

Evaluación de la miel de mucílago de cacao (*theobroma cacao*) como edulcorante natural en formulaciones de panificación.

Evaluation of cocoa mucilage honey (*theobroma cacao*) as a natural sweetener in baking formulations.

Avaliação do mel de mucilagem de cacau (*theobroma cacao*) como adoçante natural em formulações de panificação.

Marin Moreira Naydelin Deyaneira¹
Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila
naydelinmarinmoreira@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0009-2097-7349>



Castro Untuña Jomayra Anahy²
Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila
jomayracastrountuña@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-8976-7361>



Arellano Huerta Janena Alexandra³
Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila
janenaarellano@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2726-0673>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v7/nE1/1416>

Como citar:

Marin Moreira, N. D., Castro Untuña, J. A. & Arellano Huerta, J. A. (2026). Evaluación de la miel de mucílago de cacao (*theobroma cacao*) como edulcorante natural en formulaciones de panificación. *Código Científico Revista de Investigación*, 7(E1), 2289-2311.

Recibido: 06/01/2026

Aceptado: 04/02/2026

Publicado: 31/03/2026

Resumen

La industria alimentaria enfrenta el reto de desarrollar productos más saludables, orientados a la reducción del consumo de azúcar refinado, debido a su relación con enfermedades metabólicas como la obesidad y la diabetes. En este contexto, la miel de mucílago de cacao surge como una alternativa natural con potencial edulcorante en productos de panificación. El trabajo de titulación se desarrolló bajo un enfoque mixto, combinando investigación documental y análisis experimental. Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cinco tratamientos y tres repeticiones, totalizando 15 unidades experimentales, donde se variaron los porcentajes de sustitución de azúcar por miel de mucílago. Se realizaron análisis fisicoquímicos, bromatológicos y evaluaciones organolépticas mediante fichas sensoriales validadas por una muestra previamente seleccionada. Los análisis fisicoquímicos identificaron al tratamiento T5 como el más adecuado ($^{\circ}$ Brix: 4,3–4,4; pH: 5,32–5,38; acidez: 4,6), al presentar condiciones óptimas para la fermentación. Sensorialmente, obtuvo mayor aceptación general, aunque mostró baja valoración en elasticidad. El análisis bromatológico evidenció un mejor perfil nutricional frente a estudios similares. Los resultados confirman que la miel de mucílago de cacao influye positivamente en las características fisicoquímicas y sensoriales del pan, destacando su viabilidad como sustituto parcial del azúcar. Se concluye que la miel de mucílago de cacao es aceptada sensorialmente y puede considerarse un edulcorante natural viable en panificación.

Palabras clave: Cacao, mucílago, edulcorante natural, panificación, alimentaria.

Abstract

The food industry faces the challenge of developing healthier products aimed at reducing refined sugar consumption due to its link to metabolic diseases such as obesity and diabetes. In this context, cocoa mucilage honey emerges as a natural alternative with sweetening potential in baked goods. The thesis was developed using a mixed approach, combining documentary research and experimental analysis. A completely randomized design (CRD) was applied with five treatments and three replicates, totaling 15 experimental units, where the percentages of sugar substitution by mucilage honey were varied. Physicochemical and bromatological analyses were performed, as well as organoleptic evaluations using sensory profiles validated by a previously selected sample. The physicochemical analyses identified treatment T5 as the most suitable ($^{\circ}$ Brix: 4.3–4.4; pH: 5.32–5.38; acidity: 4.6), as it presented optimal conditions for fermentation. Sensory analysis showed greater overall acceptance, although elasticity was rated low. Bromatological analysis revealed a better nutritional profile compared to similar studies. The results confirm that cocoa mucilage honey has a positive influence on the physicochemical and sensory characteristics of bread, highlighting its viability as a partial substitute for sugar. It is concluded that cocoa mucilage honey is sensorially acceptable and can be considered a viable natural sweetener in baking.

Keywords: Cocoa, mucilage, natural sweetener, baking, food.

Resumo

A indústria alimentar enfrenta o desafio de desenvolver produtos mais saudáveis, orientados para a redução do consumo de açúcar refinado, devido à sua relação com doenças metabólicas como a obesidade e a diabetes. Neste contexto, o mel de mucilagem de cacau surge como uma alternativa natural com potencial adoçante em produtos de panificação. O trabalho de graduação foi desenvolvido sob uma abordagem mista, combinando pesquisa documental e análise experimental. Foi aplicado um Desenho Completamente Aleatório (DCA) com cinco tratamentos e três repetições, totalizando 15 unidades experimentais, onde foram variadas as percentagens de substituição do açúcar pelo mel de mucilagem. Foram realizadas análises físico-químicas, bromatológicas e avaliações organolépticas por meio de fichas sensoriais validadas por uma amostra previamente selecionada. As análises físico-químicas identificaram o tratamento T5 como o mais adequado ($^{\circ}$ Brix: 4,3–4,4; pH: 5,32–5,38; acidez: 4,6), por apresentar condições ótimas para a fermentação. Sensorialmente, obteve maior aceitação geral, embora tenha apresentado baixa avaliação em elasticidade. A análise bromatológica evidenciou um melhor perfil nutricional em comparação com estudos semelhantes. Os resultados confirmam que o mel de mucilagem de cacau influencia positivamente as características físico-químicas e sensoriais do pão, destacando a sua viabilidade como substituto parcial do açúcar. Conclui-se que o mel de mucilagem de cacau é aceito sensorialmente e pode ser considerado um adoçante natural viável na panificação.

Palavras-chave: Cacau, mucilagem, adoçante natural, panificação, alimentação

Introducción

Actualmente, la industria alimentaria enfrenta el reto de la necesidad de ofrecer productos más saludables, que incluyan la reducción de azúcar refinado, por estar relacionado con la obesidad, diabetes y otras enfermedades (Villaruel-Bastidas, 2024). Dentro de este contexto, Chico (2022) menciona que, el mucílago de cacao, podría ser considerado en esta sustitución, en primer lugar, por su potencial funcional debido a la presencia de compuestos antioxidantes, azúcares fermentables, fibra, vitaminas y minerales importantes.

La producción de cacao fino y de aroma en el mundo tiene a Ecuador como uno de los principales y más reconocidos productores. La mezcla de la miel mucílago de cacao con otros ingredientes en el mercado de la alimentación podría convertirse en una opción estratégica para diversificar los usos del cacao más allá de su grano en el valor agregado, así como también fortalecer la cadena de valor del cacao en Ecuador. Además, la industria de la panificación y la

alimentación podrían obtener un endulzante que sea natural y funcional con la capacidad de diferenciar sus productos por atributos saludables, sostenibles y de identidad local, en línea con el consumo responsable, una tendencia transversal a nivel global (Villarroel-Bastidas, 2024).

El uso del mucílago de cacao según las investigaciones previas, también ha tenido como finalidad relacionarse con los principios de la economía circular y la sostenibilidad ambiental al convertir los desechos del procesamiento de cacao en productos de alto valor, dando lugar a un estudio evaluativo que tenga como objetivo de verificar la implementación de la miel mucílago del cacao como una opción viable para reemplazar el azúcar (Izurieta-Castelo, 2025).

El estudio de Hernández & otros (2025) evaluó el potencial del mucílago de cacao como fuente de microorganismos fermentativos en la elaboración de pan artesanal. Los autores aislaron levaduras y bacterias ácido-lácticas del mucílago, las identificaron mediante métodos microbiológicos y las emplearon como cultivos iniciadores naturales en formulaciones de masa madre. Los resultados demostraron que los panes elaborados con estos cultivos presentaron un mayor volumen, textura más suave, aroma más complejo y mejor acidez controlada en comparación con los obtenidos con levaduras comerciales. En conclusión, el mucílago de cacao se presenta como un insumo funcional viable en la panificación, contribuyendo a mejorar la calidad sensorial del producto y promoviendo el aprovechamiento sostenible de subproductos del cacao.

El mucílago del cacao, que es la pulpa azucarada que rodea los granos tras la apertura de la mazorca, presenta una composición rica en azúcares simples y ácidos orgánicos, lo que lo convierte en un subproducto de alto valor funcional. Por ejemplo, un estudio reportó que el exudado de mucílago de cacao contenía hasta 26.52 % a 29.71 % p/p de azúcares simples (fructosa y glucosa) y alrededor de 6.77 % a 16.42 % p/p de sacarosa, junto a ácidos cítrico, málico, láctico, tartárico y fumárico (Guzmán Armenteros, Luis Santiago Guerra, Jenny Ruales, & Luis Ramos-Guerrero, 2025).

La utilización del mucílago en panificación presenta además ventajas tecnológicas y nutricionales: al sustituir azúcar convencional por mucílago, se puede disminuir el índice glucémico del pan, incrementar la fibra dietaria, y añadir compuestos bioactivos asociados al cacao, como fenoles y metilxantinas, lo que confiere al producto final un carácter diferencial (Mounya & Akkina Rajani Chowdary, 2024). El uso de azúcares libres en los ingredientes de las masas, por una cuestión funcional, favorece la fermentación de la masa por las levaduras. En cambio, los polisacáridos y la fibra soluble pueden modular la absorción de agua, la viscosidad de la masa y la macroestructura del pan, reflejada en su miga.

La incorporación de harinas derivadas de subproductos del cacao —por ejemplo, la harina de cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*)— en formulaciones de panificación modifica de forma significativa las propiedades físico-químicas del producto final. En un estudio realizado en Pucallpa, la sustitución parcial de harina de trigo por harina de cáscara de cacao al 10 % condujo a un pan con humedad alrededor de 29.82 % y contenido de fibra dietaria de 2.99 g/100 g, superior al testigo (Kidangathazhe, y otros, 2025).

Desde el punto de vista de textura y volumen, se observa que niveles altos de sustitución pueden incrementar la dureza de la miga y reducir el volumen específico del pan. Por ejemplo, al reemplazar parte de la grasa por cascarilla de cacao al 20 %, 40 %, 60 % en productos horneados, se observó un aumento estadísticamente significativo de la fuerza y dureza de la masa y del pan horneado (FAO, 2023).

En relación con parámetros sensoriales y tecnológicos, la elasticidad se refiere a la capacidad de la masa de regresar a su forma inicial tras una deformación; este atributo contribuye al volumen final y a la miga aireada. Un estudio en sustitución de harina de trigo por 10 % de harina de mijo tratada térmicamente demostró que la masa alcanzó una fuerza mayor (0.81 N vs 0.34 N en control) y se obtuvo volumen específico cercano al control (4.19 cm³/g vs

4.78 cm³/g) lo que sugiere que pequeñas alteraciones en la masa no afectan en gran medida la elasticidad estructural cuando la sustitución es moderada.

La metodología más empleada en estos estudios incluye escalas hedónicas (por ejemplo 5 o 9 puntos), paneles de consumidores no entrenados y, en algunos casos, paneles entrenados para perfil descriptivo. Por ejemplo, un estudio sobre la aceptación sensorial de diferentes panes de molde empleó métodos CATA (Check-All-That-Apply) y JAR (Just-About-Right) para determinar atributos clave según región geográfica y demografía (Żakowska Biemans & Eliza Kostyra, 2023). Este tipo de análisis permite identificar no solo la aceptabilidad global sino los atributos que necesitan optimización (como dulzor, humedad, corteza) para mejorar la formulación.

La presente investigación se fundamenta en el hecho de que en Ecuador existen diversas zonas dedicadas al cultivo de cacao, junto con laboratorios universitarios con la capacidad de realizar los análisis bromatológicos, microbiológicos y otros requeridos; pudiendo evaluar el desempeño de la miel del mucílago de cacao como edulcorante natural en formulaciones de panificación, mediante el análisis de sus efectos sobre las propiedades físico-químicas, sensoriales y tecnológicas del producto final.

Metodología

La investigación se centró en la evaluación de la miel del mucílago de cacao como edulcorante natural en formulaciones de panificación, un trabajo que se desarrolló en el laboratorio de agroindustrias del Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila. Es por ello que el universo abarcó todas las formulaciones de pan que contienen diferentes porcentajes de sustitución de azúcar con la miel del mucílago de cacao. La muestra comprendió los tratamientos seleccionados que fueron analizados en relación a las pruebas fisicoquímicas,

tecnológicas y sensoriales. Por otra parte, en lo sensorial, se hizo un panel de evaluadores, los cuales cuentan con conocimientos previos y técnicos en los análisis sensoriales.

Tabla 1
Operacionalización de variables independientes

Variables Independientes	Conceptualización	Indicadores	Instrumento
A: Porcentaje de sustitución de la miel de mucílago de cacao.	Proporción en la que la miel del mucílago de cacao reemplaza al azúcar refinado en las formulaciones de panificación.	A1: 0% A2: 25% A3: 50% A4: 75% A5: 100%	Balanza analítica

Nota: La tabla refleja la variable independiente que se utilizó en la muestra, donde la proporción varía desde 0% de miel de mucílago hasta el 100%, pudiendo evaluar el comportamiento de las masas y el producto final (Marín & Castro, 2025).

Tabla 2
Operacionalización de variables dependientes

Variables Dependientes	Conceptualización	Indicadores	Instrumento
Comportamiento tecnológico de las masas	Se refiere al conjunto de propiedades físicas y reológicas que presenta la masa durante el proceso de mezclado, fermentación y horneado, las cuales determinan su elasticidad, volumen y capacidad de retención de gases (Pérez, 2023).	Fermentación Volumen Elasticidad	Cronómetro Fórmula Cinta métrica
Análisis Físico Químico	Corresponde a la evaluación de las propiedades químicas y físicas de las formulaciones elaboradas con la miel del mucílago de cacao, con el fin de determinar su estabilidad, acidez, concentración de sólidos solubles y características visuales (Martínez, 2022).	pH °Brix Acidez Corteza y Miga (color y textura)	pHmetro Brixómetro Equipo de titulación Evaluación visual estandarizada
Características organolépticas	Son los atributos perceptibles por los sentidos que determinan la aceptabilidad del producto final, evaluando aspectos como color, olor, sabor, textura y aceptación global del consumidor (Rodríguez, 2024).	Color Olor Sabor Textura Aceptación global	Escala hedónica
Análisis Bromatológicos	Consiste en el estudio cuantitativo de los principales componentes nutricionales del pan elaborado con la miel del mucílago de cacao, para determinar su composición proximal y calidad alimentaria (Cedeño, 2021).	Proteínas Grasa Fibra Cenizas Humedad	Método Kjeldahl Soxhlet Equipo Fibra Mufla Horno de secado

Nota: Se precisan las variables dependientes que respaldaron el análisis sistemático del comportamiento de las muestras frente a las variaciones correspondientes al estudio, sistematizando la información recopilada (Marín & Castro, 2025).

Diseño de la investigación

DCA (Diseño Completamente Aleatorizado) con 5 tratamientos y tres repeticiones para un total de 15 unidades experimentales, Los resultados de los tratamientos se analizaron mediante un programa estadístico versión libre (IBM SPSS). Para comparar los efectos de los niveles de sustitución se aplicó ANOVA de una vía y una Prueba de Tukey para diferencias significativas entre tratamientos.

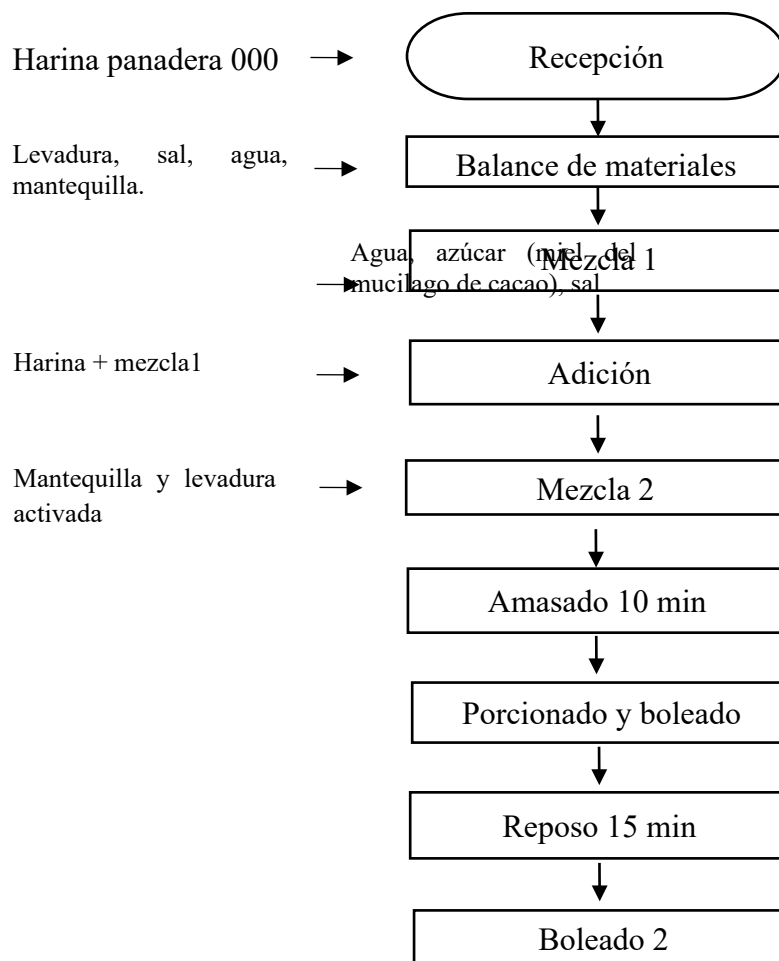
Tabla 3
Tratamientos para el estudio experimental

Nombre	Tratamientos	Repeticiones
T1	Azúcar 100% - mucílago 0%	R1, R2, R3
T2	Azúcar 75% - mucílago 25%	R1, R2, R3
T3	Azúcar 50% - mucílago 50%	R1, R2, R3
T4	Azúcar 25% - mucílago 75%	R1, R2, R3
T5	Azúcar 0% - mucílago 100%	R1, R2, R3

Nota: La tabla enfatizó en la las variaciones que existen para cada uno de las muestras donde los resultados fueron evaluados a partir de los datos recopilados en su totalidad (Marín & Castro, 2025).

Proceso de panificación

Diagrama de flujo de elaboración del pan



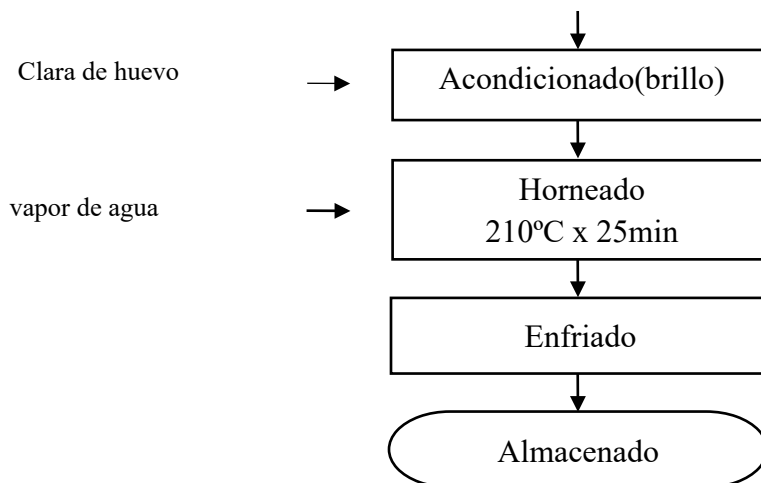


Figura 1. Diagrama de flujo de elaboración del pan
Nota: Diagrama de flujo representativo del proceso de panificación. **Fuente:** (Marín & Castro, 2025).

Descripción del proceso

1. **Recepción:** La materia prima principal para este proceso fue la harina integral, siendo ésta aquella que contiene todas las partes del trigo. Se pesó para determinar las cantidades de los demás ingredientes. (1Kg)
2. **Balance de materiales:** Según la cantidad de harina que entra al proceso se proporcionó a los demás ingredientes de acuerdo a la formulación

Tabla 4
 Balance de materiales en el proceso de panificación

Ingredientes	T 1	T 2	T3	T4	T 5
Levadura	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%
Agua	33%	33%	33%	33%	33%
Sal	1%	1%	1%	1%	1%
Huevos	12%	12%	12%	12%	12%
Aceite vegetal	10%	10%	10%	10%	10%
Azúcar	43%	30%	21.5%	13%	0%
Mucilago	0%	13%	21.5%	30%	43%

Nota: Las formulaciones se realizaron en cinco tratamientos, manteniendo constantes los demás ingredientes y variando únicamente la proporción de azúcar y mucilago. Esta sustitución progresiva permitió evaluar el efecto del mucilago en el proceso de panificación (Marín & Castro, 2025).

1. **Activación de la levadura:** Este insumo natural es el que produjo la fermentación del pan otorgándole su olor y sabor característico. Este proceso se llevó a cabo añadiendo a la levadura agua tibia, una pizca de azúcar y dejando en reposo por 10 min.

2. **Mezcla1:** se disolvió en el agua la sal y el azúcar.
3. **Adición:** se añadió a la harina a la disolución preparada con el agua la sal y azúcar
4. **Mezclado 2:** Se adicionó la mantequilla y la levadura previamente activada
5. **Amasado:** una vez incorporados todos los ingredientes se amasó durante 10 min aproximadamente.
6. **Porcionado y boleado:** esta etapa se realizó para obtener piezas de masa de igual peso. En este caso 40 g. se realizó también el boleado para formar la estructura del pan.
7. **Reposo:** Se dejó reposar la masa por un periodo de 15 min.
8. **Boleado 2:** se realizó para dar mejor estructura al pan y que resista los cortes
9. **Fermentación:** Se dejó reposar la masa por un periodo de 30 min. El reposo da paso a la fermentación de la masa la generación de gas carbónico y alcohol, estos producen el crecimiento de la masa, esponjosidad, olor y sabor característicos.
10. **Acondicionado:** Consistió en dar la presentación final al pan, se realizaron cortes en la superficie, y con ayuda de una brocha se barnizó cada pan con clara de huevo.
11. **Horneado:** aquí el pan alcanzó su máximo desarrollo; la temperatura de horneado recomendada para este tipo de pan fue de 210°C a 220°C por 20 a 25 min
12. **Enfriado:** una vez salido del horno el pan se dejó en reposo por un periodo de 10 min para que se desprenda el vapor generado por la cocción.
13. **Empacado:** se dio al producto terminado una buena presentación que garantice su inocuidad.
14. **Almacenado:** esta etapa se encargó de la adecuada manipulación del producto antes de llegar al consumidor final. En el caso del pan temperatura ambiente, y libre de focos de contaminación.

1. Descripción de análisis:

- **Análisis Físicoquímicos**

pH: se determinó con tiras de prueba utilizando una muestra diluida; es decir que se diluyó 10gr. de pan en 100 ml de agua destilada, se dejó en reposo media hora para que se asiente, tomamos el líquido de la parte superior tomar la medida en el pH metro

Grados Brix (°Brix): se midió con refractómetro digital Milwaukee MA871, previamente calibrado.

$$^{\circ}\text{Brix corregidos} = ^{\circ}\text{brix medido} \times \frac{\text{Muestra + agua}}{\text{Muestra}} \times 100$$

Al no encontrar una referencia en grados °Brix para productos de panificación, se tomaron tres muestras comerciales, y basándonos en los azúcares de su tabla nutricional pudimos establecer un rango de grados brix, para este tipo de pan.

$$1 \text{ } ^{\circ}\text{Brix} = \text{a 1g. de sacarosa en 100 gr de solución}$$

Humedad: se analizó mediante el método gravimétrico en estufa a 105 °C hasta peso constante.

$$\text{Humedad } (\%) = \frac{\text{Masa de agua en la muestra de pan } (g)}{\text{Masa inicial de la muestra de pan } (g)} \times 100$$

Análisis sensorial: se efectuó con un panel de 11 catadores semi-entrenados, quienes evaluarán panes con diferentes niveles de sustitución de azúcar por mucílago, considerando color, aroma, sabor, textura y aceptación global.

Corteza y Miga: Evaluación visual estandarizada sobre las características propias del producto.

(color y textura) Evaluación visual estandarizada sobre las características propias del producto.

Análisis bromatológicos: las muestras del mejor tratamiento y Testigo, fueron evaluadas en el laboratorio certificado **AGROLAB**, para su posterior análisis.

Resultados

Análisis de los resultados durante el proceso de panificación con la miel del mucílago

Durante el proceso de panificación, la sustitución inversa del azúcar por miel de mucílago de cacao modificó las características fisicoquímicas de las formulaciones, directamente en el pH, la acidez (inicial/final) y el contenido de sólidos solubles. Estas variables están relacionadas con la fermentación de la masa y el desarrollo del producto final, pudiéndose observar variaciones progresivas mientras se aumentó el porcentaje de sustitución.

Supuestos del ANOVA en las variables dependientes

Se utilizó para determinar si había diferencias significativas entre los tratamientos de panificación, con diferentes niveles de sustitución parcial de azúcar por miel de mucílago de cacao, para pH, acidez (inicial/final) y sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix).

Análisis de varianza para las muestras de pan

La figura 10 resume los valores obtenidos de las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene aplicadas a las variables dependientes del estudio. Los resultados muestran que las variables cumplieron con la suposición de normalidad y homogeneidad de varianza ($p > 0.05$), lo que permite la aplicación del análisis de varianza de un solo factor (ANOVA). Además, el ANOVA mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$).

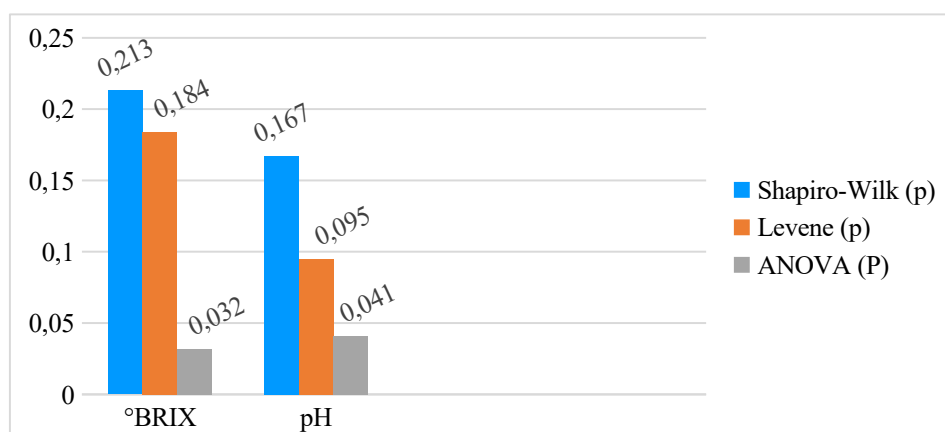


Figura 2. Resumen de p-valores de las pruebas estadísticas aplicadas
Nota: Nivel de significancia $\alpha = 0,05$; diferencias significativas (Marín & Castro, 2025).

Análisis de varianza para la variable Brix

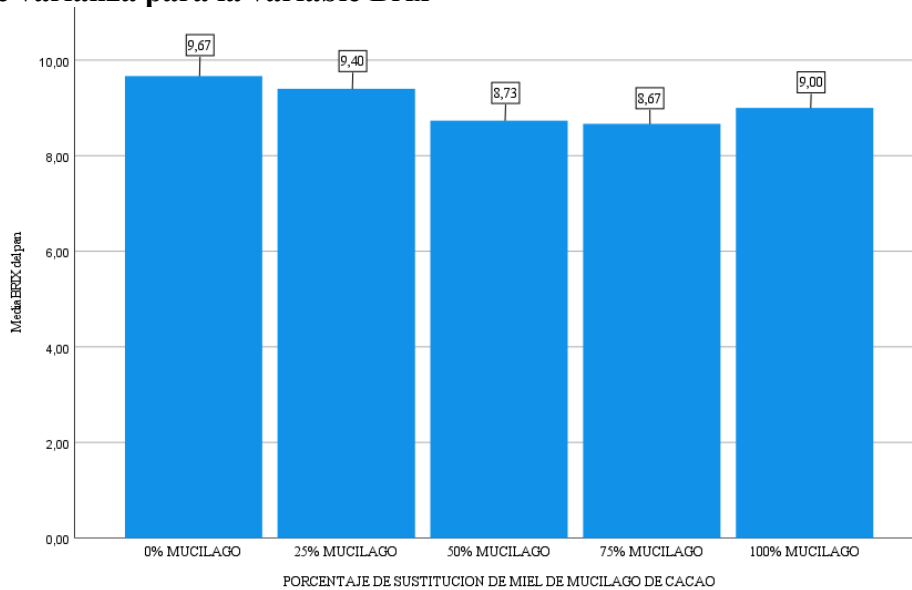


Figura 3. Media descriptiva del °Brix del pan,

Nota: El análisis estadístico del contenido de sólidos solubles (°Brix) del pan elaborado con diferentes porcentajes de sustitución de azúcar por miel de mucílago de cacao se realizó mediante un ANOVA de una vía, considerando cinco tratamientos (0%, 25%, 50%, 75% y 100%), con tres repeticiones cada uno (Marín & Castro, 2025).

Los resultados del ANOVA indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ($F = 2,322$; $p = 0,128$), dado que el valor de significancia es mayor al nivel de confianza establecido ($\alpha = 0,05$). Esto sugiere que la sustitución progresiva del azúcar por miel de mucílago de cacao no genera variaciones significativas en el contenido de °Brix del pan (Marín & Castro, 2025).

Complementariamente, la prueba post hoc HSD de Tukey confirmó la ausencia de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, ya que todos los niveles de sustitución se agrupan en un único subconjunto homogéneo. Las medias oscilaron entre 8,67 °Brix (75% de mucílago) y 9,67 °Brix (0% de mucílago), con un valor de significancia global de 0,166, lo que respalda los resultados obtenidos en el ANOVA.

Tabla 5.
Estimación de grados brix en marcas comerciales

Muestra	Porción	Azúcar T/N	VALOR °BRIX
Pan Gourmet Brioché MODERNA	35	3,6	10°B
Pan brioché bimbo	38	24	8° B
Pan brioché cyrano	70	25,4	5°B

Nota: La estimación de grados °Brix se hizo para evaluar de manera objetiva la implementación de la miel de mucílago en el pan brioché que desarrollamos en el laboratorio (Marín & Castro, 2025).

Tabla 6.
Resultados de corrección y medias por tratamiento de °Brix (relación 1:1)

Tratamientos	Brix Medidos	Muestra	Agua	°Brix corregidos	Media
T1R1	4,9	10	10	9,8	9,67
T1R2	4,8	10	10	9,6	
T1R3	4,8	10	10	9,6	
T2R1	4,5	10	10	9	9,40
T2R2	4,8	10	10	9,6	
T2R3	4,8	10	10	9,6	
T3R1	3,9	10	10	7,8	8,73
T3R2	4,4	10	10	8,8	
T3R3	4,8	10	10	9,6	
T4R1	4,2	10	10	8,4	8,67
T4R2	4,2	10	10	8,4	
T4R3	4,6	10	10	9,2	
T5R1	4,5	10	10	9	9,00
T5R2	4,6	10	10	9,2	
T5R3	4,4	10	10	8,8	

Nota: La corrección y medias por tratamiento de °Brix (relación 1:1) nos ayudó a ordenar de manera sistemática cada uno de los tratamientos con su respectiva variante (Marín & Castro, 2025).

Análisis de varianza para la variable pH

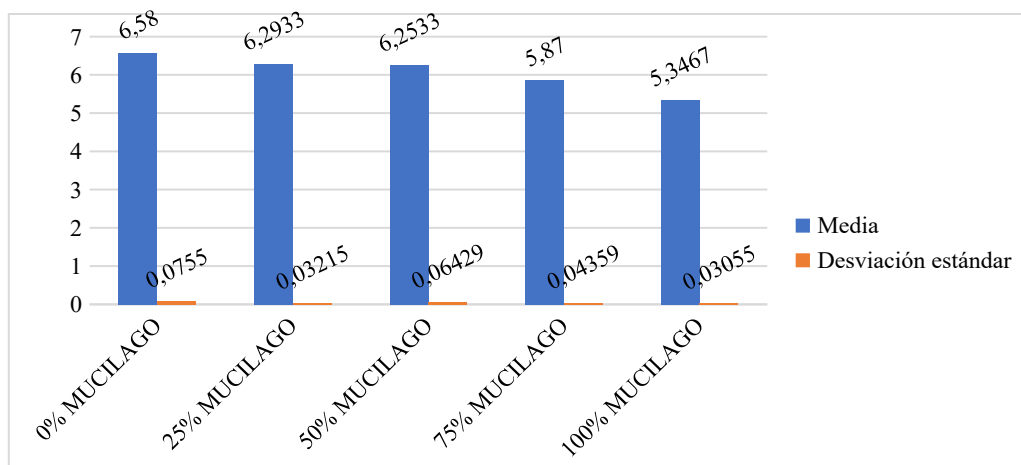


Figura 4. Medias (descriptivos) pH

Nota: Los valores descriptivos del pH del pan evidencian una disminución progresiva conforme aumenta el porcentaje de sustitución parcial del azúcar por miel de mucílago de cacao. El tratamiento control (0 % de mucílago) presentó el mayor valor medio de pH (6,58 ± 0,08), mientras que el tratamiento con sustitución total (100 % de mucílago) registró el valor más bajo (5,35 ± 0,03) (Marín & Castro, 2025).

Esta tendencia sugiere que la incorporación de miel de mucílago de cacao incrementa la acidez del sistema, lo cual podría influir en la actividad fermentativa y en las características sensoriales del producto final.

El análisis de varianza (ANOVA) de un factor aplicado a los valores de pH del pan evidenció la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ($F = 248,209$; $p < 0,001$). Estos resultados indican que el nivel de sustitución parcial del azúcar por miel de mucílago de cacao influye de manera significativa en el pH del producto final.

La prueba de comparación múltiple de Tukey nos permitió determinar qué tratamientos diferían significativamente entre sí. El tratamiento de control (0% de mucílago) tuvo el valor de pH más alto, que fue significativamente diferente de los tratamientos con los niveles de sustitución más altos. Los tratamientos de 25% y 50% de mucílago formaron el mismo subgrupo homogéneo, mientras que los tratamientos de 75% y 100% registraron valores significativamente más bajos, demostrando así el efecto acidificante de la miel junto con el mucílago de cacao.

Análisis de varianza para la variable acidez

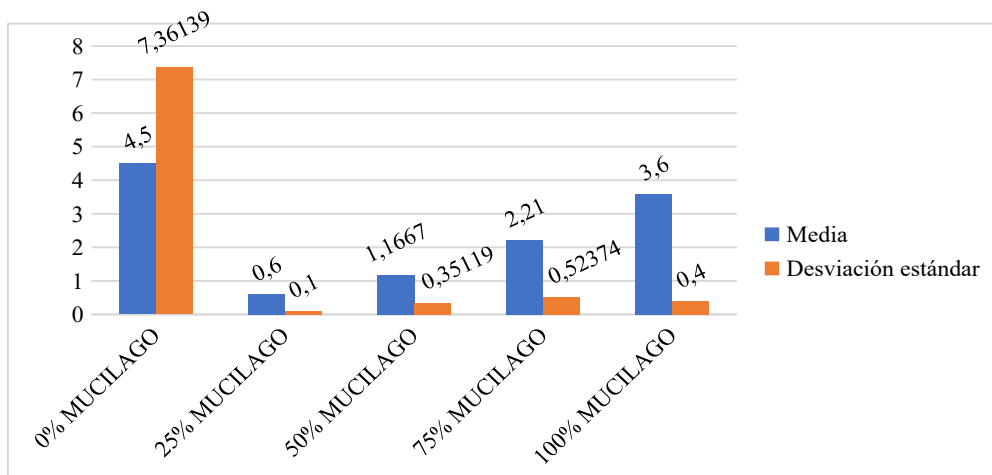


Figura 5. Medias (descriptivos) acidez inicial de cada tratamiento y su variable
 Nota: Se pudo visualizar el análisis de 15 repeticiones desde su media descriptiva dentro del programa IBM SPSS (Marín & Castro, 2025).

En la figura 5 de estadísticas descriptivas de la acidez inicial del pan, se muestran los valores promedio de acidez, variabilidad y rango de los cinco tratamientos evaluados, correspondientes a diferentes porcentajes de sustitución de azúcar por miel de mucílago de cacao. El tratamiento de control (0% mucílago) tuvo un promedio de acidez de 4.50, con una

alta desviación estándar acompañante, lo que muestra una gran dispersión de los datos. En los tratamientos de sustitución de azúcar del 25% y 50%, las acideces promedio fueron de 0.60 y 1.17, respectivamente, y mostraron menos variabilidad, logrando así una mayor homogeneidad entre las repeticiones. Mientras tanto, en los tratamientos de sustitución del 75% y 100%, las acideces promedio fueron de 2.21 y 3.60, respectivamente, y presentaron valores de dispersión intermedios. En general, los resultados mostraron un aumento progresivo de la acidez, con un valor mínimo y un valor máximo de acidez inicial de 0.20 y 13.00, respectivamente, en la muestra total, a medida que aumentaba el porcentaje de miel de mucílago de cacao.

En el presente estudio, el ANOVA realizado para la variable acidez inicial del pan no mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,592$), valor superior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0,05$). En consecuencia, al no rechazarse la hipótesis nula de igualdad de medias, no se justifica la aplicación de pruebas post hoc, ya que estas están diseñadas para identificar específicamente entre qué grupos se presentan dichas diferencias. Por tanto, la prueba de Tukey no fue aplicada para esta variable, considerándose que los tratamientos evaluados presentan un comportamiento estadísticamente similar en términos de acidez inicial.

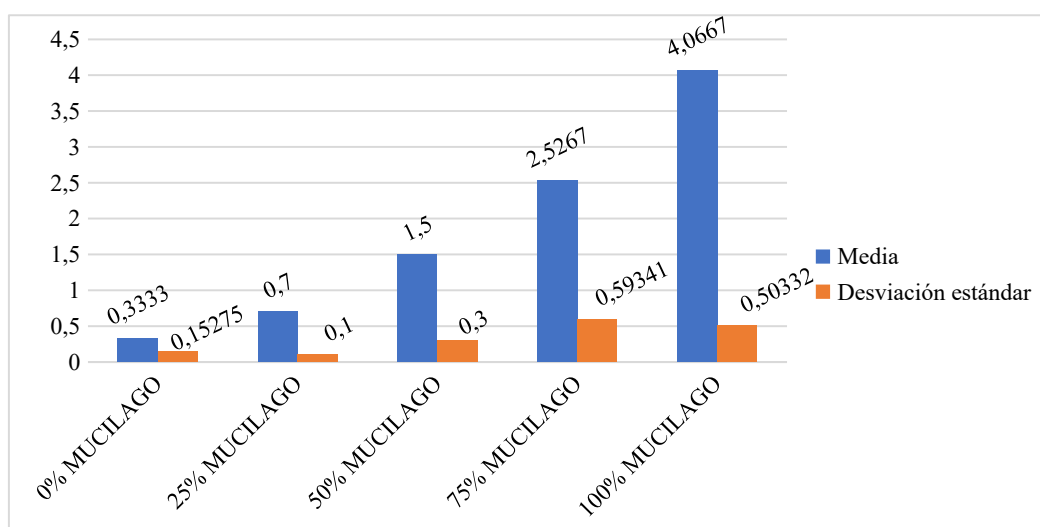


Figura 6. Medias (descriptivos) acidez inicial

Nota: Los resultados muestran un aumento gradual de la acidez final conforme se incrementa el porcentaje de miel de mucílago de cacao, con valores mínimos y máximos comprendidos entre 0,20 y 4,60 en el conjunto total de las muestras (Marín & Castro, 2025).

El valor de significancia obtenido ($p < 0,05$) indica la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados en relación con la acidez final del pan. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias, evidenciándose que el porcentaje de sustitución del azúcar por miel de mucílago de cacao influyó significativamente en la acidez final del producto.

Interpretación de resultados bromatológicos

Tabla 5.

Composición bromatológica de las muestras de pan (base húmeda y base seca)

Parámetro	Muestra testigo (8846) Base húmeda (%)	Muestra T5 (8847) Base húmeda (%)	Muestra testigo (8846) Base seca (%)	Muestra T5 (8847) Base seca (%)
Humedad	25,35	20,35	—	—
Proteína	7,67	9,89	10,28	12,42
Extracto etéreo (grasa)	19,86	19,37	26,60	24,32
Ceniza	0,81	1,48	1,08	1,86
Fibra	1,19	1,53	1,60	1,92
E.L.N.N (otros)	45,12	47,38	60,44	59,48

Nota: Los valores se expresan en porcentaje (%). E.L.N.N = Extracto libre no nitrogenado. La base húmeda corresponde al producto tal como se analiza y la base seca se calcula excluyendo el contenido de humedad (Marín & Castro, 2025).

De acuerdo con el análisis bromatológico realizado a las muestras de pan (Muestra Testigo N.º 8846 y Muestra T5 N.º 8847), se obtuvieron los siguientes resultados e interpretaciones:

Contenido de humedad:

La muestra testigo presentó un contenido de humedad del 25,35%, mientras que la muestra T5 mostró un valor menor de 20,35%. Esto indica que el pan T5 posee una menor cantidad de agua, lo cual puede favorecer una mayor estabilidad y vida útil del producto en comparación con la muestra testigo.

Proteína:

En base seca de la muestra de prueba, los resultados mostraron un 7.67% de proteína, mientras que la muestra T5 mostró un 9.89% de proteína. Así, se notó un aumento en el contenido de proteína del pan T5. Los números en base seca de proteína mostraron aumentos

del 10.28% para la muestra de prueba y del 12.42% para la muestra T5, que mostró una mejora adicional en la formulación T5.

Extracto etéreo (grasa):

En base húmeda y seca, la muestra de prueba mostró un 19.86% y un 26.60% respectivamente, mientras que la muestra T5 mostró un 19.37% y un 24.32%. Estos resultados indican que hay un contenido de grasa ligeramente menor en la muestra T5.

Cenizas:

En base seca, la muestra T5 (1.48%) tuvo un mayor contenido de cenizas que la muestra de prueba (0.81%), lo que indica que el pan T5 tiene un mayor contenido de minerales. En base seca, los valores muestran la misma tendencia, con la muestra T5 teniendo un 1.86% y la muestra de prueba teniendo un 1.08%.

Fibra:

La muestra T5, teniendo un mayor contenido de fibra (1.53%) que la muestra de prueba (1.19%), muestra un mayor beneficio nutricional, ya que la fibra contribuye a una mejor digestión y salud intestinal.

Extracto libre no nitrogenado (E.L.N.N):

El E.L.N.N, que representa principalmente los carbohidratos disponibles, fue de 45,12% en la muestra testigo y 47,38 % en la muestra T5. Esto indica que el pan T5 posee un mayor contenido de carbohidratos aprovechables como fuente de energía.

Discusión

Los resultados evidencian que la sustitución parcial y total del azúcar por miel de mucílago de cacao no genera diferencias estadísticamente significativas en el contenido de sólidos solubles (°Brix) del pan. Aunque se observa una leve tendencia a la disminución del °Brix en los tratamientos con niveles intermedios de sustitución, estas variaciones no fueron

significativas desde el punto de vista estadístico. Este comportamiento se atribuye a la presencia de azúcares naturales en el mucílago de cacao, los cuales contribuyen al contenido total de sólidos solubles y compensan la reducción del azúcar refinado. La formación de un único subconjunto homogéneo en la prueba de Tukey confirma que todos los tratamientos presentan un comportamiento similar en términos de °Brix. En consecuencia, los resultados respaldan la viabilidad del uso de miel de mucílago de cacao como sustituto del azúcar en panificación, sin afectar significativamente esta propiedad fisicoquímica, lo que refuerza su potencial aplicación en el desarrollo de productos alimentarios más sostenibles.

Los resultados indican que el nivel de sustitución de azúcar por miel de mucílago de cacao es un factor que influye en el pH del pan y que la disminución de pH es de carácter progresivo, lo que fue confirmando el análisis de varianza ($p < 0,001$). Este comportamiento se puede asociar a la presencia de ácidos orgánicos en el mucílago de cacao que tienden a modificar el equilibrio ácido-base. La prueba de Tukey establece que el tratamiento con sustitución intermedia (25 y 50 por ciento) no fueron significativamente diferentes; en tanto, los de mayor porcentaje (75 y 100 por ciento) presentaron pH significativamente inferiores. Estos resultados permiten establecer que el uso de miel de mucílago de cacao como edulcorante tiene un valor tecnológico para la elaboración de pan, de modo que, en los niveles de sustitución que se han comportado de manera óptima, se puede conservar el nivel de azúcar requerido para la elaboración de la masa.

El comportamiento de la acidez del pan elaborado con sustitución parcial de azúcar por miel de mucílago de cacao evidenció diferencias relevantes entre la etapa inicial y final del proceso de panificación. En la acidez inicial, si bien se observaron variaciones numéricas entre los tratamientos, el análisis de varianza no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$), lo que indica que la incorporación de miel de mucílago, en los porcentajes evaluados, no influyó de manera significativa en la acidez del sistema al inicio del proceso. Este

comportamiento puede atribuirse a la dilución de los ácidos orgánicos presentes en el mucílago y a la interacción con los demás ingredientes de la formulación, los cuales amortiguan el efecto ácido en las primeras etapas de elaboración. En contraste, la acidez final presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$), evidenciando un incremento progresivo de la acidez conforme aumentó el porcentaje de sustitución. Este resultado sugiere que, durante el proceso de fermentación y horneado, los compuestos fermentables presentes en la miel de mucílago favorecen la actividad metabólica de los microorganismos, promoviendo la formación de ácidos orgánicos y la concentración de estos en el producto final. Desde una perspectiva tecnológica, los hallazgos sugieren que la miel de mucílago de cacao tiene un efecto más pronunciado en la acidez del pan en la etapa final del proceso, lo que debe tenerse en cuenta para optimizar la formulación y mantener un equilibrio entre la estabilidad físico-química y la aceptación sensorial.

Conclusión

La caracterización de la miel de mucílago de cacao a través de convección nos permite afirmar su potencial funcional debido a su contenido relevante de azúcares naturales, fibra soluble y compuestos bioactivos, así como un contenido óptimo de humedad para su uso en formulaciones alimentarias. Estos atributos respaldan su uso como alternativa al azúcar refinado en la panificación, mejorando el perfil nutricional del producto final.

También fue posible formular masas horneables al sustituir progresivamente la miel de mucílago de cacao por azúcar en los diferentes porcentajes evaluados, sin encontrar dificultades significativas durante la etapa de preparación. Las masas formuladas confirmaron una adecuada incorporación del mucílago en la matriz de la masa, demostrando su viabilidad tecnológica como edulcorante natural.

En cuanto al comportamiento tecnológico de las masas, se observó que la sustitución del azúcar por mucílago de cacao no afectó negativamente el proceso de fermentación, así

como las propiedades de volumen y elasticidad de las masas, especialmente en los tratamientos con los niveles más altos de sustitución. Esto indica que los azúcares en el mucílago pueden estimular la actividad fermentativa, creando condiciones favorables para el desarrollo de la masa.

La evaluación de pan horneado y sus propiedades fisicoquímicas demostró que el pH y los °Brix se ven afectados significativamente por el porcentaje de sustitución de azúcar por mucílago de cacao. A medida que la sustitución se fue aumentando, el pH se redujo y los sólidos solubles aumentaron. En la acidez, se mantuvieron sin diferencias significativas en la etapa inicial, y se detectaron diferencias en la acidez final, las cuales son estadísticamente significativas, esto indica que el mucílago afecta principalmente en el producto final.

La evaluación sensorial que se hizo con un panel semientrenado, detectó diferencias en la aceptabilidad general del pan entre los tratamientos estudiados. El tratamiento de 100% de sustitución de azúcar por mucílago de cacao obtuvo mayor aceptación sensorial colocándose como el mejor valorado por los jueces, lo que indica que la totalidad de la sustitución es no solo viable, sino que favorable desde el punto de vista organoléptico.

La comparación del perfil bromatológico entre el mejor tratamiento y la muestra testigo evidenció el mejoramiento en la calidad nutricional del pan elaborado con mucílago de cacao, principalmente por el contenido de fibra y los compuestos bioactivos.

Referencias Bibliográficas

Bastidas, J., Jonathan Steven Párraga-Maquilón, Cinthya Elizabeth Zapata Zambrano, María de Guide Córdoba, Alicia Rodríguez, Alejandro Hernández, & Josué Briones-Bitar. (22 de abril de 2025). Valorización del mucílago del cacao para la producción de cervezas artesanales: Un estudio de caso hacia la sostenibilidad de la industria del cacao en la provincia de Los Ríos. Obtenido de MPDI: <https://www.mdpi.com/2306-5710/11/3/57>

Cedeño, A. M. (2021). Determinación de la composición bromatológica de productos derivados de cereales. *Revista Ecuatoriana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 45–53.

Chico, M. F. (2022). Valorization of Cocoa by Products: Applications and Perspectives in the Food Industry. *Alimentos Ciencia e Ingeniería*, 2(29), 57-101. Obtenido de <https://doi.org/10.31243/aci.v29i2.1857>

FAO. (2023). El cacao en América Latina: sostenibilidad y aprovechamiento de subproductos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

García, M., Ruiz, A., Ismary OrtaIII, H. I., & Pérez, B. (2013). Uso, consumo y costo de medicamentos antimicrobianos controlados en dos servicios del hospital universitario "General Calixto García". Obtenido de *Rev haban cienc méd* [online]. 2013, vol.12, n.1, pp.152-161.

Guzmán Armenteros, T., Luis Santiago Guerra, Jenny Ruales, & Luis Ramos-Guerrero. (15 de enero de 2025). El mucílago de cacao ecuatoriano como ingrediente novedoso para medios de cultivo: revelando su potencial para el crecimiento microbiano y aplicaciones biotecnológicas. Obtenido de MDPI: <https://www.mdpi.com/2304-8158/14/2/261>

Hernández-Parada, N. G.-R.-D.-R.-Q.-E.-E.-H. (2025). Selección de cultivos iniciadores de masa madre a partir de levaduras y bacterias lácticas aisladas del mucílago del cacao mexicano y la pulpa del café para la mejora de la calidad del pan. MDPI, 9(11). doi: <https://doi.org/10.3390/fermentation11090498>

Herrera, M. M. (2004). Farmacoeconomía: eficiencia y uso racional de los medicamentos. Obtenido de *Revista Brasileira de Ciencias Farmacéuticas* 40(4).

Izurietta-Castelo, M. I.-M.-C.-V.-Q.-C. (2025). Optimización del manejo de residuos orgánicos en plantaciones de cacao: Potencial de subproductos en sistemas de economía circular. *MLAJ – Multidisciplinary Latin American Journal*(3), 536-553.

Jacome, A. (2008). Historia de los medicamentos. Obtenido de *Vademecum Med-Informatica* 2 Edición.

Kidangathazhe, A., Theresah Amponsah, Abhijit Maji, Seidu Adams, Maria Chettoor, Xiqing Wang, & Joy Scaria. (marzo de 2025). Edulcorantes sintéticos frente a no sintéticos: sus efectos diferenciales sobre la diversidad y la función del microbioma intestinal. Obtenido de *frontiers*: https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2025.1531131/full?utm_source.com

Lagos Hartard, M. I. (2022). Panorama científico sobre edulcorantes naturales y artificiales, su relación con enfermedades crónicas y sus usos como edulcorantes no calóricos. Repositorio académico de la Universidad de Chile. Obtenido de https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/192603?utm_source

Marín, N., & Castro, J. (2025). Evaluación de la miel de mucílago de cacao (*Theobroma cacao*) como edulcorante natural en formulaciones de panificación. Tesis, Instituto Tecnológico Superior Tsachila, Santo Domingo.

Martínez, D. L. (2022). Análisis físico-químico en alimentos y su relación con la calidad tecnológica. *Revista de Agroindustria y Calidad Alimentaria*, 27–35.

Mounya, K., & Akkina Rajani Chowdary. (30 de agosto de 2024). Optimización de la recuperación de pectina asistida por ultrasonidos a partir de subproductos del cacao mediante la metodología de superficie de respuesta. Obtenido de *pubMed*: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38551402/>

Padrón, C., Quesada, N., Pérez, A., González, P., & Martínez, L. (2014). Important aspects of scientific writing. Obtenido de *Rev Ciencias Médicas* vol.18 no.2 Pinar del Río mar.-abr. 2014.

Pérez, J. &. (2023). Evaluación del comportamiento tecnológico de masas en panificación artesanal con sustitutos naturales de azúcar. *Journal of Food Engineering and Technology*, 112-121.

Rodríguez, C. &. (2024). Influencia de las características organolépticas en la aceptabilidad de productos panificados con edulcorantes naturales. *Food Science Journal Latinoamérica*, 88–97.

Villarroel-Bastidas, J. A.-R.-Z. (2024). Efecto del mucílago de cacao en la bioconservación de carnes. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria*, 269-287.

WHOCC, . (2018). Purpose of the ATC/DDD system Norwegian Institute of Public Health. Obtenido de Who Collaborating Centre for Drug Statistics Methodology.: https://www.whocc.no/atc_ddd_methodology/purpose_of_the_atc_ddd_system/

Żakowska Biemans, E., & Eliza Kostyra. (4 de enero de 2023). Perfil sensorial, percepción y aceptación por parte de los consumidores del pan de trigo y centeno enriquecido con fibra dietética. Obtenido de MDPI: https://www.mdpi.com/2076-3417/13/2/694?utm_source.com