

Valorización de los coproductos del cacao (*Theobroma cacao*) en la producción sostenible de vinagre

Valorization of cocoa by-products (Theobroma cacao) in the sustainable production of vinegar

Madeline Yamilex Alava Argoti

madeline.alava5909@utc.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0009-0116-9223>

Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión la Maná
Ecuador- La Maná

Senyi Jovetzi López Sánchez

senyi.lopez7491@utc.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-1870-2724>

Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión la Maná
Ecuador- La Maná

Evelyn Andrea Rivera Toapanta

evelyn.rivera6209@utc.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-5580-8467>

Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión la Maná
Ecuador- La Maná

Gissela Marjorie Casco Toapanta

marjorie.casco7525@utc.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9868-9023>

Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión la Maná
Ecuador- La Maná

Fabricio Armando Guzmán Acán

<https://orcid.org/0009-0004-5658-5498>

fabricio.guzman4788@utc.edu.ec

Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión la Maná
Ecuador- La Maná

Artículo recibido: 20 noviembre 2024 - Aceptado para publicación: 26 diciembre 2024
Conflictos de intereses: Ninguno que declarar

RESUMEN

Ecuador es uno de los principales productores de cacao, pero su industria enfrenta desafíos relacionados con la gestión de subproductos, como el mucílago y la placenta de cacao. Este estudio se centra en la valorización de estos subproductos mediante la producción de vinagre. Se recolectaron 102 mazorcas de cacao CCN-51 en el cantón La Maná, provincia de Cotopaxi-Ecuador, donde se extrajeron el mucílago y la placenta, materiales ricos en azúcares y polifenoles. Se diseñaron biorreactores artesanales para llevar a cabo un proceso de fermentación controlada con dos tipos de levaduras (*Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces bayanus*), durante 82 días. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos como °Brix, pH, acidez total, cenizas y polifenoles totales. Además, se realizó análisis microbiológicos para garantizar la inocuidad del producto. Los resultados mostraron que el vinagre de cacao obtenido tiene características sensoriales aceptables y valores fisicoquímicos dentro de los rangos esperados para vinagres comerciales. No se detectaron colonias de *Escherichia coli* y coliformes. Los mohos, levaduras y aerobios mesófilos estaban dentro del límite permitido, confirmando su seguridad alimentaria. Este proyecto plantea la producción de vinagre como una solución innovadora para reducir el impacto ambiental de los subproductos del cacao, mientras se generan nuevas oportunidades económicas en Ecuador.

Palabras clave: cacao, ccn-51, mucílago, vinagre, polifenoles

ABSTRACT

Ecuador is a major cocoa producer, but its industry faces challenges in managing by-products, such as cocoa exudate and placenta. This study focuses on the valorization of these by-products through vinegar production. 102 CCN51 cocoa cobs were collected in the canton of La Maná, Cotopaxi province- Ecuador, where the mucilage and placenta, materials rich in sugars and polyphenols, were extracted. Handmade bioreactors were designed to carry out a controlled fermentation process with two types of yeast (*Saccharomyces cerevisiae* and *Saccharomyces bayanus*) for 82 days. Physicochemical parameters such as °Brix, pH, total acidity, ash and polyphenols were evaluated. In addition, microbiological analyses were carried out to guarantee the product's safety. The results showed that the cocoa vinegar obtained has acceptable sensory characteristics and physicochemical values within the expected ranges for commercial vinegar. *Escherichia coli* and coliform colonies were not detected. Molds and yeasts and mesophilic aerobes were within the permitted limit, confirming their food safety. This project proposes vinegar production as an innovative solution to reduce the environmental impact of cocoa by-products while generating new economic opportunities in Ecuador.

Keywords: cocoa, ccn-51, mucilage, vinegar, polyphenols

INTRODUCCIÓN

La industria cacaotera enfrenta un cambio latente por la gestión ineficiente de sus subproductos (Amanta & Teneda, 2022). La crisis de sostenibilidad en la industria alimentaria exige reducir el desperdicio y adoptar prácticas responsables (Macas et al., 2022). La falta de iniciativas para valorizar estos subproductos limita el desarrollo sostenible y restringe el potencial económico y ambiental del sector (Gómez-Molina et al, 2019).

Según los datos del INEC (2023), el Cacao representa el 41.3 % de la superficie total plantada, y la industria cacaotera en ciertas regiones enfrenta una crisis latente por la gestión ineficiente de sus subproductos (Amanta & Teneda, 2022). Se destaca la relevancia del cacao CCN-51, una variedad clave en la industria cacaotera ecuatoriana por su alta producción y valor económico (Béjar & Espinoza, 2023).

El mucílago de cacao y la placenta son subproductos generados durante el procesamiento de semillas y representan una carga ambiental y económica para los productores locales (Calvache et al., 2023). La falta de valor agregado de estos subproductos provoca la pérdida de recursos y limita la diversificación económica en las áreas productoras (Molina-Cedeño et al., 2020).

El mucílago de cacao es un líquido rico en nutrientes, generalmente se pierde durante la fermentación de los granos de cacao (Saavedra et al., 2021). Además, el mucílago contiene hasta un 15% en peso de azúcares simples y ácidos orgánicos (Aldana et al., 2023).

Alava (2020), demostró que el mucílago de cacao, que contiene 10-15% de azúcar, 1% de pectina y 1.5% de ácido cítrico, es crucial para la fermentación de las almendras, estimó que el 5-7% del mucílago drena como mucílago dado, ofreciendo así una oportunidad para valorizarlo en la producción de vinagre. El cacao es una fuente de antioxidantes y polifenoles, contiene entre 4 y 6 % de estas sustancias (Chacón Ortiz et al., 2021).

Actualmente, en el mundo se busca investigar y desarrollar soluciones innovadoras para la valorización de los subproductos cacaoteros alineados a los objetivos de desarrollo sostenible, como fomentar el crecimiento económico (ODS 8) y la producción y consumos sostenibles (ODS 12) en las zonas de producción. Por ello, surge la necesidad de valorizar subproductos del cacao, como el mucílago y la placenta, para producir vinagre. Esta alternativa reduciría el impacto ambiental de la industria cacaotera y generaría nuevas oportunidades económicas en regiones productoras de cacao en Ecuador. La elaboración de vinagre ha progresado continuamente, impulsada por la búsqueda de innovaciones y la integración de ingredientes locales que brindan productos saludables y sostenibles (Abraham et al., 2020).

El objetivo de esta investigación fue elaborar vinagres a base de mucílago y la placenta de cacao como materia prima provenientes del Cantón La Maná, evaluando sus propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales. Asimismo, se busca investigar y desarrollar soluciones innovadoras sostenibles para la valorización de los subproductos del cacao, promoviendo el crecimiento económico y producción local.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en el laboratorio de Química de la Carrera de Agroindustria de la Universidad Técnica de Cotopaxi - Extensión La Maná. La materia prima (cacao) fue recolectada en la finca "Don Alava", ubicada en el recinto Chipe Hamburgo, cantón La Maná, provincia de Cotopaxi, Ecuador. Esta zona se caracteriza por un clima tropical húmedo (72-89%), con condiciones ideales para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*). Esta diversidad de suelos genera diferencias en la composición química del cacao, lo que influye en la calidad final del vinagre.

Se recolectaron un total de 102 mazorcas de cacao en su punto de maduración óptimo y se dividieron en dos grupos iguales con 51 mazorcas para realizar dos grupos de tratamientos. Las mazorcas fueron seleccionadas (tamaño, grado de madurez, sin daños de insectos o mecánicos), de acuerdo con el protocolo de manejo de cacao en baba (Red cacaotera, 2020), conjunto con la norma calidad del grano de cacao (NTE INEN 176, 2016). Descartando aquellas que presentaban signos de enfermedad o daño por plagas (El Salous et al., 2020). Se procedió a la apertura de las mazorcas, extrayendo cuidadosamente las semillas de cacao junto con la placenta. Se utilizó un triturador para procesar el mucílago y la placenta, permitiendo la liberación de compuestos fenólicos y azúcares necesarios para la fermentación del vinagre.

Se utilizaron 12 biorreactores artesanales de envases plásticos (4 litros), equipados con llaves de drenaje. Los biorreactores fueron sellados herméticamente para evitar la entrada de oxígeno y conectados a un sistema de trampa de agua, el cual estaba compuesto por un tubo que permitió la salida de CO₂ generado durante la fermentación, evitando la presión interna excesiva (Coronel et al., 2023).

Se prepararon 12 biorreactores distribuidos en dos grupos con dos tipos de levadura. El primer grupo¹ (G1) fue inoculado con la levadura *Saccharomyces bayanus* (SB), mientras que el segundo grupo² (G2) se utilizó levadura *Saccharomyces cerevisiae* (SC). Para el proceso de fermentación se le agregó 1.5 L de mosto (M) obtenido del mucílago y la placenta del cacao para cada biorreactor, 45g de azúcar (A) a seis biorreactores y 45 g de panela (P) a los otros seis biorreactores, 2.5 g de levadura y 150 mg de metabisulfito de sodio (MS) a cada biorreactor. Para poder estabilizar el medio y prevenir la proliferación de bacterias no deseadas (Coronel et al., 2023).

Se dividió en cuatro tratamientos con tres replicas que fueron las siguientes

(G₁) T₁: 1.5 L (M), 45 g (P), 2.5 g (SB), 150 mg (MS).

(G₁) T₂: 1.5 L (M), 45 g (A), 2.5 g (SB), 150 mg (MS).

(G₂) T₃: 1.5 L (M), 45 g (P), 2.5 g (SC), 150 mg (MS).

(G₂) T₄: 1.5 L (M), 45 g (A), 2.5 g (SC), 150 mg (MS).

Se realizó una corrección de los sólidos solubles totales (°Brix) en los cuatro tratamientos en el primer día, utilizando edulcorantes como azúcar y panela. Esta corrección permitió alcanzar los °Brix deseados (30-40%), lo cual es crucial para la fermentación alcohólica y acética

Se realizó una fermentación acética durante 82 días en los biorreactores, con muestreos realizados cada dos días. Al finalizar, los cuatro tratamientos de vinagre obtenidos fueron filtrados y almacenados a una temperatura de refrigeración de 4°C, con el propósito de detener la fermentación y preservar sus características hasta la realización de la prueba sensorial.

En la **Figura 1** se muestra el diagrama de proceso para la elaboración de vinagres conforme a la norma (INEN 2296, 2013).

Figura 1

Diagrama de flujo de los análisis fisicoquímicos de la materia prima y los diferentes vinagres innovadores

Análisis fisicoquímicos de la materia prima (cacao)

Se evaluaron los siguientes parámetros de la materia prima (mazorca del cacao) como longitud, diámetro, peso, sólidos solubles totales (°Brix), pH, conductividad, y porcentaje de humedad.

La medición de longitud y diámetro se utilizó un calibrador (BP,00259) que nos permitió tomar medidas exactas a cada mazorca. El peso de la mazorca de cacao se midió utilizando una balanza de precisión de 0.01 gramos (OPTIKA, I1002).

Para la determinación °Brix se utilizó un refractómetro digital marca (BOECO, Germany) de acuerdo con la normativa (NTE INEN 265, 1979). El pH se determinó según la norma (NTE INEN 389, 1985). La conductividad se utilizó un multiparámetro (STRIRRER, PL-700PC), siguiendo la normativa y la humedad se determinó mediante un método gravimétrico siguiendo la norma NTE INEN 173, (1986), se utilizó una estufa (BIOBASE, BOV-T30CII).

Análisis fisicoquímicos de los de vinagres

Se analizaron los siguientes parámetros; cenizas, sólidos disueltos totales (TDS), acidez titulable (%), polifenoles totales (mg ácido gálico/100ml), sólidos solubles totales (°Brix), pH, temperatura, conductividad.

La cuantificación de cenizas se efectuó mediante incineración, conforme al método (AOAC 940.26, 2000), utilizando una mufla (Thermo Scientific, FB1310M-33). Los sólidos disueltos totales (TDS) se midieron en un multiparámetro (STRIRRER, PL-700PC).

La acidez titulable se evaluó mediante una titulación con hidróxido de sodio (NaOH 0.1 N) mediante el método (NTE INEN 2296, 2013). Los resultados se expresan como ácido acético, el principal ácido en el vinagre, y se aseguró que los niveles se encontraran dentro de los límites aceptables para el consumo humano (Cabrera et al., 2022).

Para la cuantificación de los polifenoles totales se realizó utilizando el método de Folin-Ciocalteu. Se preparó una solución estándar de ácido gálico a diferentes concentraciones: 0, 5, 10, 25, 50, 75, 100, 250, 500, 750 y 1000 ppm. Estas concentraciones se emplearon para la cuantificación de polifenoles de los vinagres mediante espectrofotometría a 765 nm [REDACTED].

La determinación de sólidos solubles totales (°Brix) indica la concentración de azúcares presentes en el mosto se determinó utilizando un refractómetro (BOECO, Germany), por el método (NTE INEN 265, 1979). Los resultados fueron expresados en grados °Brix, indicando la cantidad de azúcares disueltos en el medio, lo cual es crucial para la fermentación alcohólica y acética (Cabrera et al., 2022).

Para la determinación del pH se utilizó un multiparámetro (STRIRRER, PL-700PC) y se llevó a cabo según la normativa (NTE INEN 389, 1985). Las temperaturas fueron mantenidas entre 25°C y 30°C durante el proceso (Cabrera et al., 2022). Para determinar la conductividad INEN 2169, (1998), se realizó con un multiparámetro (STRIRRER, PL-700PC).

Análisis microbiológicos

Se utilizaron 1mL de vinagre, diluidos en 9mL de agua desionizada a concentraciones de 10^{-1} y 10^{-2} . Para la determinación de aerobios mesófilos se utilizó Plate Count Agar (PCA) y sus respectivos cálculos se realizaron por el método conteo de placas conforme a la norma (NTE INEN 1529-5, 2012). Los análisis de mohos y levaduras sus cálculos se realizaron según la normativa NTE INEN 1529-10, (2013) se utilizó un medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) sembrados en cajas Petri esterilizadas. Para la determinación de *E. coli* y coliformes totales se preparó una dilución de 10^{-1} y se añadió 1 ml de la muestra en placas 3M Petrifilm; fueron incubadas a 35 ± 2 °C durante 48 horas los resultados se expresaron en (UFC/g) (NTE INEN 1529-7, 2013).

Análisis sensorial

Se evaluó el grado de satisfacción del vinagre con 60 consumidores de ambos sexos, quienes degustaron 1 ml de cada una de las cuatro muestras de vinagre de cacao, identificadas mediante códigos numéricos. Los participantes evaluaron cada muestra utilizando una escala hedónica del 1 al 9 donde 1 (me disgusta muchísimo) y 9 (me gusta muchísimo). Se organizó a los consumidores a una distancia de un metro entre sí para prevenir cualquier interacción o comunicación durante la evaluación [REDACTED].

Análisis de las características sociodemográfica de los consumidores

Este análisis sociodemográfico se llevó a cabo con la intervención de 60 consumidores en el cantón La Maná, Cotopaxi-Ecuador, con el propósito de recopilar información detallada sobre el perfil de los participantes. La encuesta incluyó preguntas relacionadas con variables como género, edad, nivel estudios e ingresos mensuales, seleccionadas para proporcionar una visión completa de las características de los consumidores. Los datos obtenidos permitieron analizar las preferencias y comportamientos asociados con una nueva oferta de vinagres innovadores en la región. La encuesta incluyó preguntas específicas enfocadas en aspectos demográficos importantes (Vallejo Torres et al., 2018).

Análisis de datos

El análisis de datos fue desarrollado usando el software STATGRAPHICS Centurión 19, versión 19.6.04 (64 bits). Los análisis de la materia prima se realizaron a través de un ANOVA simple. Además, se realizó un ANOVA Multifactorial para los análisis fisicoquímicos durante la fermentación de los vinagres, el modelo incluyó el tratamiento (productos), tiempo y su interacción. Los resultados sensoriales se analizaron mediante un ANOVA multifactorial bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA), el modelo incluyó los tratamientos (productos) y los consumidores. Las diferencias significativas de las medias fueron determinadas por el test Tukey ($p < .05$). Los análisis microbiológicos de los diferentes tratamientos de vinagres se realizaron en Microsoft Excel, utilizando estadística descriptiva.

La **Figura 1** muestra una representación gráfica del proceso de análisis de los vinagres elaborados con mucílago y placenta de cacao.

Figura 1

(a) Materia prima, (b) Cenizas de vinagre, (c) Filtrado del mosto, (d) Tipos de vinagre



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de la caracterización de materia prima

En la Tabla 1 presenta los siguientes parámetros de la materia prima (mazorca de cacao), longitud (L), diámetro (\emptyset), peso (W), sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix), pH, humedad (%H).

Se evaluaron 102 mazorcas de cacao, se dividieron en dos grupos (1, 2) de 51 mazorcas, con longitudes entre 21.52 cm y 20.58 cm, respectivamente, entre los grupos no existió diferencias significativas. El diámetro presentó diferencias significativas entre el grupo 1 y 2, con valores de 8.85 cm y 9.54 cm.

Los valores del peso (W) mostraron diferencias significativas entre los dos grupos con valores de 880.86g y 730.73g. Damian & Villar, (2019) obtuvieron diámetros de 9.6 cm, longitudes de 24 cm y un peso de 1.193 kg. La falta de agua y nutrientes en el suelo limita el crecimiento de las mazorcas y disminuye el tamaño de las almendras.

El porcentaje de humedad de las semillas con jugo y sin jugo, no presentó diferencias significativas. Rojas & Rojas, (2017), menciona que, tras completarse la fermentación, las almendras contienen cerca del 55% de humedad, la cual disminuye a un 6-7%, destinado para chocolate.

En relación con los sólidos solubles totales del mucílago y la placenta mostraron diferencias significativas con valores de 16.04 y 14.82 $^{\circ}$ Brix, mientras tanto el pH mostró diferencias significativas entre 3.36 y 3.80, respectivamente. Según otro estudio obtuvieron 15.49 $^{\circ}$ Brix en cuanto al pH de 3.2 inicial en el mosto. Alava, (2020). Esto se debe al contenido de ácido cítrico, la pulpa presenta una consistencia viscosa, atribuida a la presencia de pectina y otros polisacáridos.

Tabla 1

Características fisicoquímicas de la materia prima y composición del mosto para la producción de vinagre de cacao (promedio \pm error estándar)

Materia prima	n	L(cm)	\emptyset (cm)	Wm(g)	Wc(g)	Ws(g)	Wp(g)	%H
Mazorcas de cacao ¹	51	21.52 \pm 0.49 ^a	8.85 \pm 0.20 ^a	880.86 \pm 34.97 ^b	207.9 \pm 75.1 ^a	683.41 \pm 14.14 ^a	37.06 \pm 1.67 ^b	
Mazorcas de cacao ²	51	20.58 \pm 0.48 ^a	9.54 \pm 0.20 ^b	730.73 \pm 34.61 ^a	223.3 \pm 73.4 ^b	730.99 \pm 14.14 ^b	27.60 \pm 1.60 ^a	
Semilla con jugo	3							54.0 \pm 9.65 ^a

Semilla sin jugo	3	44.3 ± 9.65 ^a
Placenta	3	72.0 ± 9.65 ^a

	Mosto	n	°Bx	pH
Mucílago y placenta ¹	51	16.04 ± 0.05 ^b	3.36 ± 0.03 ^a	
Mucílago y placenta ²	51	14.82 ± 0.05 ^a	3.80 ± 0.20 ^b	

Donde: n: número de muestras; Ø: diámetro (cm); L: longitud (cm); pH: potencial de hidrógeno; °Brix: sólidos solubles totales; %H: porcentaje de humedad; W_m: peso mazorca; W_c: Semilla con jugo; W_s: Semilla sin jugo; W_p: placenta. Letras diferentes (a, b) en la misma columna expresan diferencias significativas (p < .05) entre materias primas y composición del mosto,¹ grupos 1, ² grupo 2

Análisis fisicoquímico del vinagre durante el proceso de fermentación

Análisis del comportamiento de los grados Brix en función de los diferentes tratamientos en función del tiempo durante la fermentación

La Tabla 2 muestra el análisis de varianza ANOVA de los sólidos solubles totales (°Brix) durante el proceso de fermentación de los vinagres, se identificaron diferencias significativas en los dos factores (tratamiento, tiempo); sin embargo, en la interacción entre (A x B), no existió diferencia significativa.

Tabla 2
Análisis de varianza para el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) – suma de cuadrados

Fuente	Suma de Cuadrado	GL	Cuadrado medio	Razón – F	Valor
Efectos principales					
A: Tratamientos	356.42	3	118.80	12.87	0.00
B: Tiempo	12195.8	24	508.15	55.03	0.00
Interacciones					
AB	151.74	72	2.10	0.23	1.00
Residuos	1846.67	200	9.23		
Total (corregido)	14550.6	299			

Todas las razones -F se basan en el cuadrado medio de error residual.

La Tabla 3 muestra los resultados del análisis de Tukey (HSD) de sólidos solubles totales (°Brix) en los cuatros tratamientos a base de mucílago y placenta de cacao combinados con dos tipos de edulcorante (panela, azúcar) y con las levaduras (*Saccharomyces bayanus* y *Saccharomyces cerevisiae*), con sus medias (*LS means*) y grupos homogéneos, de acuerdo con su diferencia significativa (p < .05). Los resultados variaron entre 33.22 °Brix en el T₁ (mucílago/placenta/panela/SB) y 35.84 °Brix en el T₄ (mucílago/placenta/Panela/SC), existió diferencia significativa entre T₁ y con el resto de los tratamientos (T₂, T₃ y T₄). Según Damian & Villar, (2019) durante el proceso de fermentación del vinagre de cacao emplearon mucílago con azúcar y levadura *Saccharomyces cerevisiae*, observaron una disminución de los sólidos solubles (°Brix), presentando variaciones en los tres tratamientos evaluados, el T₁ registró un valor de 3.40, el T₂ de 3.68, y el T₃ de 4.15 °Brix, estas variaciones influyen en la fermentación y la concentración de azúcares en cada tratamiento del proceso fermentativo. Debido a que, las levaduras crecen activamente consumiendo el sustrato, convirtiendo los azúcares en alcohol, mientras que las bacterias convierten el alcohol en ácido acético para formar vinagre (Vera-Loor et al., 2018).

Tabla 3
Pruebas de múltiples rangos para sólidos solubles totales °Brix por tratamiento (Tukey HSD)

Producto	Tratamientos	Casos	Media LS	Grupo homogéneos
Mucílago/placenta/panela/SB	1	75	33.22	a
Mucílago/placenta/azúcar/SB	2	75	34.61	b
Mucílago/placenta/panela/SC	3	75	35.89	b
Mucílago/placenta/azúcar/SC	4	75	35.84	b

Donde: SB: *Saccharomyces bayanus*, SC: *Saccharomyces cerevisiae*, T: tratamientos (T₁-T₄). Letras diferentes letras (a, b) en la misma columna expresan diferencias significativas (p < .05) entre tratamientos.

La Tabla 4 presenta un análisis de (Tukey HSD) para los valores de sólidos solubles totales (°Brix) en función del tiempo (82 días), presentando las medias (*LS means*) y los grupos homogéneos que indican diferencias significativas. Los valores oscilaron entre 4.08 °Brix en el día 1 y alcanzó 35.17 °Brix en el día 82. El día 1 mostró diferencia significativa en comparación con el resto de los días. Otros autores, mencionan que durante el proceso fermentativo de 9 días con valores de 11-12 °Brix elaborado con mucílago de cacao criollo, observaron una disminución progresiva en los sólidos solubles de 7.8 °Brix, con variaciones entre los tratamientos, atribuida a factores como la dilución y los °Brix iniciales (Vera-Loor et al., 2018).

Tabla 4
Prueba de Múltiple Rangos para sólidos solubles totales °Brix en función del tiempo (Tukey HSD)

Tiempo (días)	Casos	Media LS	Grupo homogéneos
1	12	4.08	a
4	12	36.42	b
6	12	37.33	b
8	12	36.42	b
13	12	36.42	b
15	12	35.75	b
18	12	36.92	b
20	12	37.00	b
22	12	36.92	b

25	12	37.67	b
27	12	36.50	b
29	12	36.67	b
32	12	36.58	b
34	12	36.58	b
36	12	37.17	b
39	12	38.83	b
43	12	35.42	b
46	12	35.17	b
48	12	34.75	b
50	12	35.08	b
53	12	35.25	b
55	12	34.33	b
62	12	34.83	b
64	12	35.08	b
82	12	35.17	b

Diferentes letras (a, b) en la misma columna, indican diferencias significativas $p < .05$ entre días de fermentación.

Análisis del comportamiento del pH en función de los diferentes tratamientos en función del tiempo durante la fermentación

La Tabla 5 muestra el análisis de varianza ANOVA en el pH durante el proceso de fermentación de los vinagres, se identificaron diferencias significativas en los factores de tratamiento (A) y el tiempo (B), mientras que la interacción (A x B), no existe diferencia significativa.

Tabla 5

Análisis de varianza para la pH- suma de cuadrados

Fuente	Suma de Cuadrado	GL	Cuadrado medio	Razón - F	Valor
Efectos principales					
A: Tratamientos	4.66	3	1.55	30.56	0.00
B: Tiempo	24.13	24	1.00	19.78	0.00
Interacciones					
AB	1.06	72	0.01	0.29	1.00
Residuos	10.16	200	0.05		
Total (corregido)	40.03	299			

Todas las razones -F se basan en el cuadrado medio de error residual.

En la Tabla 6 se observa los resultados del análisis de Tukey (HSD) aplicado al pH en los cuatros tratamientos a base de mucílago y placenta de cacao combinados con dos tipos de edulcorantes panela y azúcar, y con las levaduras (*Saccharomyces bayanus* y *Saccharomyces cerevisiae*), con sus medias (*LS means*) y grupos homogéneos, de acuerdo con su diferencia significativa ($p < .05$). Los resultados de los análisis del pH oscilaron de 3.72 en T₄ (mucílago/placenta/azúcar/SC) y de 4.05 en T₁ (mucílago/placenta/panela/SB), T₄ presentó diferencias significativas en comparación con el resto de los tratamientos (T₁, T₂ y T₃). Según Damian & Villar, (2019) el vinagre de cacao implementando con mucílago y azúcar, y con levadura *Saccharomyces cerevisiae* evaluaron tres tratamientos, los valores de pH fueron de 3.25 para el T₁, 3.20 en T₂, y 3.26 el T₃, durante la fermentación refleja la acidificación resultante del consumo de azúcares del sustrato. Estas variaciones se deben a las características de la materia prima y el tipo sustrato, que afectan directamente el pH del producto final.

Tabla 6

Pruebas de múltiples rangos para pH por tratamiento (Tukey HSD)

Producto	Tratamientos	Casos	Media LS	Grupo homogéneos
Mucílago/placenta/panela/SB	1	75	4.05	b
Mucílago/placenta/azúcar/SB	2	75	3.98	b
Mucílago/placenta/panela/SC	3	75	3.97	b
Mucílago/placenta/azúcar/SC	4	75	3.72	a

Donde: SB: *Saccharomyces bayanus*, SC: *Saccharomyces cerevisiae*, T: tratamientos (T₁-T₄). Letras diferentes letras (a, b) en la misma columna expresan diferencias significativas $p < .05$ entre tratamientos.

Tabla 7 presenta el análisis de Tukey (HSD) para los valores de pH en función del tiempo (82 días), mostrando las medias (*LS means*) y los grupos homogéneos que indican diferencias significativas. Los resultados variaron de 3.76 pH en el día 1 a 4.15 pH en el día 82. Existió diferencias significativas desde el día 1 al 82; sin embargo, las diferencias no fueron relevantes. Damian & Villar, (2019) demostraron que, el proceso fermentativo de mucílago y azúcar, durante 28 días, mostró una disminución progresiva del pH debido a la actividad oxidativa de microorganismos acéticos, los cuales convierten los azúcares en ácido acético.

Tabla 7

Prueba de Múltiple Rangos para pH en función del tiempo de fermentación (Tukey HSD)

Tiempo	Casos	Media LS	Grupo homogéneos
1	12	3.76	cde
4	12	4.68	h
6	12	3.19	a
8	12	3.91	cdefg
13	12	3.98	cdefg

Diferentes letras (a, b, c, d, f, g) en la misma columna, indican diferencias significativas ($p < .05$) entre tratamientos.

Análisis del comportamiento de la conductividad de los diferentes tratamientos durante la fermentación

La Tabla 8 presenta los resultados de la conductividad para los diferentes tratamientos de vinagres desarrollados, indicando diferencias significativas en los factores correspondientes a los

tratamientos (A), el tiempo (B) y la interacción entre ambos factores (A x B).

Tabla 8
Análisis de varianza para la conductividad (mS/cm) – suma de cuadrados

15	12	3.94	cdefg
18	12	3.38	ab
20	12	3.75	cde
22	12	3.77	cdef
25	12	3.73	cd
27	12	4.04	defg
29	12	3.65	bc
32	12	3.65	bc
34	12	4.09	efg
36	12	4.11	g
39	12	4.07	defg
43	12	4.16	g
46	12	4.10	fg
48	12	4.12	g
50	12	4.10	fg
53	12	4.11	g
55	12	3.98	cdefg
62	12	3.91	cdefg
64	12	3.99	cdefg
82	12	4.15	g

Fuente	Suma de Cuadrado	GL	Cuadrado medio	Razón – F	Valor
Efectos principales					
A: Tratamientos	2.92 x10 ⁷	3	9.73 x10 ⁶	1104.47	0.00
B: Tiempo	2.15 x10 ⁷	24	899311	101.98	0.00
Interacciones					
AB	9.83 x10 ⁶	72	136576	15.49	0.00
Residuos	1.7x10 ⁶	200	8818.52		
Total (corregido)	6.24 x10 ⁷	299			

Todas las razones -F se basan en el cuadrado medio de error residual.

La Tabla 9 muestra los resultados del análisis de Tukey (HDS) para la conductividad en los cuatro tratamientos a base de mucílago y placenta de cacao combinados con dos tipos de edulcorante panela y azúcar, y con las levaduras (*Saccharomyces bayanus* y *Saccharomyces cerevisiae*), con sus medias (*LS means*) y grupos homogéneos, de acuerdo con su diferencia significativa ($p < .05$). La conductividad osciló entre 445.63 (mS/cm) en el T₁ (mucílago/placenta/panela/SB) hasta 1141.68 (mS/cm) en el T₄ (mucílago/placenta/azúcar/SC), existió diferencias significativas entre los tratamientos (T₁, T₂, T₃ y T₄). Según otro estudio, la conductividad en vinagres varió entre 2.53 a 4.27, indicando variaciones durante la fermentación (Cuesta, 2021). Esto sugiere que factores adicionales como el tipo de edulcorante (panela o azúcar), materia prima y las condiciones de fermentación contribuyen a la concentración de minerales influyendo en la conductividad eléctrica.

Tabla 9
Pruebas de múltiples rangos para conductividad (mS/cm) por tratamiento (Tukey HSD)

Producto	Tratamientos	Casos	Media LS	Grupo homogéneos
Mucílago/placenta/panela/SB	1	75	445.62	a
Mucílago/placenta/azúcar/SB	2	75	509.29	b
Mucílago/placenta/panela/SC	3	75	1051.84	c
Mucílago/placenta/azúcar/SC	4	75	1141.68	d

Donde: SB: *Saccharomyces bayanus*, SC: *Saccharomyces cerevisiae*, T: tratamientos (T₁-T₄). Letras diferentes (a, b, c, d) en la misma columna expresan diferencias significativas ($p < .05$) entre días de fermentación.

La Tabla 10 presenta análisis de Tukey (HSD) para los valores de conductividad en función del tiempo (82 días), presentando las medias (*LS means*) y grupos homogéneos, indicando tiempos con diferencias significativas. Los resultados de conductividad variaron desde 0 (mS/cm) en el día 1 hasta 367.633 (mS/cm) en el día 82, alcanzando un valor más alto de 1075.88 (mS/cm) en el día 15, existió diferencias significativas entre los grupos de tratamientos pertenecientes al grupo a (días 1 y 4), grupo b (día 82), grupo c (días 6, 8, 13, 27, 29, 32, 34, 36, 39, 43, 46, 48, 50, 53, 55, 62 y 64) y grupo d (días 15, 18, 20, 22 y 25). Durante los días 1 y 4, no se midió la conductividad, ya que se realizó la corrección de los sólidos solubles totales (°Brix), que estaban por debajo del valor deseado, mediante la adición de edulcorantes como azúcar y panela. La conductividad eléctrica es un indicador, relacionado con la concentración de minerales presentes en la muestra probablemente debido a la combinación de ingredientes en las formulaciones de los vinagres.

Tabla 10
Prueba de Múltiple Rangos para conductividad (mS/cm) por tiempo (Tukey HSD)

Tiempo (días)	Casos	Media LS	Grupo homogéneos
1	12	0	a
4	12	0	a

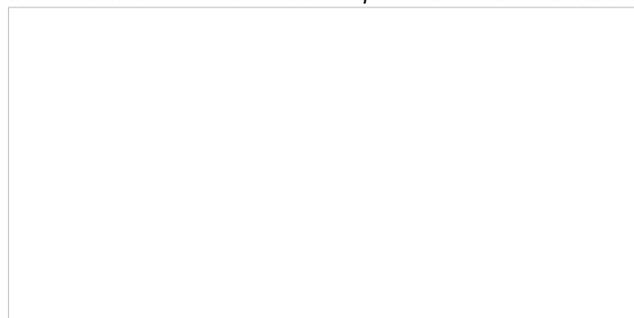
6	12	868.25	c
8	12	868.25	c
13	12	850.06	c
15	12	1075.88	d
18	12	1062.27	d
20	12	1044.37	d
22	12	1019.84	d
25	12	1041.07	d
27	12	800.79	c
29	12	794.80	c
32	12	800.25	c
34	12	792.42	c
36	12	791.17	c
39	12	791.97	c
43	12	818.27	c
46	12	832.97	c
48	12	837.08	c
50	12	839.78	c
53	12	847.88	c
55	12	844.47	c
62	12	834.80	c
64	12	853.55	c
82	12	367.63	b

Diferentes letras (a, b, c, d) en la misma columna, indican diferencias significativas ($p < .05$) entre tratamientos.

La **Figura 2** muestra como interactúan los tratamientos en función del tiempo (días), si no existiera ninguna interacción, estas líneas serían paralelas. Entre más fuerte sea la interacción, más diferente será la forma de las líneas. Los tratamientos (T_1 , T_2 , T_3 y T_4) presentaron un aumento del valor de conductividad en el día 4, se mantuvieron estables hasta el día 13 y alcanzaron su punto máximo entre los días 15 y 25. Posteriormente, disminuyeron en el día 27 y se estabilizaron hasta el día 64. Los tratamientos T_1 y T_3 registraron valores más elevados, pero descendieron significativamente en el día 82. Del mismo modo, los tratamientos T_2 y T_4 mantuvieron valores intermedios hasta el final, donde experimentaron un leve aumento. Estas tendencias reflejaron diferencias específicas según el tratamiento aplicado. La disminución de la conductividad puede ser influenciado por la degradación de azúcares durante la fermentación (Caiza et al., 2024).

Figura 2

Interacción de los análisis del comportamiento de la conductividad de los diferentes tratamientos en función del tiempo de fermentación



Análisis fisicoquímicos de los vinagres

La Tabla 11 presenta los resultados de cenizas, sólidos totales disueltos (TDS), acidez titulable y polifenoles totales de los cuatro de tratamientos a base de mucílago y placenta de cacao combinados con dos tipos de edulcorante panela y azúcar, con las levaduras (*Saccharomyces bayanus* y *Saccharomyces cerevisiae*).

El contenido de cenizas varió de 0% en el tratamiento T_4 (mucílago/placenta/azúcar/SC) y 3.67% T_1 (mucílago/placenta/panela/SB) lo que indica un elevado contenido de minerales, el tratamiento T_2 (mucílago/placenta/azúcar/SB), entre los tratamientos T_2 y T_4 no existió diferencias significativas, en comparación con los tratamientos (T_1 y T_3), esto podría estar relacionado con la composición de cada vinagre y su edulcorante. La panela contribuye significativamente a los minerales presentes en el producto (Payet et al., 2005). Loja & Velasco, (2023) reportaron que el mucílago contiene 0.36 % de cenizas esto puede influenciar al contenido de cenizas final en el vinagre.

Los valores de TDS presentaron una variación, entre 387.33% en el tratamiento T_4 mucílago/placenta/azúcar/SC y 1193.78% en T_1 (mucílago/placenta/panela/SB). No se identificó diferencias significativas entre dos tratamientos pertenecientes al grupo b (T_1 y T_3), ambos elaborados con panela, mostraron los valores más altos de TDS (1193%), en comparación con el grupo a (T_2 y T_4), elaborados con azúcar, presentaron valores más bajos. Esto evidencia que la panela contribuye a un mayor contenido de sólidos disueltos. Damian & Villar, (2019) destacó que el vinagre elaborado con azúcar/mucílago presentó valores de 1.59, 1.61 y 1.41 inferiores a los obtenidos en este estudio. Esto reafirma la hipótesis de que, el uso de panela genera valores más altos de sólidos disueltos en comparación con el azúcar.

La acidez titulable (AT) fue de 6.31% en T_1 (mucílago/placenta/panela/SB) y no existió diferencias significativas en relación con los otros tratamientos. En comparación con otros autores, la acidez total de los 3 tratamientos experimentales elaborados con mucílago, azúcar y levadura

Saccharomyces cerevisiae variaron de 2.14 (T₁); 1.71 (T₂) y 1.64 (T₃) (Damian & Villar, 2019). La diferencia podría deberse al uso de panela en nuestro estudio, que contiene más compuestos fermentables, lo que aumenta la acidez (Payet et al., 2005).

El contenido de polifenoles totales varió entre 4.26 mg/100 ml en T₄ (mucílago/placenta/azúcar/SC) y 59.59 mg/100 ml en T₃ (mucílago/placenta/panela/SC). Se observaron diferencias significativas entre dos grupos homogéneos (a, b), los tratamientos T₃ (mucílago/placenta/panela/SC) y T₁ (mucílago/placenta/panela/SB), presentaron valores más altos con 59.59 mg/100 ml y 55.29 mg/100 ml, respectivamente, perteneciendo al grupo (b). Además, los tratamientos T₂ y T₄, elaborados con azúcar, mostraron concentraciones más bajas, formando parte del grupo (a). En comparación con otras variedades de cacao, encontraron concentraciones de 49.85 mg/L cacao nacional, 58.67 mg/L trinitario y 43.08 mg/L forastero (Carrillo et al., 2024). Esto confirma que la panela favorece un mayor contenido de compuestos bioactivos con potencial antioxidante. Las propiedades antirradicales de la panela están principalmente relacionadas con la presencia de compuestos bioactivos que poseen capacidad antioxidante, entre los que se incluyen ácidos benzoicos, ácidos cinámicos, glucósidos fenólicos, lignanos y otros elementos como la vainilina, el 3-hidroxi-1-(4-hidroxi-3,5-dimetoxifenil)-1-propanol y el ácido 4-hidroxifenilacético (Payet et al., 2005).

Tabla 11

Análisis fisicoquímico de vinagre de cacao (promedio ± error estándar) en los cuatro tratamientos (T₁, T₂, T₃, T₄)

Productos	Tratamientos	n	Cenizas (%)	TDS (%)	AT (%)	Polifenoles Totales (mg ácido gálico/100ml)
Mucílago/placenta/panela/SB	T ₁	3	3.67 ± 0.24 ^c	1193.78 ± 22.13 ^b	6.31 ± 0.55 ^a	55.29 ± 5.88 ^b
Mucílago/placenta/azúcar/SB	T ₂	3	0.00 ± 0.24 ^a	434.89 ± 22.13 ^a	5.32 ± 0.55 ^a	4.67 ± 5.88 ^a
Mucílago/placenta/panela/SC	T ₃	3	1.33 ± 0.24 ^b	1142.00 ± 22.13 ^b	5.75 ± 0.55 ^a	59.59 ± 5.88 ^b
Mucílago/placenta/azúcar/SC	T ₄	3	0.00 ± 0.24 ^a	387.33 ± 22.13 ^a	4.48 ± 0.55 ^a	4.26 ± 5.88 ^a

Donde: SB: *Saccharomyces bayanus*, SC: *Saccharomyces cerevisiae*, T: Tratamientos (T₁-T₄), n: número de muestras, TDS: sólidos totales disueltos, AT: acidez titulable. Letras diferentes (a, b, c, d) en la misma columna expresan diferencias significativas (p < .05) entre materias tratamientos.

Resultados de análisis microbiológicos de los vinagres

Los microorganismos patógenos presentes en los alimentos representan un riesgo significativo, es de vital importancia que se prevenga la presencia de estos en los productos alimenticio para asegurar que sean seguros y aptos para el consumo humano (Curioso, 2022).

La Tabla 12 muestra el análisis microbiológico del vinagre se evaluó cinco tipos de microorganismos (Aerobios mesófilos, *Escherichia coli* y coliformes, mohos y levaduras) tres réplicas, en diferentes tratamientos de vinagre de cacao. Según la NTE INEN 2296, (2013), el vinagre debe estar libre de microorganismos patógenos como *E. coli* y coliformes, no debe exceder los niveles críticos de aerobios mesófilos, mohos y levaduras que puedan poner en riesgo la salud.

En relación con Aerobios mesófilos, se obtuvo 9.2x10² UFC T₂ (mucílago/placenta/azúcar/SB) registrando un valor más alto; sin embargo, no supero los límites establecidos para este tipo de productos. Por otro parte, no se detectaron colonias de *Escherichia coli* ni coliformes en ningún tratamiento, mostraron resultados de <10 UFC, cumpliendo de manera íntegra con los requisitos establecidos por la normativa, que demanda ausencia de estos microorganismos patógenos.

El recuento de mohos y levaduras, los tratamientos T₁ (mucílago/placenta/panela/SB) y T₃ (mucílago/placenta/panela/SC) presentaron los conteos más altos, fueron de 5.6x10² y 5.3x10² UFC, respectivamente. Estos valores se encuentran dentro de los límites permitidos según la normativa para productos fermentados.

Otros autores obtuvieron resultados de mohos y levaduras en sus tres tratamientos, en T₁ 54x10², T₂ <10 y T₃ 70x10³ respectivamente indicando que estos valores se encuentran dentro de los límites permisibles de consumo, el vinagre es un producto de calidad e inocuo (Damian & Villar, 2019).

Tabla 12

Conteo de mohos y levaduras, aerobios mesófilos y *Escherichia coli* y coliformes en diferentes tratamientos de vinagre de cacao

Productos	Tratamientos	n	Aerobios mesófilos (UFC/ml)	<i>E. coli</i> y coliformes (UFC/ml)	Mohos y levaduras (UFC/ml)
ago/placenta/panela/SB	T ₁	3	5.3x10 ²	<10	5.6x10 ²
ago/placenta/azúcar/SB	T ₂	3	9.2x10 ²	<10	1.6x10 ²
ago/placenta/panela/SC	T ₃	3	6.2x10 ²	<10	5.3x10 ²
ago/placenta/azúcar/SC	T ₄	3	1.6x10 ²	<10	3.9x10 ²

Dónde: SB: *Saccharomyces bayanus*, SC: *Saccharomyces cerevisiae*, T: tratamientos (T₁-T₄), n: número de muestras, UFC: unidades formadoras de colonias por ml de muestra.

Análisis de consumidores

Características sociodemográficas de los consumidores

La Tabla 13 muestra los porcentajes de los consumidores según género, edad e ingresos. Se observa que el 63.3 % de los encuestados son mujeres, mientras que el 36.7 % son hombres. El 53 % de los consumidores se encuentra en el rango de edad de 21 a 25 años, seguido de un rango de edades entre 26 y 40 años, estaban entre el 5 y el 7 %. Además, el 58 % tiene estudios a nivel profesional, y el 13 % reporta ingresos mensuales

entre \$ 1000 y \$ 2000. Estos resultados describen un perfil de consumidores en su mayoría, son mujeres jóvenes con formación profesional. Esto sugiere que los distintos tipos de vinagre podrían convertirse en una alternativa interesante dentro de la canasta básica para consumidores pertenecientes a segmentos con ingresos medios a altos.

Tabla 13
Características sociodemográficas de los consumidores (genero, edad, nivel de estudio, ingreso mensual)

	n Total	60
1. Genero	% Mujeres	63.3
	% Hombres	36.7
2. Edad	% <20 años	30.0
	% 21 – 25 años	53.3
	% 26 – 30 años	5
	% 31 – 35 años	3.3
	% 36 – 40 años	6.7
3. Nivel de estudios	% > de 40 años	0
	Preparatoria	32
	Profesional	58
4. Ingreso mensual	Posgrado	10
	Menos de \$ 250	42
	\$ 250 - \$ 500	30
	\$ 500- \$ 800	12
	\$1000 - \$ 2000	13
	Mayor a \$ 2000	3

Evaluación sensorial

En la Tabla 14 revela los resultados del análisis de Tukey, que no existió diferencias significativas entre los tratamientos. Todos los productos, tuvieron una aceptabilidad con una puntuación alta de (7.00), esto sugiere que, en términos de percepción sensorial los consumidores no identificaron diferencias relevantes entre los tratamientos evaluados. Los hallazgos de Watson & Brito, (2022), obtuvieron una aceptabilidad de 6.50 en vinagre de cerveza tipo Blonde. Estos resultados estuvieron relacionados con los componentes utilizados, como endulzantes, que pudieron influir positivamente en la aceptación. Los resultados muestran una mayor preferencia por nuestro vinagre en comparación con el de Watson & Brito, (2022), lo que podría atribuirse a la formulación y los endulzantes

utilizados, que favorecieron su aceptación sensorial.

Tabla 14
Puntuaciones de aceptabilidad (LSM \pm error estándar) por tratamiento

Productos	Tratamientos	n	Medias
Mucílago/placenta/panela/SB	T ₁	60	7.17 \pm 0.15 ^a
Mucílago/placenta/azúcar/SB	T ₂	60	6.88 \pm 0.15 ^a
Mucílago/placenta/panela/SC	T ₃	60	7.07 \pm 0.15 ^a
Mucílago/placenta/azúcar/SC	T ₄	60	6.97 \pm 0.15 ^a

Las diferentes letras (a, b) en la misma columna muestran diferencias significativas ($p < .05$). Siendo 1 (me disgusta muchísimo) y 9 (me gusta muchísimo), LSM: *Least Square Means*.

CONCLUSIONES

El estudio logró la obtención de vinagres a base de subproductos de cacao (mucílago y placenta), potenciando el crecimiento económico y la producción sostenible local.

Los resultados mostraron que el tipo de edulcorante como la levadura empleada en la elaboración del vinagre, tuvieron un impacto significativo en las propiedades fisicoquímicas y aceptabilidad sensorial.

El tratamiento T₁ (mucílago/placenta/panela/SB) destacó por su equilibrio en acidez (6.31%), sólidos solubles totales (33.22 °Brix) y sólidos disueltos totales (1193.78%). Los tratamientos T₁ y T₃ elaborado con panela (mucílago/placenta/panela/SC) presentó el mayor contenido de polifenoles (59.59 mg/100 mL), destacando su potencial antioxidante.

En el aspecto microbiológico, todos los tratamientos cumplieron con los estándares establecidos por la normativa NTE INEN 2296, (2013).

Los productos disruptivos de vinagre se enfocaron en los procesos sostenibles e innovadores que influyó en la calidad sensorial de los productos y la aceptabilidad de los consumidores.

Agradecimiento

Este estudio fue posible gracias al valioso apoyo de la Estación Experimental "La Playita" y de la Universidad Técnica de Cotopaxi - Extensión La Maná, con el proyecto "Estudio fisicoquímico, sensorial, nutricional y microbiológico de materias primas cítricas provenientes de la estación experimental "La Playita" cantón La Maná"

REFERENCIAS

- Abraham, D., Lombardo, B. A., Méndez, M. F., Jeda, M. M., Alfageme, C., & Drolas Cecilia. (2020). *Descripción de las técnicas de producción del vinagre de sidra de manzana y sus beneficios*. 05/08/2024 https://escuelanutricion.fmed.uba.ar/revistani/pdf/22a/an/941_c.pdf
- Alava, W. A. Z. (2020). *Caracterización física-química del mucílago de cacao (Theobroma cacao L.) con énfasis en los azúcares que lo componen* <https://cia.uagraria.edu.ec/archivos/alava%20zambrano%20wiston%20adrian.pdf>
- Alcívar Torres, A., García Vásquez, G., Cadena Piedrahita, D., & Sánchez Vásquez, V. (2019). Evaluación y planificación de sistemas agroforestales sustentables de cacao (Theobroma cacao L.) y bambú (Guadua angustifolia K.), Montalvo, Ecuador Evaluation and planning of sustainable agroforestry systems of cacao (Theobroma cacao L.) and bambú (Guadua angustifolia K.). *Revista Ciencia e Investigación*, 4. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3473533>
- Aldana, M. Y., Bustos, Y., Espinoza, L. A., Ramírez, A., Nabarlantz, D. A., Blanco-Tirado, C., & Combariza, M. Y. (2023). Influence of temperature and pH during cacao mucilage exudate concentration on cacao syrup composition. *International Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16677>
- Amanta, B. J. Y., & Teneda, W. F. L. (2022). Evaluation of losses and waste in the links of the cocoa production chain in the provinces of Tungurahua and Chimborazo- Ecuador. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 26(116), 7–17.

<https://doi.org/10.47460/uct.v26i116.639>

Anzaldúa-Morales, A. (2005). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*.

AOAC 940.26. (2000). *AOAC-Official-Method-940.26-Ash-of-Fruits-and-Fruit-Products*. https://www.aocofficialmethod.org/index.php?main_page=product_info&cPath=1&products_id=1447

Béjar, D., & Espinoza, A. (2023). *Estudio de factibilidad de producción y comercialización del cacao en el cantón Naranjal, provincia del Guayas*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25080/1/UPS-GT004416.pdf>

Cabrera, O., Patiño Altafuya, J. E., Bazurto García, D. L., & Pérez Cuello, M. (2022). *Obtención de vino y vinagre a partir de mucílago de cacao*. <http://investigacion.utc.edu.ec/index.php/utciencia/article/view/457/486>

Caiza, B., Toapanta, M., & Rivera, E. (2024). Evaluación fisicoquímica y sensorial del vinagre de mora (*Morus alba* L), capulí (*Prunus serotina*) y naranja (*Citrus aurantium*). *Arandu UTIC*, 11(2), 2340–2365. <https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.423>

Calvache, M., Rosa, Z., Galván, N., Faisuler, S., & Rodríguez, P. (2023). *Residuos aprovechables de la agrocadena del cacao: Una revisión con enfoque a la sostenibilidad gastronómica*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29324.49283>

Carrillo, D., Malla, J., & Beltrán, C. (2024). *Caracterización bromatológica y sensorial del licor de cacao de tres variedades tras el proceso de fermentación alcohólica-acética con *Saccharomyces cerevisiae**. https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/23474/1/Trabajo_Titulacion_3902.pdf

Chacón Ortiz, C. Y., Mori Culqui, P. L., & Chavez Quintana, S. G. (2021). Antioxidantes y polifenoles totales de chocolate negro con incorporación de cacao (*Theobroma cacao* L.) crudo. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 23(4). <https://doi.org/10.18271/ria.2021.331>

Coronel, J., Briones, M., & Suárez, D. (2023). *Diseño de un proceso de fermentación controlado de cacao Nacional Fino de Aroma (*Theobroma cacao* L.)*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/60781>

Cuesta, L. (2021). *Obtención de vinagre a partir de mezcla de agua y pulpa de coco (*Cocos nucifera*)*.

Curioso, B. (2022). *Obtención innovada del vinagre de manzana delicia (*malus domestica-red delicious*)*. <https://repositorio.unifsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/6612/tesis%20curioso%20valera%20bryan%20joseph.pdf?sequence=1>

Damian, P., & Villar, M. (2019). *Aprovechamiento del jugo del mucílago de cacao (*theobroma cacao* L.) En la elaboración de productos Agroindustriales (néctar, vino y vinagre)*. <https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/5459/TAI00157D22.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

El Salous, A., Martillo, J., Gómez, J., & Martínez, F. (2020). Mejoramiento de la calidad del cultivo de cacao en Ecuador. *Año 25 Número Especial*, 3, 368–380. <https://www.produccioncientificauluz.org/index.php/rvgm>

García, E., López, A., & Fernández, I. (2015). *Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu Apellidos, nombre*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52056/Garcia%20Mart%20C3%ADnez%20et%20al.pdf?sequence=1>

Gómez-Molina, R., Villanueva, S., & Henríquez, M. (2019). World trend in the elaboration of cocoa derived products. *Revista INGENIERÍA UC*, 26(2).

Loja, E., & Velasco, M. (2023). *Elaboración de vino a partir del mucílago de cacao CCN-51 con tres tipos de levaduras de la familia *Saccharomyces cerevisiae**.

Molina-Cedeño, C. S., Pillco-Herrera, B. M., Salazar-Muñoz, E. F., Coronel-Espinoza, B. D., Sarduy-Pereira, L. B., & Diéguez-Santana, K. (2020). *Producción más limpia como estrategia ambiental preventiva en el proceso de elaboración de pasta de cacao. Un caso en la Amazonia Ecuatoriana*. *Industrial Data*, 23(2), 59–72. <https://doi.org/10.15381/idata.v23i2.17640>

NTE INEN 173. (1986). *Método para determinar el contenido de humedad*.

NTE INEN 176. (2016). *Requisitos de calidad del cacao en grano beneficiado y los criterios que deben aplicarse para su clasificación*.

NTE INEN 265. (1979). *Azúcar determinación de la humedad método rutina*.

NTE INEN 389. (1985). *Norma técnica Ecuatoriana conservas vegetales determinación de la concentración del ion hidrógeno (pH)*.

NTE INEN 1529-5. (2012). *Control microbiológico de los alimentos determinación de la cantidad de microorganismos Aerobios mesófilos.rep*. <https://es.scribd.com/doc/240179897/1529-5-1-c-Mesofilos-Aerobios>

NTE INEN 1529-7. (2013). *Control microbiológico de los alimentos determinación de microorganismos coliformes por la técnica de recuento de colonias*.

NTE INEN 1529-10. (2013). *Control microbiológico de los alimentos. Mohos y levaduras viables. Recuentos en placa por siembra en profundidad*. <https://es.scribd.com/document/488093112/1529-10-1r-mohos-y-levaduras-viables-pdf>

NTE INEN 2296. (2013). *Vinagre. Requisitos*.

NTE INEN 2169. (1998). *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras*. www.pdfactory.com

Payet, B., Cheong Sing, A. S., & Smadja, J. (2005). Assessment of antioxidant activity of cane brown sugars by ABTS and DPPH radical scavenging assays: determination of their polyphenolic and volatile constituents. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 3. <https://doi.org/10.1021/jf0517703>

Quimbita, F., Rodríguez, P., & Vera, E. (2013). *Uso del exudado y placenta del cacao para la obtención de subproductos*. <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/272/193>

Red cacaotera. (2020). *Protocolo de calidad. Asociación Nacional Cacaotera de Colombia*.

Rojas, J., & Rojas, E. (2017). *Aprovechamiento del Mucílago de Cacao (*Theobroma Cacao*) en la formulación de una bebida no alcohólica. Tesis*.

Saavedra, O., Durán, D., Cabezas, J., Hernández, I., Blanco-Tirado, C., & Combariza, M. Y. (2021). *Cellulose biosynthesis using simple sugars available in residual cacao mucilage exudate*. *Carbohydrate Polymers*, 274. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118645>

Vallejo Torres, C. A., Loayza Flores, G. L., Morales Rodríguez, W., & Vera Chang, J. (2018). *Perfil sensorial de genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la parroquia Valle Hermoso Ecuador*.

Watson, D. Z., & Brito, G. M. (2022). *Elaboración y evaluación de aceptabilidad sensorial de vinagre obtenido a partir de mermas de cerveza tipo Blonde*. *ReDSal*, 1(2), 38–46. <https://doi.org/10.54789/rs.v1i2.13>