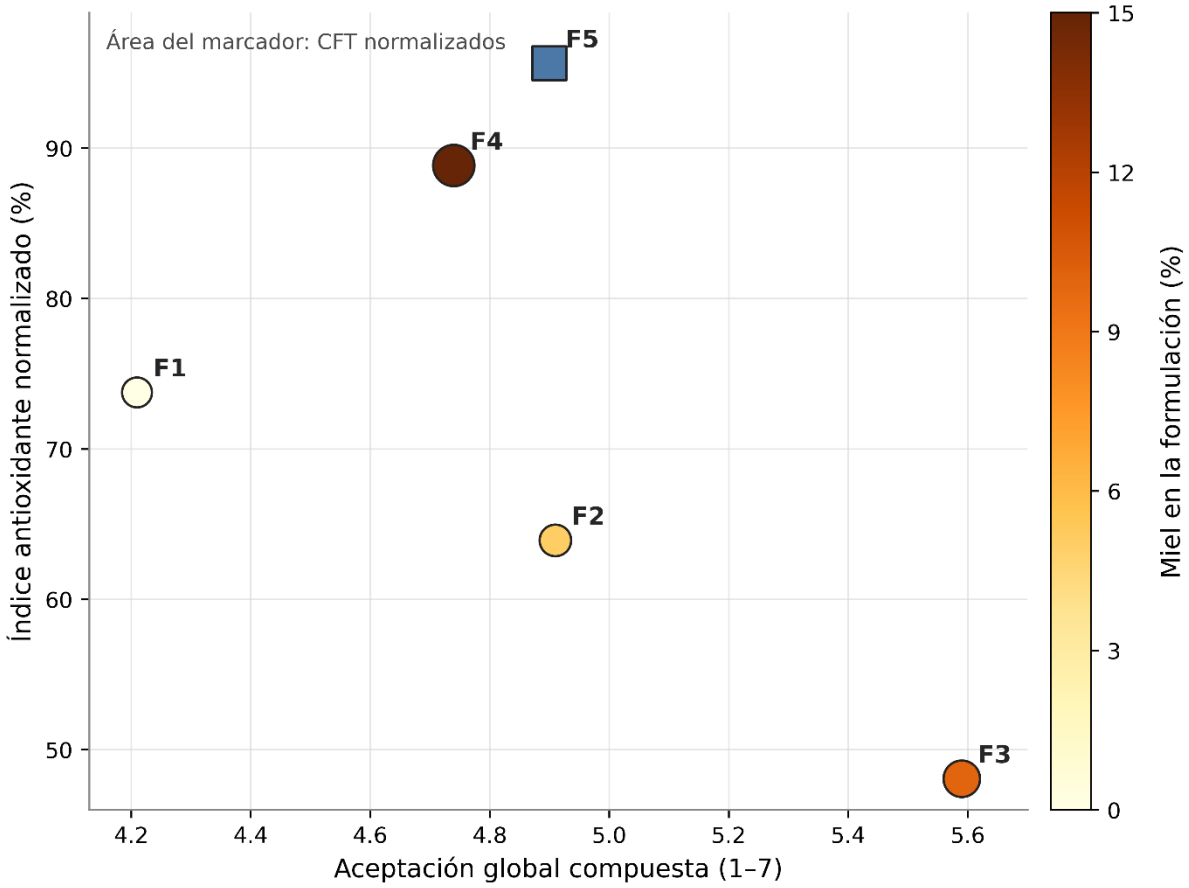
Las correlaciones entre la aceptación global y las respuestas funcionales se calcularon a partir de únicamente cinco medias de formulación, por lo que deben interpretarse de manera exploratoria. La aceptación mostró correlaciones negativas con DPPH ($\rho = -0.60$), ABTS ($\rho = -0.70$), FRAP ($\rho = -0.60$), el índice antioxidante ($\rho = -0.60$) y el índice funcional ($\rho = -0.70$). Sin embargo, ninguna asociación alcanzó significancia estadística ($p > 0.05$).

En consecuencia, los resultados no permiten afirmar que un incremento de la capacidad antioxidante reduzca la aceptación sensorial. Sí muestran que, dentro del conjunto estudiado, la formulación con mayor aceptación no coincidió con las formulaciones que presentaron los mayores índices funcionales (Figura 10).

El tamaño de los puntos representa el contenido de compuestos fenólicos totales normalizado. En F1–F4, la escala de color indica la concentración de miel incorporada; F5 se representa mediante un cuadrado azul por corresponder a la formulación endulzada con azúcar. El índice antioxidante corresponde al promedio de los resultados normalizados de DPPH, ABTS y FRAP.

Figura 10

Relación exploratoria entre la aceptación global y el índice antioxidante normalizado de las formulaciones de la bebida a base de mucílago de cacao.



Nota: Los círculos representan las formulaciones F1–F4 y su color indica la concentración de miel incorporada. El cuadrado azul representa F5, formulación control endulzada con sacarosa. El área de los marcadores es proporcional al contenido normalizado de compuestos fenólicos totales (CFT). El índice antioxidante corresponde al promedio de los valores normalizados de DPPH, ABTS y FRAP. Los índices presentados son descriptivos y no sustituyen las comparaciones estadísticas realizadas para cada variable.

Por tanto, la selección de una formulación dependerá del atributo tecnológico que se desee priorizar: aceptación sensorial, contenido fenólico, capacidad antioxidante o equilibrio entre las propiedades funcionales y sensoriales.

IV. DISCUSIÓN

En relación con la caracterización fisicoquímica el mucílago de cacao CCN-51 presentó un pH de 3.301, 16.0 de sólidos solubles y una acidez titulable de 1.65 %. Estos resultados confirman que se trata de una materia prima naturalmente ácida y con una concentración importante de sólidos solubles. La acidez del mucílago se relaciona principalmente con la presencia de ácidos orgánicos, especialmente ácido cítrico, además de los ácidos málico, láctico, acético y oxálico, cuyas concentraciones dependen del genotipo, estado de madurez, condiciones edafoclimáticas y manejo postcosecha (Huanca-Ccompe et al., 2026).

El valor de pH obtenido se encuentra dentro del intervalo descrito para la pulpa fresca de cacao. Haase et al. (2023) indicaron que la pulpa contiene aproximadamente 11–13 % de azúcares, 0.5–1.2 % de pectina y 0.3–1.3 % de ácido cítrico, y que normalmente presenta valores de pH próximos a 3.3–3.8. La correspondencia con el pH observado demuestra que el mucílago estudiado conservó la naturaleza ácida característica de esta matriz. No obstante, los 16 de sólidos solubles registrados fueron ligeramente superiores al intervalo de azúcares señalado por dichos autores. Esta diferencia puede responder a la variedad CCN-51, la madurez del fruto, la proporción de pulpa extraída y la contribución conjunta de azúcares, ácidos y otros sólidos solubles al valor refractométrico (Bi et al., 2009).

La acidez titulable del mucílago fue superior a la de todas las bebidas, lo que era esperable por el efecto de la dilución con agua y la incorporación de los edulcorantes. Las formulaciones presentaron valores de pH entre 3.120 y 3.311, sólidos solubles entre 11.9 y 13.5 de sólidos solubles y acidez titulable entre 0.703 y 0.963 %. Por tanto, conservaron un carácter ácido después del procesamiento. Desde el punto de vista tecnológico, este comportamiento es favorable para una bebida de fruta porque contribuye a limitar el crecimiento de numerosos microorganismos alterantes; sin embargo, el pH por sí solo no garantiza la inocuidad ni la estabilidad durante el almacenamiento, por lo que se requieren estudios microbiológicos y de vida útil (Rodríguez-Castro et al., 2024).

Las diferencias significativas en pH, sólidos solubles y acidez demuestran que las formulaciones no fueron equivalentes desde el punto de vista fisicoquímico. El incremento de los sólidos solubles desde F1 hasta F4 fue concordante con la incorporación progresiva de miel. F5, formulada con 10% de azúcar, presentó 13.1 °Brix, valor menor que el de F4, pero superior a F1–F3. Este comportamiento confirma el aporte de azúcares solubles de ambos edulcorantes, aunque no permite comparar directamente el poder edulcorante de la

miel y el azúcar, puesto que también variaron las proporciones de agua y mucílago. F3 presentó la menor acidez titulable, a pesar de no registrar el pH más elevado. Esta diferencia entre pH y acidez titulable es químicamente coherente: el pH representa la actividad de los protones libres, mientras que la acidez titulable cuantifica la reserva total de ácidos neutralizables. En matrices complejas, ambos parámetros pueden variar de manera diferente por la capacidad amortiguadora de los ácidos orgánicos, sales, proteínas, pectinas y otros constituyentes.

En comparación con la literatura, la composición del mucílago puede variar ampliamente entre genotipos. Rocha et al. (2025) caracterizaron la denominada "miel de cacao" como una matriz rica en azúcares, ácidos orgánicos y compuestos bioactivos, pero también señalaron que su composición depende de la materia prima y del método de obtención. Por ello, las comparaciones entre pulpa, mucílago, exudado y miel de cacao deben realizarse con cautela, dado que estos términos pueden representar fracciones obtenidas mediante procedimientos diferentes. El mucílago presentó 44.16 mg GAE/g de compuestos fenólicos totales, 36.66 µmol TE/g mediante DPPH, 4.23 µmol TE/g mediante ABTS y 58.94 µmol Fe^{2+}/g mediante FRAP. Estos resultados confirman que el mucílago de cacao constituye una fuente de sustancias con capacidad reductora y neutralizadora de radicales. La presencia de compuestos fenólicos en el mucílago coincide con Llerena et al. (2023), quienes identificaron catequina, epicatequina y procianidinas B1, B2 y C1 en subproductos de cacao. Estos autores también demostraron que la actividad antioxidante evaluada mediante ABTS, FRAP y ORAC dependía de la variedad y del perfil específico de compuestos bioactivos. En su investigación, el mucílago de cacao Nacional × Trinitario presentó el mayor contenido de fenoles totales, mientras que CCN-51 mostró respuestas antioxidantes superiores en algunos ensayos. Esto demuestra que un mayor contenido fenólico global no implica necesariamente mayor actividad en todos los métodos antioxidantes. Coyago-Cruz et al., (2025) también encontraron diferencias importantes en fenoles y actividad antioxidante entre mucílagos de distintas especies de *Theobroma*. En conjunto, estas investigaciones respaldan la influencia de la variabilidad genética y composicional sobre la respuesta antioxidante y explican por qué los resultados obtenidos para CCN-51 no deben extrapolarse directamente a otras variedades o especies.

El mucílago presentó la mayor actividad mediante DPPH, ABTS y FRAP, mientras que las bebidas mostraron valores inferiores. La disminución puede atribuirse principalmente al efecto de dilución, dado que las formulaciones contenían entre 40 y 50% de mucílago. Sin

embargo, también pudieron intervenir el procesamiento térmico, la exposición al oxígeno, la interacción de los antioxidantes con azúcares y pectinas y los cambios en su extractabilidad.

Endraiyani et al. (2017) informaron que una y dos pasteurizaciones de la pulpa de cacao redujeron el contenido fenólico aproximadamente 25 y 38%, respectivamente. No obstante, la capacidad antioxidante no respondió de forma idéntica en todos los ensayos, lo que evidencia que los cambios en fenoles totales no siempre se traducen en pérdidas proporcionales de actividad antioxidante (Endraiyani et al., 2017). Haase et al. (2023) también demostraron que la pasteurización puede estabilizar la pulpa de cacao con cambios sensoriales relativamente moderados, mientras que los tratamientos más intensos favorecen el oscurecimiento y modifican la diversidad aromática. Por consiguiente, la menor actividad de las bebidas no debe atribuirse exclusivamente a una destrucción térmica de los antioxidantes. El diseño experimental no incluyó una muestra de mucílago diluida sin tratamiento térmico ni mediciones antes y después del calentamiento, por lo que los efectos de la dilución y del procesamiento no pueden separarse estadísticamente.

Dentro de las formulaciones de las bebidas, F4 presentó el mayor contenido de compuestos fenólicos totales, con 60.64 mg GAE/g, incluso superior al mucílago sin formular. Este resultado sugiere una contribución de sustancias reductoras procedentes de la miel o una modificación de la respuesta analítica de la matriz. La miel contiene compuestos fenólicos, flavonoides, ácidos orgánicos, productos de reacciones de oscurecimiento y otros constituyentes capaces de reaccionar con Folin-Ciocalteu (Cianciosi et al., 2018). Sin embargo, debido a que las formulaciones variaron simultáneamente en agua, mucílago y edulcorante, el incremento observado en F4 no puede atribuirse causalmente al 15% de miel. No obstante, en una bebida mixta de manzana y maracuyá, Leite et al. (2021) encontraron que la incorporación de miel incrementó los sólidos solubles y produjo aumentos de 20, 72 y 62% en FRAP, TEAC y DPPH, respectivamente. También observaron un enriquecimiento en catequina y quercetina. Estos antecedentes respaldan la posibilidad de que la miel contribuya al perfil funcional de una bebida, pero la magnitud de su efecto depende de su origen botánico, color, procesamiento y concentración.

En el presente estudio, F4 mostró el mayor contenido fenólico, pero F5 alcanzó los valores más altos de DPPH y FRAP entre las bebidas. Este comportamiento indica que la respuesta de Folin-Ciocalteu no reflejó por sí sola la capacidad antioxidante. Además, F5 contenía

azúcar refinada y no miel, por lo que su elevada actividad antioxidante no debe interpretarse como un efecto antioxidante del azúcar. Su comportamiento podría estar relacionado con la proporción de mucílago, las interacciones de la matriz, diferencias entre los lotes o cambios en la disponibilidad de los compuestos antioxidantes durante el procesamiento. F3 constituye otro ejemplo relevante: presentó un contenido fenólico estadísticamente comparable con el mucílago, pero registró los menores resultados de DPPH, ABTS y FRAP. La diferencia podría relacionarse con la presencia de compuestos que reaccionaron con Folin-Ciocalteu, pero que tuvieron una menor eficacia frente a los radicales o al complejo férrico en las condiciones de los ensayos.

El reactivo de Folin-Ciocalteu mide capacidad reductora total y no es completamente específico para compuestos fenólicos. Sustancias como ácido ascórbico, azúcares reductores, sulfitos y otros agentes reductores pueden contribuir a la absorbancia. Por ello, el resultado debe interpretarse operacionalmente como "compuestos fenólicos totales expresados como equivalentes de ácido gálico", sin asumir que representa exclusivamente polifenoles individuales. Los ensayos DPPH, ABTS y FRAP también se basan en mecanismos y condiciones químicas diferentes, por lo que su aplicación conjunta proporciona una caracterización más completa que cualquiera de ellos por separado (Prior et al., 2005).

Las correlaciones globales fuertes entre DPPH, ABTS y FRAP indican que estos ensayos respondieron de manera concordante a las diferencias generales entre el mucílago y las bebidas. La correlación más elevada entre ABTS y FRAP sugiere que las sustancias presentes en las muestras mostraron simultáneamente capacidad para transferir electrones al catión ABTS•+ y reducir el complejo Fe^{3+}–TPTZ. Sin embargo, después de centrar los resultados respecto de la media de cada muestra, estas asociaciones disminuyeron considerablemente. Esto demuestra que las correlaciones globales estuvieron determinadas principalmente por la separación entre tratamientos, especialmente por la mayor actividad del mucílago, y no por una relación uniforme entre los cuatro lotes de cada formulación. La relación entre fenoles totales y FRAP fue la única asociación que permaneció significativa después del centrado y del ajuste por comparaciones múltiples. Este resultado es químicamente razonable porque Folin-Ciocalteu y FRAP se sustentan principalmente en mecanismos de transferencia de electrones y capacidad reductora (Pérez et al., 2023). No obstante, la correlación moderada indica que los fenoles explicaron solo una parte de la variación del poder reductor.

La ausencia de correlaciones significativas de los fenoles con DPPH y ABTS no implica que los compuestos fenólicos carezcan de actividad antioxidante. Puede indicar diferencias en la reactividad de cada familia fenólica, concentración de antioxidantes no fenólicos, accesibilidad de los compuestos, interferencias de la matriz y sensibilidad de cada ensayo. Llerena et al. (2023) observaron correlaciones fuertes cuando consideraron compuestos específicos como catequina, epicatequina y procianidinas. Por tanto, una limitación del presente estudio es no haber determinado el perfil fenólico individual mediante HPLC.

El PCA reforzó esta interpretación. PC1 estuvo definido principalmente por DPPH, ABTS y FRAP, mientras que PC2 estuvo asociado con los compuestos fenólicos totales. La separación de estas variables en componentes diferentes demuestra que contenido fenólico y capacidad antioxidante describieron dimensiones relacionadas, pero no equivalentes. En consecuencia, Folin-Ciocalteu no debe utilizarse como sustituto directo de DPPH, ABTS o FRAP.

El agrupamiento jerárquico identificó a F1 y F2 como las formulaciones más semejantes y al mucílago como la muestra más diferenciada. Esta separación es coherente con la mayor actividad antioxidante del mucílago y con la modificación del perfil químico después de la dilución, incorporación de edulcorantes y procesamiento. Sin embargo, el agrupamiento representa proximidad multivariante y no identifica el mecanismo responsable de las diferencias.

Con respecto a los resultados de la evaluación sensorial la formulación F3, compuesta por 40% de mucílago, 50% de agua y 10% de miel, presentó las puntuaciones más elevadas de sabor, aroma, color, textura y aceptación global. Sus medianas correspondieron a la categoría “me gusta moderadamente”, lo que indica una respuesta favorable de los consumidores. En contraste, F1, formulada sin edulcorante añadido, fue la menos aceptada, particularmente en sabor y aroma. La menor aceptación de F1 puede relacionarse con la acidez natural del mucílago y la ausencia de dulzor añadido. El dulzor contribuye a reducir la percepción de acidez y puede mejorar la armonía de las bebidas de frutas. Sin embargo, F4, que presentó 15% de miel y el mayor contenido de sólidos solubles, no superó sensorialmente a F3. Este resultado indica que la aceptación no aumentó de manera proporcional con la concentración de miel y sugiere la existencia de un punto de equilibrio entre dulzor, acidez y sabor característico del mucílago.

Rodríguez-Castro et al. (2024), al emplear mucílago de cacao en kombucha, observaron que la formulación con mucílago Nacional y 40 g/L de azúcar obtuvo la mayor aceptabilidad. Aunque se trató de una bebida fermentada y no es directamente comparable con la bebida, sus resultados respaldan la importancia de ajustar la relación entre mucílago, acidez y edulcorante para alcanzar un perfil sensorial favorable.

La elevada aceptación de F3 también coincide con los comentarios de los consumidores, quienes señalaron un perfil agradable y un mejor equilibrio sensorial. Las observaciones de dulzor excesivo en algunas muestras y de insuficiente dulzor en F1 complementan los resultados cuantitativos y ayudan a explicar por qué F3 superó tanto a la formulación sin edulcorante como a la de mayor concentración de miel.

Los valores alfa de Cronbach superiores a 0.85 indican que sabor, aroma, color y textura mostraron una elevada consistencia interna. Por tanto, el cálculo de la aceptación global resultó estadísticamente justificable. Los tamaños del efecto de Friedman fueron moderados, lo que indica que la formulación produjo cambios sensoriales consistentes, aunque coexistió una variabilidad propia de un panel amplio de consumidores no entrenados.

La integración de los resultados evidenció que no existió una única formulación óptima. F3 presentó la mayor aceptación, F4 el mayor contenido fenólico y el mayor índice funcional, y F5 el mayor índice antioxidante entre las bebidas. Esto demuestra que la optimización sensorial y funcional condujo a alternativas diferentes. La falta de coincidencia entre aceptación y capacidad antioxidante es relevante para el desarrollo del producto. Una bebida funcional necesita conservar compuestos bioactivos, pero también alcanzar un nivel de aceptación suficiente para favorecer su consumo. En el presente estudio, F3 constituyó el óptimo sensorial, mientras que F4 y F5 presentaron ventajas funcionales distintas.

F5 mostró el mejor equilibrio descriptivo entre actividad antioxidante y aceptación, pero no puede considerarse automáticamente la formulación óptima para el objetivo de desarrollar una bebida endulzado con miel, porque fue elaborada con azúcar. En cambio, F4 presentó el mayor contenido de compuestos fenólicos entre las formulaciones con miel, aunque su aceptación fue menor que la de F3. Por tanto, si el objetivo tecnológico prioriza simultáneamente el uso de miel, aceptación y conservación de propiedades funcionales, sería pertinente evaluar formulaciones intermedias entre F3 y F4.

Las correlaciones negativas entre aceptación y los índices antioxidante y funcional no alcanzaron significancia estadística y se calcularon con solo cinco medias. Por ello, no demuestran una relación inversa entre funcionalidad y aceptación. Únicamente indican que, en las formulaciones estudiadas, la muestra más aceptada no fue la que presentó la mayor respuesta antioxidante.

Finalmente, debido a que las proporciones de agua, mucílago y edulcorante variaron simultáneamente, los resultados no permiten cuantificar efectos individuales ni interacciones entre ingredientes. Las formulaciones deben interpretarse como tratamientos integrales. Una investigación posterior podría utilizar un diseño de mezclas, manteniendo constantes las condiciones térmicas y los ingredientes menores, para optimizar simultáneamente aceptación, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El mucílago de cacao CCN-51 presentó características fisicoquímicas apropiadas para su utilización en la elaboración de bebidas, manteniendo un carácter ácido y un contenido de sólidos solubles adecuado. Asimismo, presentó un contenido importante de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, evidenciando su potencial como materia prima de interés funcional. Las formulaciones elaboradas a partir del mucílago presentaron diferencias en sus propiedades fisicoquímicas, principalmente en el pH, sólidos solubles y acidez titulable. Todas conservaron el carácter ácido del mucílago, mientras que la incorporación de los edulcorantes incrementó los sólidos solubles.

La formulación influyó significativamente en el contenido fenólico y en la capacidad antioxidante. Entre las bebidas endulzados con miel, F4 (45% de mucílago y 15% de miel) presentó el mayor contenido de compuestos fenólicos totales (60.64 mg GAE/g) y el mayor índice funcional. No obstante, el mucílago sin formular mantuvo la mayor actividad mediante DPPH, ABTS y FRAP, evidenciando una reducción de la capacidad antioxidante después de la formulación y el procesamiento.

La evaluación sensorial identificó a F3 (40% de mucílago, 50% de agua y 10% de miel) como la formulación con mayor aceptación global (5.59 puntos), además de obtener las mejores valoraciones de sabor, aroma, color y textura. Por tanto, F3 representó la alternativa sensorialmente más favorable, mientras que F4 destacó por su contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante

En conjunto, no se identificó una única formulación óptima para todas las respuestas. F3 presentó el mejor desempeño sensorial, F4 el mayor potencial funcional entre las formulaciones con miel y F5, utilizada como control con azúcar, el mayor índice antioxidante entre las bebidas. La selección final dependerá de si se prioriza la aceptación sensorial, el contenido fenólico o la capacidad antioxidante.

Recomendaciones

Se recomienda a los estudiantes, docentes e investigadores profundizar en la caracterización del mucílago y de la bebida mediante técnicas instrumentales como HPLC-DAD o LC-MS, con el propósito de identificar y cuantificar compuestos fenólicos específicos, particularmente catequina, epicatequina y procianidinas. Asimismo, se debería determinar vitamina C, flavonoides, azúcares y ácidos orgánicos para explicar mejor su contribución a la capacidad antioxidante.

Desde una perspectiva tecnológica, se recomienda optimizar la formulación mediante un diseño de mezclas que permita evaluar independientemente las proporciones de mucílago, agua y miel. La optimización debería considerar simultáneamente las propiedades fisicoquímicas, la capacidad antioxidante y la aceptación sensorial, especialmente en formulaciones intermedias entre F3 y F4.

Se recomienda evaluar la estabilidad microbiológica, fisicoquímica, antioxidante y sensorial de la bebida durante el almacenamiento. También resulta conveniente comparar tecnologías de conservación como pasteurización, refrigeración, procesamiento por altas presiones o tratamientos térmicos de diferente intensidad, a fin de establecer su vida útil y seleccionar el procedimiento que conserve mejor los compuestos bioactivos.

Se recomienda a los productores cacaoteros implementar sistemas higiénicos de recolección, filtración, conservación y transformación del mucílago de cacao para aprovecharlo como materia prima en bebidas y otros productos de valor agregado. Su valorización podría reducir el desperdicio agroindustrial, diversificar los ingresos del productor y promover modelos de economía circular en la cadena productiva del cacao.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP *Assay. Analytical Biochemistry,* 239(1), 70-76. https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292

Bi, A. Z., Gnakri, D., & Anvoh, K. Y. B. (2009). Production and Characterization of Juice from Mucilage of Cocoa Beans and its Transformation into Marmalade. P*akistan Journal of Nutrition,* 8(2), 129-133. https://doi.org/10.3923/pjn.2009.129.133

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology,* 28(1), 25-30. https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5

Cianciosi, D., Forbes-Hernández, T. Y., Afrin, S., Gasparrini, M., Reboredo-Rodriguez, P., Manna, P. P., Zhang, J., Lamas, L. B., Flórez, S. M., Toyos, P. A., Quiles, J. L., Giampieri, F., & Battino, M. (2018). Phenolic Compounds in Honey and Their Associated Health Benefits: A Review. *Molecules,* 23(9). https://doi.org/10.3390/molecules23092322

Coyago-Cruz, E., Salazar, I., Guachamin, A., Alomoto, M., Cerna, M., Mendez, G., Heredia-Moya, J., & Vera, E. (2025a). Bioactive Compounds, Antioxidant, and Antimicrobial Activity of Seeds and Mucilage of Non-Traditional Cocoas. *Antioxidants,* 14(3). https://doi.org/10.3390/antiox14030299

Coyago-Cruz, E., Salazar, I., Guachamin, A., Alomoto, M., Cerna, M., Mendez, G., Heredia-Moya, J., & Vera, E. (2025b). Bioactive Compounds, Antioxidant, and Antimicrobial Activity of Seeds and Mucilage of Non-Traditional Cocoas. *Antioxidants,* 14(3), 299.

Donkor, D., Tulashie, S. K., Helegah, F., Baidoo, E. B., Alale, E. M., Holdbrook, D. A., Lartey-Qel, S. K., Opoku, E. K., Felitse, S. E., & Alem, D. A. (2026). Cocoa byproduct

utilization in the bioeconomy: A review of waste-to-resource strategies. *Biofuels,* 17(4), 756-783. https://doi.org/10.1080/17597269.2025.2550911

Endraiyani, V., Ludescher, R. D., Di, R., & Karwe, M. V. (2017). Total Phenolics and Antioxidant Capacity of Cocoa Pulp: Processing and Storage Study: COCOA PULP PHENOLICS AND ANTIOXIDANT CAPACITY. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(4), e13029. https://doi.org/10.1111/jfpp.13029

Haase, T. B., Naumann-Gola, S., Ortner, E., Zorn, H., & Schweiggert-Weisz, U. (2023). Thermal stabilisation of cocoa fruit pulp—Effects on sensory properties, colour and microbiological stability. *Current research in food science,* 7, 100549.

Huanca-Ccompe, F. R., Carrión-Sánchez, H. M., Chambilla, L. Q., Alcázar-Alay, S. C., & Pumacahua-Ramos, A. (2026). *Theobroma spp.* Mucilage as a Valuable Natural Ingredient: Composition, Potential for Food Innovation, and Future Perspectives. *Foods,* 15(2). https://doi.org/10.3390/foods15020185

Kedare, S. B., & Singh, R. P. (2011). Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *Journal of Food Science and Technology,* 48(4), 412-422. https://doi.org/10.1007/s13197-011-0251-1

Kim, J., Kim, J., Shim, J., Lee, C. Y., Lee, K. W., & Lee, H. J. (2014). Cocoa Phytochemicals: Recent Advances in Molecular Mechanisms on Health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition,* 54(11), 1458-1472. https://doi.org/10.1080/10408398.2011.641041

Leite, I. B., Magalhães, C. D., Monteiro, M., & Fialho, E. (2021). Addition of honey to an apple and passion fruit mixed beverage improves its phenolic compound profile. *Foods*, 10(7), 1525.

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). https://doi.org/10.3390/foods12132583

López-Narváez, S. P., Guapi-Alava, G. M., Guerrón-Troya, V. A., Revilla-Escobar, K. Y., Aldas-Morejon, J. P., & Barzola-Miranda, S. E. (2024). Efecto de distintas concentraciones de mucílago de cacao *(Theobroma cacao* L.*)* y café (Coffea arabica) en la elaboración de una bebida energética. *Revista Agrotecnológica Amazónica,* 4(1), e600-e600.

Machado De-Melo, A. A., Almeida-Muradian, L. B. de, Sancho, M. T., & Pascual-Maté, A. (2018). Composition and properties of *Apis mellifera* honey: A review. *Journal of Apicultural Research,* 57(1), 5-37. https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1338444

Nieves-Orduña, H. E., Krutovsky, K. V., & Gailing, O. (2023). Geographic distribution, conservation, and genomic resources of cacao *Theobroma cacao* L. *Crop Science,* 63(4), 1750-1778. https://doi.org/10.1002/csc2.20959

Pérez, M., Dominguez-López, I., & Lamuela-Raventós, R. M. (2023). The Chemistry Behind the Folin–Ciocalteu Method for the Estimation of (Poly)phenol Content in Food: Total Phenolic Intake in a Mediterranean Dietary Pattern. J*ournal of Agricultural and Food Chemistry,* 71(46), 17543-17553. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04022

Peryam, D. R., & Pilgrim, F. J. (1957). Hedonic scale method of measuring food preferences. *Food technology.* https://psycnet.apa.org/record/1959-02766-001

Poveda Moran, A. L. (2022). *Caracterización fisicoquímica y sensorial de una bebida desarrollada a partir de mucílago y placenta de cacao (Theobroma cacao* L*) saborizada con flor de jamaica Hibiscus sabdariff*. https://repositorio.uteq.edu.ec/items/01e11275-42a7-45a5-ae3d-1cd243e49811

Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements. *Journal of*

Agricultural and Food Chemistry, 53(10), 4290-4302. https://doi.org/10.1021/jf0502698

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine,* 26(9), 1231-1237. https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3

Rocha, G. H. A. M., de Almeida, M. C., da Silva, L. L. P., Flores, I. S., Castiglioni, G. L., De Oliveira, T. F., & Pereira, J. (2025). Food-related properties and composition of cocoa honey *(Theobroma cacao* L.): An integrated investigation. *Food Research International,* 202, 115694.

Rodríguez-Castro, R., Guerrero, R., Valero, A., Franco-Rodriguez, J., & Posada-Izquierdo, G. (2024). Cocoa Mucilage as a Novel Ingredient in Innovative Kombucha Fermentation. *Foods,* 13(11). https://doi.org/10.3390/foods13111636

Sánchez Valero, F. L. (2024). *Aprovechamiento del mucilago de cacao (Theobroma Cacao* L.*) para la obtención de un néctar con cannabis no psicoactivo (Cannabis Sativa* L.*)* [B.S. thesis, Babahoyo, Ecuador]. https://dspace.utb.edu.ec/server/api/core/bitstreams/28720455-cd14-43a6-a6e5-24a4b97e8a0c/content

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *En Oxidants and Antioxidants Part A (*Vol. 299, pp. 152-178). Academic Press. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1

Sotelo-Coronado, L. E., Oviedo-Argumedo, W., & Alvis-Bermúdez, A. (2025). Cacao in the Circular Economy: A Review on Innovations from Its By-Products. *Processes*, 13(7). https://doi.org/10.3390/pr13072098

Standardization, I. O. F. (2014). *Sensory Analysis: Methodology. General Guidance for Conducting Hedonic Tests with Consumers in a Controlled Area.*

Torres, C. A. V., Ocampo, R. D., Rodríguez, W. M., Velasco, R. S., Chang, J. F. V., & Cedeño, C. B. (2016). Utilización del mucílago de cacao, tipo nacional y trinitario, en la obtención de jalea. *Revista Espamciencia,* 7(1), 51-58.

Villalta García, G. K., & Espinoza Espinoza, F. G. (2025). *Caracterización fisicoquímica, microbiológica y organoléptica de un néctar de mucilago de cacao (Theobroma cacao L.) incorporando moringa (Moringa oleífera* L.*) en su formulación.* https://agris.fao.org/search/en/providers/124888/records/682f2f1a9d0aa4165340b5a8

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios, por habernos concedido la fortaleza, salud y sabiduría necesarias para superar cada desafío que encontramos durante este camino. A nuestros padres, nuestro agradecimiento más especial. Gracias por su amor incondicional, por creer en nosotras incluso cuando nosotras mismas dudábamos, por sus sacrificios silenciosos y por cada palabra de aliento que nos ayudó a seguir adelante. A nuestros hermanos, gracias por su cariño, paciencia y apoyo constante.

De manera muy especial, expresamos nuestro profundo agradecimiento a nuestro asesor, Dr. Frank Fernández Rosillo, por su valioso asesoramiento, orientación y acompañamiento durante el desarrollo de nuestra investigación. Asimismo, expresamos nuestro sincero agradecimiento al Dr. Gary Charly García Guevara, por el apoyo brindado durante la ejecución de nuestra tesis. De igual manera, queremos expresar nuestro especial agradecimiento al ingeniero Harvey Almilkar Pérez Ramos y a la Ingeniera Alexa Jahayra Pajuelo Muñoz encargados del Laboratorio de Postcosecha de la UNTRM, por su disposición, apoyo y asesoramiento durante la ejecución de nuestra investigación.

A nuestra universidad y a todos los docentes que contribuyeron a nuestra formación profesional, les expresamos también nuestra gratitud por los conocimientos y experiencias compartidas a lo largo de nuestra carrera. Este logro también lleva una parte de cada persona que creyó en nosotras y nos ayudó a llegar hasta aquí.

DEDICATORIA

Con profunda gratitud y cariño, dedicamos este trabajo de investigación a Dios, por guiarnos y brindarnos la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para continuar avanzando aun en los momentos más difíciles. A nuestros queridos padres, quienes han sido nuestro mayor ejemplo de amor, esfuerzo y perseverancia. Les dedicamos este logro porque detrás de cada página de esta tesis están sus sacrificios, sus consejos, sus palabras de aliento y la confianza que siempre depositaron en nosotras. Este logro también es de ustedes. A nuestros hermanos, por su cariño, comprensión y compañía durante este camino. Gracias por estar presentes en los momentos de alegría, pero también en aquellos en los que necesitamos una palabra de ánimo para continuar. A todas las personas que, de manera especial, formaron parte de este proceso y contribuyeron para que hoy podamos ver culminado nuestro trabajo. Cada gesto de apoyo, cada consejo y cada palabra de motivación quedará siempre como parte de este logro.

ANEXOS

Anexo 1. *Recepción de materia prima*



Anexo 2. *Lavado la materia prima*



Anexo 3. *Despulpado*



Anexo 4. *Extracción del mucílago de cacao*



Anexo 5. *Evaluando los resultados fisicoquímicos*



Anexo 6. *Formulaciones diluidas*



Anexo 7. *Cocción de las formulaciones*



Anexo 8. *Producto final*



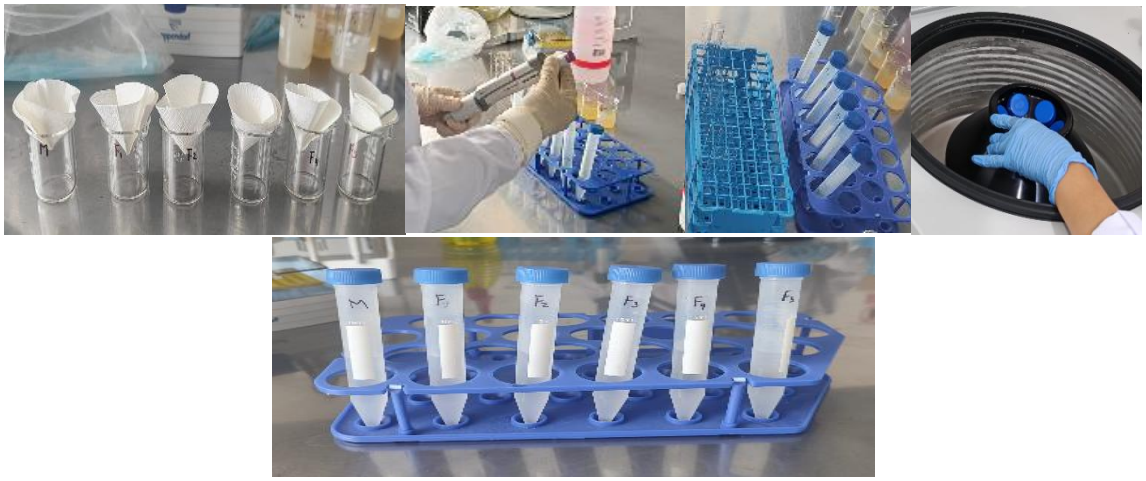
Anexo 9. *Muestra llevada al laboratorio de UNTRM*



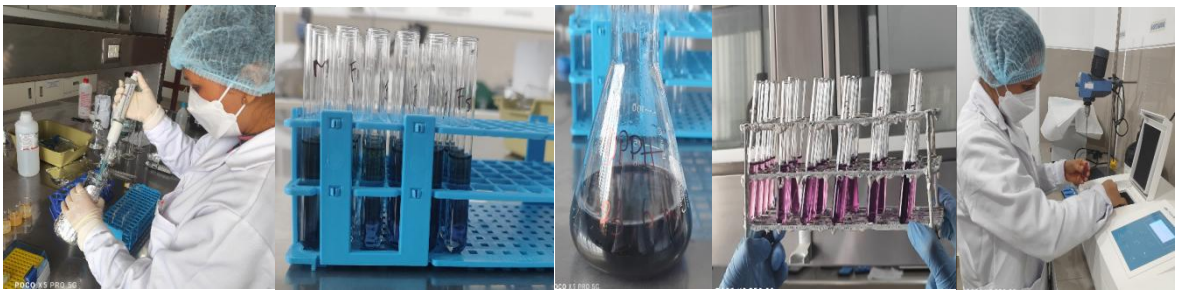
Anexo 10. *Reactivos que se usaron para determinar cada métodos*



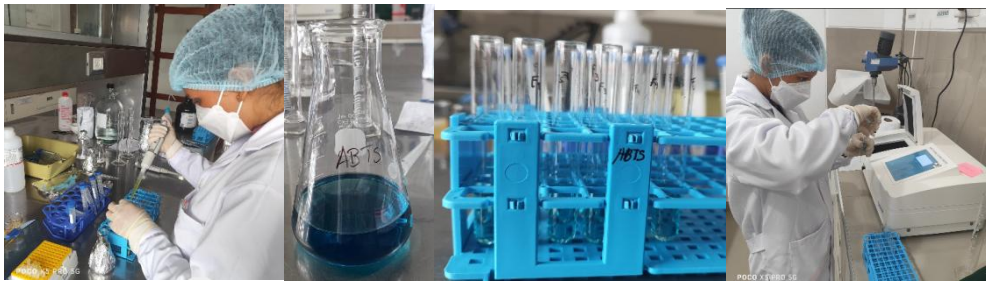
Anexo 11. *Muestra preparada para trabajar en los métodos*



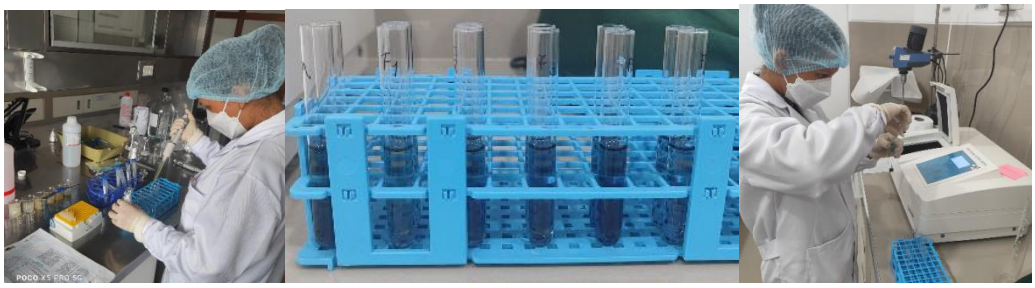
Anexo 12. *Determinando los resultados del método DPPH*



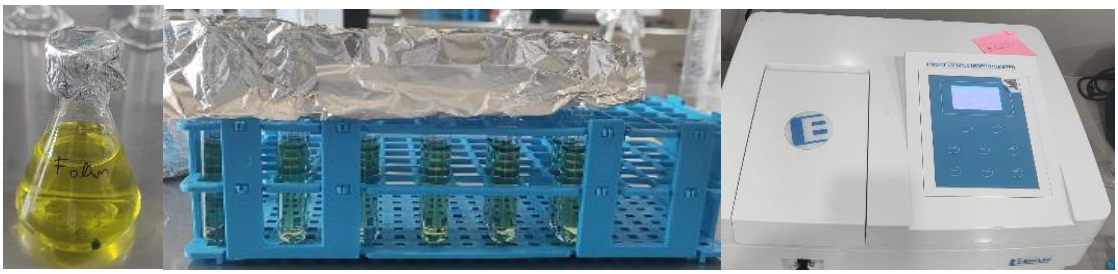
Anexo 13. *Determinando los resultados del método ABTS*



Anexo 14. *Determinando los resultados del método FRAP*



Anexo 15. *Determinando los resultados del método Folin Ciocalteu*



Anexo 16. *Consolidado de datos del método DPPH*

Tabla 8. *Resultados de método de DPPH*

Concentración (µM/L)	Abs R1	Abs R2	Abs R3	Promedio	Desvesta
25	0.735	0.696	0.702	0.711	0.021
100	0.634	0.644	0.638	0.639	0.005
200	0.579	0.576	0.565	0.573	0.007
300	0.507	0.493	0.505	0.502	0.008
400	0.455	0.442	0.432	0.443	0.012
500	0.37	0.38	0.375	0.375	0.005
600	0.304	0.305	0.303	0.304	0.001
700	0.269	0.256	0.256	0.260	0.008
800	0.207	0.194	0.202	0.201	0.007
900	0.134	0.123	0.127	0.128	0.006
1000	0.083	0.087	0.097	0.089	0.007

Figura 11. *Curva de calibración de DPPH*

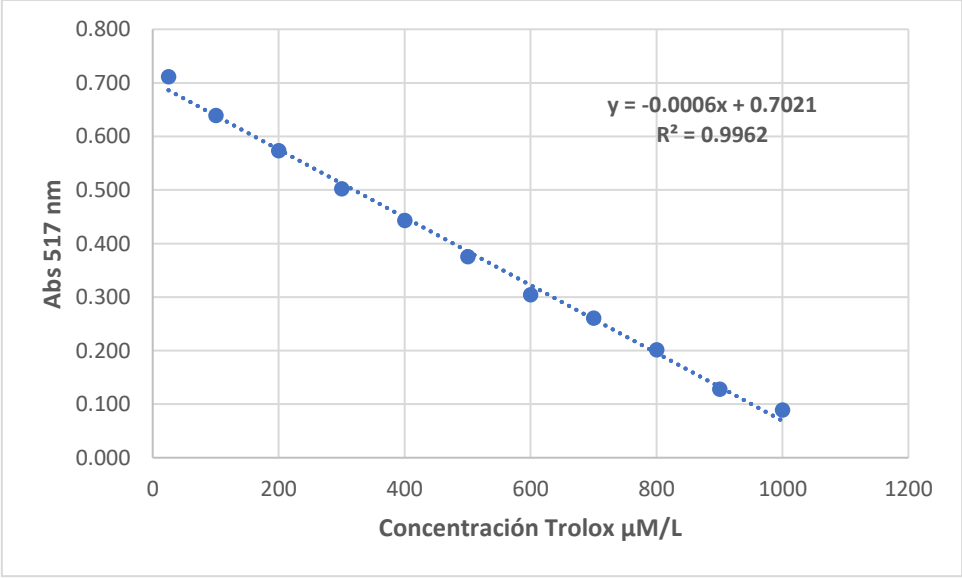


Tabla 9. *Datos de absorbancia con espectrometría.*

Muestra	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
M	0,484	0,494	0,438	0,464
F1	0,585	0,578	0,570	0,592
F2	0,609	0,592	0,599	0,660
F3	0,660	0,662	0,659	0,609
F4	0,583	0,554	0,570	0,567
F5	0,548	0,585	0,513	0,534

Anexo 17. *Consolidado de datos del método ABTS*

Tabla 10. *Resultados del método de ABTS*

Concentración (µM/L)	Abs R1	Abs R2	Abs R3	Promedio	Desvesta
25	0.668	0.68	0.672	0.673	0.006
200	0.612	0.605	0.607	0.608	0.004
400	0.572	0.572	0.572	0.572	0.000
600	0.498	0.51	0.513	0.507	0.008
800	0.442	0.449	0.443	0.445	0.004
1000	0.375	0.377	0.378	0.377	0.002
1200	0.345	0.342	0.344	0.344	0.002
1400	0.281	0.286	0.276	0.281	0.005
1600	0.238	0.235	0.229	0.234	0.005
1800	0.189	0.185	0.178	0.184	0.006
2000	0.095	0.091	0.106	0.097	0.008

Figura 12. *Curva de calibración de ABTS*

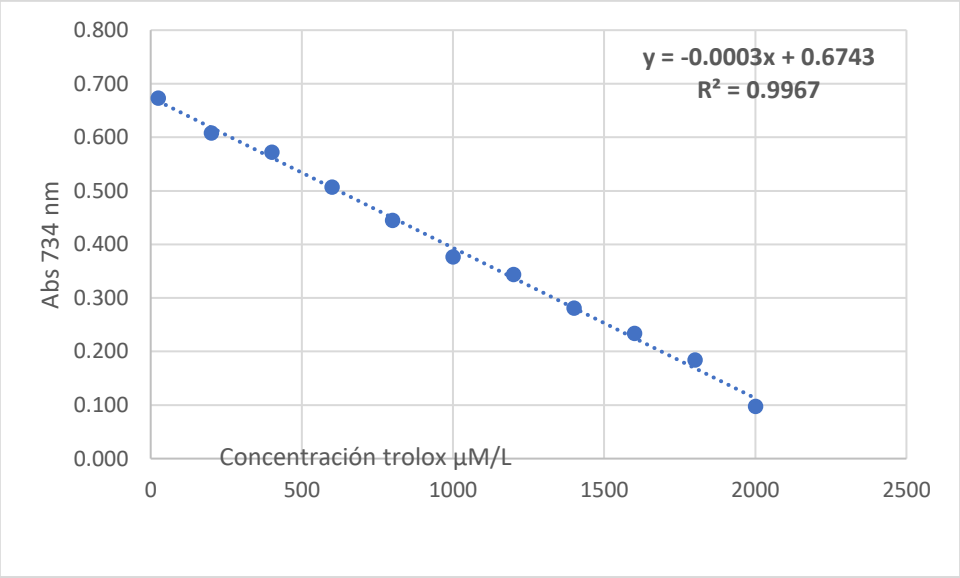


Tabla 11. *Datos de absorbancia con espectrómetro.*

Muestra	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
M	0,456	0,455	0,415	0,421
F1	0,547	0,542	0,540	0,537
F2	0,549	0,550	0,575	0,546
F3	0,574	0,571	0,562	0,569
F4	0,527	0,524	0,380	0,518
F5	0,511	0,502	0,511	0,523

Anexo 18. *Consolidado de datos del método FRAP*

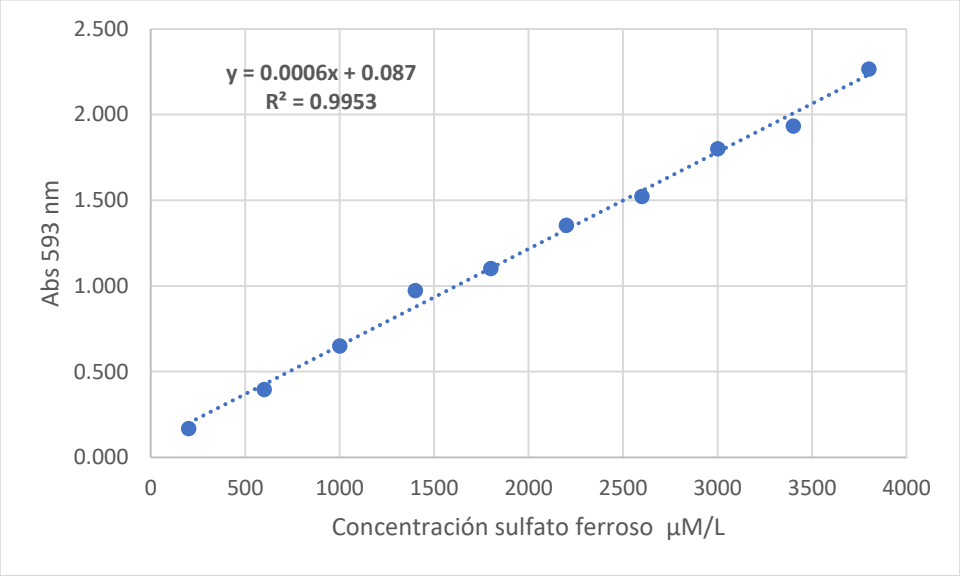
Tabla 12. *Resultados de FRAP*

Concentración µM	Abs R1	ABS R2	Abs R3	Promedio	Desvesta
200	0.166	0.169	0.17	0.168	0.00208167
600	0.39	0.393	0.407	0.397	0.00907377
1000	0.637	0.653	0.66	0.650	0.01178983
1400	0.971	0.999	0.951	0.974	0.02411086
1800	1.091	1.117	1.1	1.103	0.01320353
2200	1.374	1.318	1.369	1.354	0.03098925
2600	1.525	1.541	1.5	1.522	0.02066398
3000	1.755	1.757	1.889	1.800	0.0767941
3400	1.957	1.902	1.94	1.933	0.02816026
3800	2.257	2.25	2.289	2.265	0.02079263

Tabla 13. *Datos de absorbancia del Método de FRAP*

Muestra	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
M	0,689	0,759	0,792	0,771
F1	0,355	0,377	0,375	0,390
F2	0,349	0,371	0,379	0,385
F3	0,295	0,286	0,284	0,316
F4	0,391	0,411	0,421	0,402
F5	0,468	0,483	0,501	0,463

Figura 13. *Curva de calibración de FRAP*

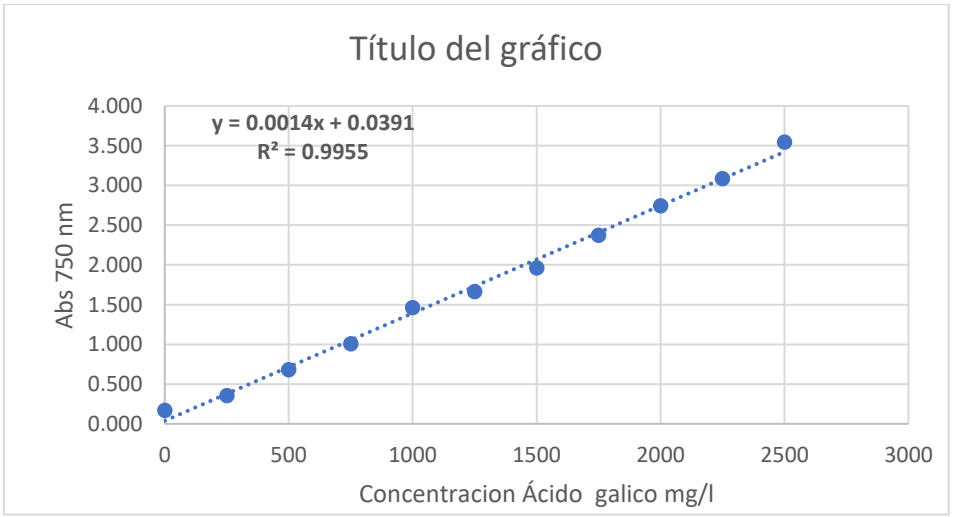


Anexo 19. *Consolidado de datos del método Folin Ciocalteou*

Tabla 14. *Datos de absorbancia del método de Folin Ciocalteou*

Muestra	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
M	0,529	0,621	0,641	0,756
F1	0,306	0,343	0,384	0,434
F2	0,402	0,482	0,407	0,421
F3	0,630	0,643	0,615	0,636
F4	0,836	0,897	0,842	0,864
F5	0,563	0,522	0,549	0,466

Figura 14. *Curva de calibración de Folin Ciocalteu*



Anexo 20. *Tabla madre de los datos fisicoquímicos del mucílago de cacao CCN-51*

Mucílago de cacao			
	Repetición 1	**Repetición 2**	**Repetición 3**
pH	3.301	3.299	3.304
Brix	16	15.9	16.1
Acidez	1.66	1.67	1.63

Anexo 20. *Tabla madre de los datos fisicoquímicos de las cinco formulaciones*

PH de las formulaciones			
Formulación	**Repetición 1**	**Repetición 2**	**Repetición 3**
F1	3.193	3.191	3.195
F2	3.120	3.118	3.122
F3	3.264	3.262	3.266
F4	3.311	3.309	3.313
F5	3.147	3.145	3.149

Grado Brix de las formulaciones			
Formulación	**Repetición 1**	**Repetición 2**	**Repetición 3**
F1	11.8	12.0	11.9
F2	12.3	12.4	12.2
F3	12.8	12.9	12.7
F4	13.5	13.4	13.6
F5	13.1	13.0	13.2

Acidez de las formulaciones			
Formulación	**Repetición 1**	**Repetición 2**	**Repetición 3**
F1	0.96	0.96	0.97
F2	0.96	0.95	0.96
F3	0.70	0.70	0.71
F4	0.83	0.83	0.84
F5	0.96	0.96	0.97

Anexo 21. *Personal de apoyo con la ingeniera encargada de laboratorio de UNTRM*



Anexo 22. *Formato de consentimiento informado para evaluación sensorial*

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPACIÓN EN EVALUACIÓN SENSORIAL

Usted está siendo cordialmente invitado(a) a participar en el proyecto de tesis titulado: **"Análisis de la capacidad antioxidante y de los compuestos fenólicos de un néctar a base de mucílago de cacao (*Theobroma cacao L.*) endulzado con miel de abeja (*Apis mellifera*)".**

Propósito del proyecto:
El presente estudio tiene como finalidad evaluar las características sensoriales (color, aroma, sabor y textura) y la aceptabilidad de un néctar elaborado a partir de mucílago de cacao y miel de abeja, con el fin de determinar la formulación más adecuada y contribuir al desarrollo de productos alimenticios innovadores y saludables.

Participantes:
La participación está dirigida a estudiantes de la Universidad Nacional de Jaén, quienes actuarán como evaluadores (catadores no entrenados) en la prueba sensorial.

Procedimiento:
Si usted acepta participar, se le solicitará degustar muestras codificadas del néctar elaborado. Posteriormente, deberá evaluar cada muestra según sus características sensoriales utilizando una ficha de evaluación con escala hedónica de 7 puntos.
La evaluación se llevará a cabo en el Laboratorio de Microbiología y Toxicología de Alimentos de la Carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, bajo condiciones adecuadas de higiene y control.

Riesgos:
La participación en este estudio no representa ningún riesgo para su salud, ya que el producto ha sido elaborado siguiendo normas de inocuidad alimentaria y en condiciones controladas de laboratorio.

Participación voluntaria:
Su participación es completamente voluntaria. Usted puede decidir no participar o retirarse en cualquier momento sin ningún tipo de consecuencia.

Confidencialidad:
La información obtenida será utilizada únicamente con fines académicos y se mantendrá en estricta confidencialidad.

DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO

Yo, _____, identificado(a) con DNI N.° _____, declaro que he sido informado(a) sobre el propósito, procedimiento y condiciones del estudio, y que:

☐ Sí, doy mi consentimiento para participar en la evaluación sensorial del producto.

☐ No, doy mi consentimiento para participar en la evaluación sensorial del producto.

Firma del participante: _____

Anexo 203. *Formato de evaluación sensorial*

PRUEBA DE MEDICIÓN SENSORIAL DEL NÉCTAR

Fecha:.....

Tesis: "Análisis de la capacidad antioxidante y de los compuestos fenólicos de un néctar a base de mucílago de cacao (*Theobroma cacao L.*) endulzado con miel de abeja (*Apis mellifera*)"

INSTRUCCIONES

Frente a usted se presentan 5 formulaciones con tres repeticiones cada muestra del néctar de mucílago de cacao (***Theobroma cacao L.***) endulzado con miel de abeja (***Apis mellifera***)". Por favor, observe y evalúe sensorialmente cada una de ellas, empezando de izquierda a derecha. Indique el grado de satisfacción de acuerdo a la escala hedónica de 7 puntos, según le gusta o disgusta cada atributo de cada muestra, de acuerdo al puntaje/categoría, evalúe cada atributo marcando con una "X" según su grado de agrado.

Nota: se recomienda enjuagarse la boca con agua antes y después de cada muestra.

Escala hedónica de 7 puntos	
Puntaje	**Categoría**
1	Me disgusta mucho
2	Me disgusta moderadamente
3	Me disgusta poco
4	Ni me gusta ni me disgusta
5	Me gusta poco
6	Me gusta moderadamente
7	Me gusta mucho

Muestra código: _____

Atributo	1	2	3	4	5	6	7
Sabor							
Aroma							
Color							
Textura							

Muestra código: _____

Atributo	1	2	3	4	5	6	7
Sabor							
Aroma							
Color							
Textura							

Muestra código: _____

Atributo	1	2	3	4	5	6	7
Sabor							
Aroma							
Color							
Textura							

Muestra código: _____

Atributo	1	2	3	4	5	6	7
Sabor							
Aroma							
Color							
Textura							

Muestra código: _____

Atributo	1	2	3	4	5	6	7
Sabor							
Aroma							
Color							
Textura							

Observaciones, comentarios y sugerencias del evaluador (a):

.....

_____

_____

_____

¡Gracias por su participación!

Anexo 21. *Registro fotográfico de la evaluación sensorial de panelista no entrenados*



Anexo 25. *Procesamiento de estadística descriptiva e inferencial*

Tabla A1. Estructura de los análisis

Bloque	Variables	Unidad analítica	Estructura
Fisicoquímica del mucílago	pH, °Brix, acidez	3 lotes	Descriptivo
Fisicoquímica de la bebida	pH, °Brix, acidez	3 lotes/F1–F5	DCA, un factor
Funcional	Folin, DPPH, ABTS, FRAP	4 lotes/M y F1–F5	DCA, un factor
Sensorial	Sabor, aroma, color, textura	137 consumidores	Medidas relacionadas
Multivariante	Folin, DPPH, ABTS, FRAP	24 lotes	PCA y agrupamiento

Nota. Los análisis fisicoquímicos corresponden a tres lotes independientes por formulación; las determinaciones antioxidantes, a cuatro lotes independientes.

A2. Entorno de análisis y criterios estadísticos

Tabla A2. Software empleado

Componente	Versión
Python	3.12
NumPy	2.3.5
pandas	2.2.3
SciPy	1.17.0
scikit-learn	1.7.2
openpyxl	3.1.5
matplotlib	3.10.6

Código A1. Importación y funciones generales

```
import numpy as np
import pandas as pd
from scipy import stats
from sklearn.decomposition import PCA
from scipy.cluster.hierarchy import linkage


alpha = 0.05


def holm_adjust(pvalues):
    pvalues = np.asarray(pvalues, float)
    order = np.argsort(pvalues)
    adjusted = np.empty_like(pvalues)
    running = 0.0
    for rank, idx in enumerate(order):
        running = max(running, (len(pvalues) - rank) * pvalues[idx])
        adjusted[idx] = min(running, 1.0)
    return adjusted
```

A3. Propiedades fisicoquímicas

A3.1. pH

Tabla A3.1. Estadística descriptiva de pH (pH)

Muestra	n	Media	DE	CV (%)	IC95 inferior	IC95 superior	Grupo
F1	3.0000	3.1930	0.0020	0.0626	3.1880	3.1980	c

Muestra	n	Media	DE	CV (%)	IC95 inferior	IC95 superior	Grupo
F2	3.000 0	3.1200	0.0020	0.0641	3.1150	3.1250	e
F3	3.000 0	3.2640	0.0020	0.0613	3.2590	3.2690	b
F4	3.000 0	3.3110	0.0020	0.0604	3.3060	3.3160	a
F5	3.000 0	3.1470	0.0020	0.0636	3.1420	3.1520	d

Tabla A3.4. Supuestos, ANOVA y tamaño del efecto

Estadístico	Resultado
Shapiro W	0.8046
Shapiro p	0.0042
Levene F	0.0000
Levene p	1.0000
ANOVA F	4768.1250
ANOVA p	<0.001
gl1	4.0000
gl2	10.0000
eta2	0.9995
omega2	0.9992

A3.2. Brix

Tabla A3.2. Estadística descriptiva de Brix (°Brix)

Muestra	n	Media	DE	CV (%)	IC95 inferior	IC95 superior	Grupo
F1	3.000 0	11.9000	0.1000	0.8403	11.6516	12.1484	e
F2	3.000 0	12.3000	0.1000	0.8130	12.0516	12.5484	d
F3	3.000 0	12.8000	0.1000	0.7813	12.5516	13.0484	c
F4	3.000 0	13.5000	0.1000	0.7407	13.2516	13.7484	a
F5	3.000 0	13.1000	0.1000	0.7634	12.8516	13.3484	b

Tabla A3.5. Supuestos, ANOVA y tamaño del efecto

Estadístico	Resultado
Shapiro W	0.8046
Shapiro p	0.0042
Levene F	<0.001
Levene p	1.0000
ANOVA F	120.6000

Estadístico	Resultado
ANOVA p	<0.001
gl1	4.0000
gl2	10.0000
eta2	0.9797
omega2	0.9696

A3.3. Acidez

Tabla A3.3. Estadística descriptiva de Acidez (%)

Muestra	n	Media	DE	CV (%)	IC95 inferior	IC95 superior	Grupo
F1	3.0000	0.9633	0.0058	0.5993	0.9490	0.9777	a
F2	3.0000	0.9567	0.0058	0.6035	0.9423	0.9710	a
F3	3.0000	0.7033	0.0058	0.8209	0.6890	0.7177	c
F4	3.0000	0.8333	0.0058	0.6928	0.8190	0.8477	b
F5	3.0000	0.9633	0.0058	0.5993	0.9490	0.9777	a

Tabla A3.6. Supuestos, ANOVA y tamaño del efecto

Estadístico	Resultado
Shapiro W	0.7713
Shapiro p	0.0016
Levene F	0.0000
Levene p	1.0000
ANOVA F	1194.2000
ANOVA p	<0.001
gl1	4.0000
gl2	10.0000
eta2	0.9979
omega2	0.9969

Nota. En las variables fisicoquímicas, Shapiro–Wilk resultó significativo por el patrón discreto y simétrico de solo tres mediciones por grupo. Se mantuvo ANOVA por el diseño balanceado, la igualdad de varianzas y la separación amplia entre medias; esta decisión debe interpretarse junto con el reducido n por formulación.

Código A2. ANOVA, tamaños del efecto y Tukey

```
arrays = [np.asarray(groups[g], float) for g in groups]
anova = stats.f_oneway(*arrays)
levene = stats.levene(*arrays, center="median")
tukey = stats.tukey_hsd(*arrays)


observed = np.concatenate(arrays)
grand = observed.mean()
ss_between = sum(len(x) * (x.mean() - grand)**2 for x in arrays)
ss_total = sum((observed - grand)**2)
eta2 = ss_between / ss_total
```

A4. Curvas de calibración

Código A3. Conversión de absorbancia a resultado final

```
concentracion = (absorbancia - intercepto) / pendiente
resultado = concentracion * factor_extraccion


# Factores utilizados:
# Folin 1:50 -> 0.05; DPPH 1:100 -> 0.10
# ABTS 1:5 -> 0.005; FRAP 1:50 -> 0.05
```

A5. Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante

A5.1. Compuestos fenólicos totales (mg GAE/g)

Tabla A5.1. Estadística descriptiva de Fenoles

Muestra	n	Media	DE	CV (%)	IC95 inferior	IC95 superior	Grupo
M	4.000	44.160	6.891	15.605	33.195	55.126	b
F1	4.000	24.211	4.064	16.785	17.745	30.677	d
F2	4.000	28.736	2.725	9.484	24.400	33.073	cd
F3	4.000	43.736	0.880	2.013	42.334	45.137	b
F4	4.000	60.637	2.039	3.363	57.393	63.882	a
F5	4.000	35.903	3.167	8.820	30.865	40.942	bc

Tabla A5.7. Supuestos, ANOVA y tamaño del efecto de Fenoles

Estadístico	Resultado
Shapiro W	0.9576
Shapiro p	0.3914
Levene F	1.3454
Levene p	0.2905
ANOVA F	47.1689
ANOVA p	<0.001
gl1	5.0000
gl2	18.0000
eta2	0.9291
omega2	0.9058

Tabla A5.10. Comparaciones significativas de Tukey para Fenoles

Comparación	Diferencia	p ajustado
M–F1	19.9495	<0.001
M–F2	15.4239	<0.001
M–F4	-16.4768	<0.001
F1–F3	-19.5246	<0.001
F1–F4	-36.4263	<0.001

Comparación	Diferencia	p ajustado
F1–F5	-11.6926	0.0043
F2–F3	-14.9991	<0.001
F2–F4	-31.9007	<0.001
F3–F4	-16.9016	<0.001
F4–F5	24.7337	<0.001

A5.2. DPPH (µmol TE/g)

Tabla A5.2. Estadística descriptiva de DPPH

Muestra	n	Media	DE	CV (%)	IC95 inferior	IC95 superior	Grupo
M	4.000	36.658	3.903	10.648	30.447	42.869	a
F1	4.000	19.086	1.489	7.803	16.716	21.456	bc
F2	4.000	13.755	4.865	35.367	6.014	21.497	cd
F3	4.000	8.622	4.059	47.074	2.164	15.081	d
F4	4.000	21.100	1.880	8.910	18.109	24.092	bc
F5	4.000	24.812	4.786	19.288	17.197	32.427	b

Tabla A5.8. Supuestos, ANOVA y tamaño del efecto de DPPH

Estadístico	Resultado
Shapiro W	0.9754
Shapiro p	0.7976
Levene F	0.5166
Levene p	0.7604
ANOVA F	26.7576
ANOVA p	<0.001
gl1	5.0000
gl2	18.0000
eta2	0.8814
omega2	0.8429

Tabla A5.11. Comparaciones significativas de Tukey para DPPH

Comparación	Diferencia	p ajustado
M–F1	17.5718	<0.001
M–F2	22.9026	<0.001
M–F3	28.0359	<0.001
M–F4	15.5579	<0.001

Comparación	Diferencia	p ajustado
M–F5	11.8461	0.0034
F1–F3	10.4641	0.0102
F2–F5	-11.0564	0.0063
F3–F4	-12.4779	0.0020
F3–F5	-16.1897	<0.001

A5.3. ABTS (µmol TE/g)

Tabla A5.3. Estadística descriptiva de ABTS

Muestra	n	Media	DE	CV (%)	IC95 inferior	IC95 superior	Grupo
M	4.000	4.230	0.388	9.174	3.613	4.848	a
F1	4.000	2.365	0.075	3.165	2.246	2.484	ab
F2	4.000	2.124	0.239	11.266	1.744	2.505	b
F3	4.000	1.875	0.091	4.842	1.731	2.020	b
F4	4.000	3.331	1.275	38.276	1.302	5.360	ab
F5	4.000	2.895	0.153	5.301	2.650	3.139	ab

Tabla A5.5. Prueba global de ABTS

Estadístico	Resultado
Kruskal–Wallis H	20.2688
gl	5.0000
p	0.0011
ε^2	0.8483

Tabla A5.6. Comparaciones significativas de Dunn–Holm

Comparación	z	p	p ajustado Holm
M–F2	3.1507	0.0016	0.0228
M–F3	3.6008	<0.001	0.0048

A5.4. FRAP (µmol Fe^{2+}/g)

Tabla A5.4. Estadística descriptiva de FRAP

Muestra	n	Media	DE	CV (%)	IC95 inferior	IC95 superior	Grupo
M	4.000	58.938	3.952	6.705	52.650	65.226	a
F1	4.000	25.429	1.280	5.032	23.393	27.465	c
F2	4.000	25.141	1.394	5.545	22.923	27.359	c
F3	4.000	18.435	1.296	7.029	16.373	20.497	d

Muestra	n	Media	DE	CV (%)	IC95 inferior	IC95 superior	Grupo
F4	4.000	28.262	1.132	4.007	26.460	30.063	c
F5	4.000	34.680	1.513	4.364	32.272	37.088	b

Tabla A5.10. Supuestos, ANOVA y tamaño del efecto de FRAP

Estadístico	Resultado
Shapiro W	0.9241
Shapiro p	0.0719
Levene F	0.8939
Levene p	0.5059
ANOVA F	200.4266
ANOVA p	<0.001
gl1	5.0000
gl2	18.0000
eta2	0.9824
omega2	0.9765

Tabla A5.13. Comparaciones significativas de Tukey para FRAP

Comparación	Diferencia	p ajustado
M–F1	33.5091	<0.001
M–F2	33.7968	<0.001
M–F3	40.5030	<0.001
M–F4	30.6761	<0.001
M–F5	24.2575	<0.001
F1–F3	6.9940	0.0014
F1–F5	-9.2515	<0.001
F2–F3	6.7062	0.0021
F2–F5	-9.5392	<0.001
F3–F4	-9.8270	<0.001
F3–F5	-16.2455	<0.001
F4–F5	-6.4185	0.0032

Código A4. Kruskal–Wallis, Dunn y ajuste de Holm para ABTS

```
kw = stats.kruskal(*[groups[g] for g in sample_names])
epsilon2 = (kw.statistic - k + 1) / (N - k)


# Dunn: diferencia de rangos medios / error estándar con corrección por empates
z = (mean_rank_a - mean_rank_b) / se
p = 2 * stats.norm.sf(abs(z))
p_holm = holm_adjust(pvalues)
```

A6. Evaluación sensorial

Tabla A6.1. Descriptivos por atributo sensorial

Formulación	Atributo	n	Media	DE	Mediana	Q1	Q3	Aceptación_pct	Letra
F1	Sabor	137.00	3.83	1.60	4.00	3.00	5.00	33.58	d
F1	Aroma	137.00	3.97	1.55	4.00	3.00	5.00	43.07	c
F1	Color	137.00	4.40	1.53	5.00	4.00	5.00	53.28	c
F1	Textura	137.00	4.62	1.42	5.00	3.00	6.00	56.93	c
F2	Sabor	137.00	4.87	1.41	5.00	4.00	6.00	66.42	b
F2	Aroma	137.00	4.76	1.49	5.00	4.00	6.00	62.77	b
F2	Color	137.00	4.87	1.45	5.00	4.00	6.00	67.88	b
F2	Textura	137.00	5.15	1.38	5.00	4.00	6.00	73.72	b
F3	Sabor	135.00	5.45	1.45	6.00	5.00	6.00	82.96	a
F3	Aroma	135.00	5.47	1.51	6.00	5.00	7.00	77.78	a
F3	Color	135.00	5.66	1.40	6.00	5.00	7.00	84.44	a
F3	Textura	135.00	5.79	1.23	6.00	5.00	7.00	85.19	a
F4	Sabor	137.00	4.45	1.66	5.00	3.00	6.00	54.01	c
F4	Aroma	137.00	4.62	1.36	5.00	4.00	5.00	59.12	b
F4	Color	137.00	4.86	1.47	5.00	4.00	6.00	71.53	b
F4	Textura	137.00	5.03	1.37	5.00	4.00	6.00	68.61	b
F5	Sabor	137.00	4.97	1.64	5.00	4.00	6.00	62.77	b
F5	Aroma	137.00	4.77	1.46	5.00	4.00	6.00	64.23	b
F5	Color	137.00	4.82	1.49	5.00	4.00	6.00	65.69	b
F5	Textura	137.00	5.04	1.51	5.00	4.00	6.00	65.69	b

Tabla A6.2. Aceptación global y consistencia interna

Formulación	n	Media	DE	Mediana	Q1	Q3	IC95_inf	IC95_sup	Aceptación_pct	Letra	Alpha_Cronbach
F1	137.000	4.206	1.270	4.250	3.500	5.000	3.996	4.425	30.657	c	0.853
F2	137.000	4.912	1.226	5.250	4.500	5.750	4.708	5.109	59.854	b	0.878
F3	135.000	5.593	1.235	6.000	5.375	6.500	5.381	5.793	81.481	a	0.904
F4	137.000	4.739	1.234	4.750	4.000	5.500	4.529	4.943	48.905	b	0.861
F5	137.000	4.898	1.270	5.000	4.250	5.750	4.679	5.104	52.555	b	0.853

Tabla A6.3. *Mediana y rango intercuartílico de la aceptación global*

Formulación	Mediana	Rango intercuartílico	IC del 95 % de la media	α de Cronbach
F1	4.25	3.50–5.00	4.00–4.43	0.853
F2	5.25	4.50–5.75	4.71–5.11	0.878
F3	6	5.38–6.50	5.38–5.79	0.904
F4	4.75	4.00–5.50	4.53–4.94	0.861
F5	5	4.25–5.75	4.68–5.10	0.853

Tabla A6.4. *Comparación de las formulaciones mediante la prueba de Friedman*

Variable	n	χ2 de Friedman	p	W de Kendall
Sabor	135	96.61	<0.001	0.179
Aroma	135	93.22	<0.001	0.173
Color	135	88.24	<0.001	0.163
Textura	135	74.85	<0.001	0.139
Aceptación global	135	107.43	<0.001	0.199

Nota. *W*: coeficiente de concordancia de Kendall.

Tabla A6.3. Pruebas de Friedman y W de Kendall

Variable	n	Chi-cuadrado	gl	p	W de Kendall
Sabor	135.0000	96.6113	4.0000	<0.001	0.1789
Aroma	135.0000	93.2227	4.0000	<0.001	0.1726
Color	135.0000	88.2401	4.0000	<0.001	0.1634
Textura	135.0000	74.8504	4.0000	<0.001	0.1386
Aceptación global	135.0000	107.4314	4.0000	<0.001	0.1989

Tabla A6.4. Wilcoxon–Holm para aceptación global

Comparación	W	p	p ajustado Holm
F1–F2	2042.0000	<0.001	<0.001
F1–F3	516.0000	<0.001	<0.001
F1–F4	2226.0000	<0.001	<0.001
F1–F5	1799.0000	<0.001	<0.001
F2–F3	1464.5000	<0.001	<0.001
F2–F4	3678.5000	0.2842	0.5684
F2–F5	3871.5000	0.9930	0.9930
F3–F4	1177.0000	<0.001	<0.001
F3–F5	1891.0000	<0.001	<0.001
F4–F5	2648.5000	0.1755	0.5264

Código A5. Friedman, Wilcoxon pareado y alfa de Cronbach

```
friedman = stats.friedmanchisquare(*[frame[f] for f in formulations])
kendall_w = friedman.statistic / (n * (len(formulations) - 1))


for a, b in combinations(formulations, 2):
    wil = stats.wilcoxon(frame[a], frame[b], zero_method="wilcox")
adjusted = holm_adjust(raw_pvalues)


def cronbach_alpha(x):
    x = x.dropna().to_numpy(float)
    k = x.shape[1]
    return k/(k-1) * (1 - x.var(0, ddof=1).sum()/x.sum(1).var(ddof=1))
```

A7. Correlaciones

Tabla A7. Correlaciones globales y centradas por muestra

Variables	rho global	p global	rho centrado	p centrado	q BH
Fenoles–DPPH	0.2381	0.2626	0.2826	0.1809	0.2171
Fenoles–ABTS	0.3518	0.0918	0.2992	0.1555	0.2171
Fenoles–FRAP	0.2687	0.2042	0.5574	0.0047	0.0280
DPPH–ABTS	0.8542	<0.001	0.0604	0.7790	0.7790
DPPH–FRAP	0.8797	<0.001	0.3583	0.0856	0.1712
ABTS–FRAP	0.9106	<0.001	0.4140	0.0443	0.1329

Nota. Las correlaciones centradas se calcularon restando a cada lote la media de su muestra. Los valores q corresponden al ajuste de Benjamini–Hochberg.

Código A6. Correlaciones de Spearman globales y centradas

```
rho_global, p_global = stats.spearmanr(df[var_a], df[var_b])


centered = df.copy()
centered[variables] = (
    df[variables] - df.groupby("Muestra")[variables].transform("mean")
)
rho_centered, p_centered = stats.spearmanr(
    centered[var_a], centered[var_b]
)
qvalues = stats.false_discovery_control(pvalues, method="bh")
```

A8. Análisis de componentes principales

Tabla A8.1. Varianza explicada por el PCA

Componente	Varianza (%)	Acumulada (%)
PC1	68.911	68.911
PC2	23.554	92.465
PC3	5.249	97.714
PC4	2.286	100.000

Tabla A8.2. Cargas correlacionales

Variable	PC1	PC2
Fenoles	0.4123	0.9027
DPPH	0.9262	-0.2423
ABTS	0.9227	0.0896
FRAP	0.9367	-0.2460

Tabla A8.3. Centroides de las muestras

Muestra	PC1	PC2
M	2.987	-0.449
F1	-0.918	-1.014
F2	-1.290	-0.559
F3	-1.719	0.783
F4	0.598	1.662

Muestra	PC1	PC2
F5	0.342	-0.423

Código A7. Estandarización y PCA

```
X = df[["Fenoles", "DPPH", "ABTS", "FRAP"]].to_numpy(float)
Z = (X - X.mean(axis=0)) / X.std(axis=0, ddof=1)
pca = PCA(n_components=4).fit(Z)
scores = pca.transform(Z)
explained = pca.explained_variance_ratio_ * 100
loadings = corr(Z, scores)
```

A9. Agrupamiento jerárquico

Tabla A9. Matriz de enlace del agrupamiento de Ward

Grupo 1	Grupo 2	Distancia	n
1.0000	2.0000	0.7743	2.0000
5.0000	6.0000	1.9008	3.0000
3.0000	7.0000	2.4402	4.0000
4.0000	8.0000	3.4061	5.0000
0.0000	9.0000	5.1217	6.0000

Código A8. Agrupamiento jerárquico

```
means = df.groupby("Muestra")[variables].mean()
Zmeans = (means - means.mean()) / means.std(ddof=0)
tree = linkage(Zmeans, method="ward", metric="euclidean")
```

A10. Integración funcional y sensorial

Tabla A10. Índices exploratorios normalizados

Formulación	Aceptación global	Índice antioxidante (%)	Fenoles normalizados (%)	Índice funcional (%)
F1	4.21	73.75	39.93	65.29
F2	4.91	63.91	47.39	59.78
F3	5.59	48.06	72.13	54.08
F4	4.74	88.84	100.00	91.63
F5	4.90	95.63	59.21	86.53

Código A9. Cálculo de los índices

```
normalized = means / means.max(axis=0) * 100
antioxidant_index = normalized[["DPPH", "ABTS", "FRAP"]].mean(axis=1)
functional_index = normalized[
    ["Fenoles", "DPPH", "ABTS", "FRAP"]
].mean(axis=1)
```

Nota. Los índices son descriptivos, dependen del máximo observado entre F1–F5 y no sustituyen las comparaciones inferenciales de cada método.

A11. Correspondencia entre análisis y resultados reportados

Tabla A11. Trazabilidad de los análisis

Respuesta	Procedimiento	Salida principal	Estado
pH	ANOVA + Tukey	$F(4,10)=4768.13$; $p<0.001$	Reportado
°Brix	ANOVA + Tukey	$F(4,10)=120.60$; $p<0.001$	Reportado
Acidez	ANOVA + Tukey	$F(4,10)=1194.20$; $p<0.001$	Reportado
Fenoles	ANOVA + Tukey	$F(5,18)=47.17$; $p<0.001$	Reportado
DPPH	ANOVA + Tukey	$F(5,18)=26.76$; $p<0.001$	Reportado
ABTS	Kruskal–Wallis + Dunn	$H(5)=20.27$; $p=0.001$	Reportado
FRAP	ANOVA + Tukey	$F(5,18)=200.43$; $p<0.001$	Reportado
Sensorial	Friedman + Wilcoxon	$p<0.001$ en las cinco respuestas	Reportado
Correlaciones	Spearman	24 lotes	Reportado
PCA	Variables estandarizadas	PC1+PC2=92.47 %	Reportado

Anexo 22. *Autorización del comité de ética*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

LEY DE CREACION 29304. RESOLUCIÓN DEL CONSEJO DIRECTIVO N°002-2018-SUNEDU/CD

VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN
COMITÉ DE ÉTICA

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Jaén, 21 de mayo del 2026

INFORME N° 006-2026 / VPI–UNJ/ CE

CONSTANCIA DE APROBACIÓN DE PROYECTO

COMITÉ DE ÉTICA PARA LA INVESTIGACION-UNJ

El presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Nacional de Jaén hace constar que el proyecto de tesis titulado: **"ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS DE UN NÉCTAR A BASE DE MUCÍLAGO DE CACAO (Theobroma cacao L.) ENDULZADO CON MIEL DE ABEJA (Apis mellífera)"**, presentado por las bachilleres **Delcy Yaqueliny Bazan Guevara, Luz Veide Bazan Guevara,** ha sido analizado y aprobado en base al código de ética en investigación científica de la Universidad Nacional de Jaén que cuenta con resolución RCO N°065-2025 CCO-UNJ.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN – VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN

Dr. JUAN DARIO RIOS MERA
Presidente del Comité de Ética en Investigación
Universidad Nacional de Jaén

SOLIDARIA - **SALUDABLE** - SOSTENIBLE
www.unj.edu.pe
CONTACTO
EMAIL
comite.etica@unj.edu.pe
DIRECCIÓN
Carretera [illegible]