

Artículo

Influencia de biocatalizadores naturales con levadura en la calidad sensorial del chocolate 70%

Influence of natural biocatalysts with yeast on the sensory quality of chocolate 70%

Juliana Criollo-Feijoo ^{1*}

¹ Carrera de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud, Universidad Técnica de Machala (UTMACH), Machala 070151, Ecuador; <https://orcid.org/0000-0002-8121-0880>

* Correspondencia: jcriollo@utmachala.edu.ec

 <https://doi.org/10.70881/mcj/v4/n1/137>

Cita: Criollo-Feijoo, J. (2026). Influencia de biocatalizadores naturales con levadura en la calidad sensorial del chocolate 70%. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 4(1), 395-409. <https://doi.org/10.70881/mcj/v4/n1/137>

Recibido: 11/02/2026
Revisado: 14/03/2026
Aceptado: 16/03/2026
Publicado: 18/03/2026



Copyright: © 2026 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la [Licencia Creative Commons, Atribución- NoComercial 4.0 Internacional. \(CC BY-NC\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

[\(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Resumen: El cacao (*Theobroma cacao L.*) es un cultivo estratégico para la economía ecuatoriana, pero las restricciones organolépticas de la variedad CCN-51 han motivado la búsqueda de estrategias biotecnológicas para mejorar su fermentación. En esta investigación se probó el efecto de biocatalizadores naturales (pulpa de guayaba y mucílago de nopal) combinados con *Saccharomyces cerevisiae* (0.5% y 1%) sobre parámetros fisicoquímicos y sensoriales durante la fermentación y posterior elaboración de chocolate al 70%. Se utilizó un diseño factorial 2² con cuatro tratamientos y un control, en el cual se midió temperatura, pH y °Brix durante 7 días, así como también se realizó una evaluación sensorial utilizando escala hedónica de 5 puntos. Los tratamientos con biocatalizadores presentaron mayores aumentos de temperatura (hasta 40,03 °C), disminución inicial del pH (3,63–3,83) que aumentó al día 7 (6,13–6,87) y sólidos solubles totales consumidos. No se encontraron diferencias significativas en color, olor, textura y apariencia, pero se encontraron tendencias positivas en sabor y amargor. Los resultados indican que la adición de biocatalizadores naturales beneficia la cinética fermentativa sin alterar la aceptabilidad sensorial.

Palabras clave: Fermentación de cacao; biocatalizadores naturales; *Saccharomyces cerevisiae*; calidad sensorial.

Abstract: Cocoa (*Theobroma cacao L.*) is a strategic crop for the Ecuadorian economy; however, the organoleptic limitations of the CCN-51 variety have driven the search for biotechnological strategies to improve its fermentation process. In this study, the effect of natural biocatalysts (guava pulp and nopal mucilage) combined with *Saccharomyces cerevisiae* (0.5% and 1%) was evaluated on physicochemical and sensory parameters during fermentation and subsequent production of 70% chocolate. A 2² factorial design with four treatments and one control was applied, in which temperature, pH, and °Brix were measured over seven days. Additionally, sensory evaluation was performed using a five-point hedonic scale. Treatments incorporating biocatalysts exhibited greater temperature increases (up to 40.03 °C), an initial decrease in pH (3.63–3.83) followed by an increase by day 7 (6.13–6.87), and complete consumption of total soluble solids.

No significant differences were observed in color, odor, texture, or appearance; however, positive trends were identified in flavor and bitterness. The results indicate that the addition of natural biocatalysts enhances fermentation kinetics without compromising sensory acceptability.

Keywords: Cocoa fermentation; natural biocatalysts; *Saccharomyces cerevisiae*; sensory quality.

1. Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es nativo de Mesoamérica (México, Guatemala y Honduras), con evidencias arqueológicas de consumo de hace más de 5000 años a.C., lo que demuestra su importancia histórica, cultural y económica (Saltos & Intriago, 2024). Su nombre científico deriva del griego y significa "alimento de los dioses", por el valor simbólico que tenía en las culturas prehispánicas (Navas et al., 2021). Actualmente el cacao es uno de los principales cultivos tropicales con mayor importancia económica a nivel mundial, siendo demandado por mercados nicho por la calidad sensorial y el origen del grano (Herrera-Feijoo et al., 2025; Rodríguez et al., 2022; Rios, 2020). En Ecuador, el cacao es un producto estratégico de exportación, pero prácticas inadecuadas en la postcosecha, específicamente en la fermentación, deterioran sus características organolépticas y disminuyen su valor comercial (Alvarado et al., 2020; Rosales et al., 2024).

Antes del boom petrolero, el cacao fue uno de los principales motores de la economía nacional, por eso se lo llamó "Pepa de oro" (Mendoza et al., 2022). Actualmente también se estudian sus compuestos fitoquímicos, como flavonoides, polifenoles y metilxantinas, relacionados con beneficios nutricionales y funcionales (Álvarez et al., 2022; Rocha et al., 2025). En Ecuador predominan las variedades Nacional y CCN-51, siendo la primera apreciada por su aroma delicado y la segunda por su alta productividad, pero con restricciones organolépticas que han motivado estudios para mejorar la fermentación usando enzimas y microorganismos seleccionados (Herrera-Feijoo et al., 2025; Morales et al., 2016; Lagos et al., 2024).

La fermentación del cacao es una etapa determinante para generar precursores de aroma y sabor. En este proceso se llevan a cabo reacciones bioquímicas complejas, tales como desnaturalización proteica, liberación de aminoácidos libres, oxidación de polifenoles y generación de compuestos volátiles como aldehídos y ésteres (Saltos & Intriago, 2024; Chaudhary, Mongia, & Drake, 2025). Las levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) producen etanol, CO₂ y enzimas hidrolíticas que degradan azúcares y liberan metabolitos secundarios; luego, las bacterias ácido-acéticas oxidan el etanol a ácido acético, generando aumentos de temperatura (hasta 50 °C) que matan al embrión y crean compuestos esenciales para el sabor (S. Á. Chávez et al., 2022; S. A. Chávez et al., 2023; Guzmán-Alvarez & Márquez-Ramos, 2021).

En este sentido, el uso de biocatalizadores naturales como el mucílago de nopal y la pulpa de guayaba se ha propuesto como una alternativa biotecnológica para mejorar la fermentación. Estos biocatalizadores albergan enzimas como el polifenol oxidasa (PPO), que catalizan la transformación de compuestos fenólicos y mejoran la

liberación de compuestos aromáticos precursores. Su asociación con cultivos iniciadores de levaduras seleccionadas resulta en una fermentación más controlada, predecible y eficiente, disminuyendo la variabilidad fisicoquímica del grano y estandarizando el perfil sensorial del chocolate (Alvarado et al., 2020; Rosales et al., 2024).

En los últimos tiempos se ha vuelto de interés el uso de cultivos iniciadores seleccionados en la industria cacaotera, lo que permite la reproducibilidad del proceso fermentativo y la disminución de defectos sensoriales relacionados con fermentaciones espontáneas (Aguayo Zambrano et al., 2026). Otros estudios han demostrado que la manipulación dirigida de comunidades microbianas puede mejorar la producción de metabolitos esenciales como ésteres y ácidos orgánicos, responsables del perfil aromático final del chocolate (Vásquez Cortez et al., 2025). Estas innovaciones no solo mejoran la competitividad del cacao ecuatoriano en los mercados internacionales, sino que también fomentan prácticas más sostenibles y tecnificadas en la cadena de valor del chocolate.

El objetivo de la investigación fue evaluar el uso de biocatalizadores naturales enzimas PPO de mucílago de nopal y pulpa de guayaba en presencia de *Saccharomyces cerevisiae* en la fermentación de cacao CCN-51 y su efecto en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del chocolate al 70 %, generando estrategias sustentables para mejorar la calidad del cacao ecuatoriano.

2. Materiales y Métodos

2.1 Materiales

El cacao CCN-51 fue adquirida en una finca ubicada en el cantón Pasaje, la pulpa de guayaba se compró en Machala y el mucílago de nopal en la parroquia La Iberia.

2.2 Métodos

La presente investigación fue de tipo experimental, descriptiva, cuantitativa, siguiendo la metodología de (Alvarado et al., 2020) con algunas adaptaciones. Se utilizó un diseño factorial 2², donde el primer factor fue el porcentaje de levadura (0.5% y 1%) y el segundo los biocatalizadores naturales (pulpa de guayaba y mucílago de nopal) como se muestra en la Tabla 1. Se obtuvieron 4 tratamientos experimentales con 3 repeticiones cada uno y un tratamiento control (T0).

Tabla 1.

Codificación de los tratamientos

Tratamientos	Código	Levadura (%)	Pulpa de guayaba (%)	Mucílago de nopal (%)
1	T0	-	-	-
2	G1	0,5	2	-

3	G2	1	2	-
4	N1	0,5	-	2,5
5	N2	1	-	2,5

Nota: T0: tratamiento control; G: Pulpa de guayaba; N: Mucílago de nopal

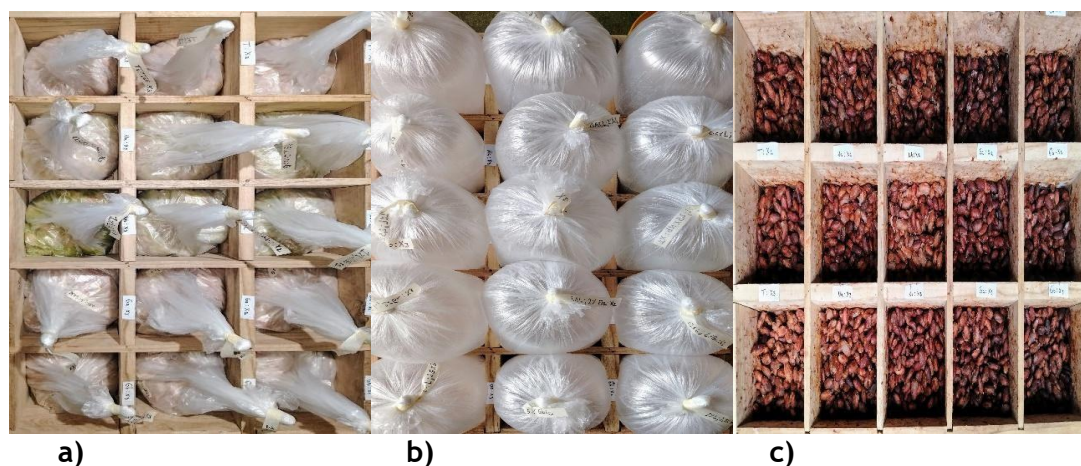
2.2.1 Proceso de fermentación

Para el proceso de fermentación, se recolectaron 80 mazorcas de cacao de la variedad CCN-51, seleccionadas por su estado óptimo de madurez y libre de enfermedades o daños visibles, de las cuales se obtuvieron 50 libras de pulpa para el procesamiento. La fermentación se realizó en una caja microfermentadora de laurel (80 × 50 × 10 cm), dividida en 15 celdas con capacidad de 1,5 kg cada una. Durante los 7 días de fermentación, los granos se removieron manualmente cada 24 horas, pasando las almendras del fondo hacia la parte superior para favorecer la oxigenación y homogenizar la temperatura. Se registró diariamente la temperatura; mientras que, variables como pH, y °Brix se evaluaron al inicio y al final del proceso.

Se aplicaron tratamientos con combinaciones de levadura *Saccharomyces cerevisiae* (0,5% y 1%) y biocatalizadores naturales compuestos por pulpa de guayaba y mucílago de nopal, según lo indicado en la Tabla 1. La levadura se activó con 100 ml de agua destilada a 40 °C, posteriormente se aplicó a los cuatro tratamientos (G1, G2, N1 y N2) con sus repeticiones, ver Figura. 1. Estos componentes pretenden mejorar las características organolépticas del chocolate, impactando positivamente el perfil de fermentación mediante la acción de enzimas como la polifenoloxidasa (Alvarado et al., 2020). Después de la fermentación, las almendras fueron expuestas a un proceso de secado convencional, con remociones constantes cada 24 horas durante un periodo de 6 días bajo exposición solar, con la finalidad de disminuir la humedad del grano hasta un 7%.

Figura 1

Etapas de fermentación del cacao CCN-51: (a) Adición de levadura y biocatalizador natural, (b) fermentación anaeróbica y (c) fermentación aeróbica.



2.2.2 Elaboración del chocolate

Para este proceso se adaptó la metodología de Alvarado et al (2020) con algunas modificaciones (Alvarado et al., 2020). Para este proceso se realizó una selección y limpieza de granos de cacao secos, retirando manualmente las impurezas para evitar variaciones en las propiedades organolépticas del producto final. Posteriormente, se tostaron los granos de cacao a 150 °C durante 15 minutos, favoreciendo la separación de la testa y mejorando aroma, color y sabor. Los granos tostados se molieron en molino eléctrico, se repitió el proceso cuatro veces hasta alcanzar un tamaño de partícula de 30–40 µm, donde se obtuvo la pasta de cacao. A continuación, se incorporó azúcar (30 % p/p) en una mezcladora a 65°C para homogenizar, reducir humedad y facilitar el conchado. La mezcla se refinó hasta alcanzar una textura cremosa con partículas de 25 µm. El conchado se realizó durante 6, lo que permitió la caramelización de azúcares, evaporación de humedad y eliminación de compuestos volátiles. Consecutivamente, se realizó el proceso de templado, donde se disminuyó la temperatura inicial de la pasta para estabilizar la cristalización de la manteca de cacao, mejorando el brillo, textura y estabilidad. Finalmente, se calentó ligeramente (sin exceder 35 °C) para recuperar fluidez y se colocó en moldes adecuados, asegurando una solidificación uniforme sin burbujas de aire, obteniéndose las tabletas sólidas de chocolate.

2.2.3 Análisis organolépticos

El análisis organoléptico se llevó a cabo con la participación de un panel de catadores no entrenados conformado por 30 personas. Los participantes no estaban entrenados en el análisis sensorial, pero se les proporcionó una capacitación corta sobre la escala hedónica de 5 puntos (Tabla 2), con el fin de garantizar una comprensión uniforme en la cual se valoraron atributos sobre el color, olor, sabor, textura, apariencia, y amargor. Cada muestra fue codificada con letras aleatorias para prevenir sesgos.

Tabla 2

Parámetros de calificación mediante escala Hedónica.

Puntaje	Calificación
5	Me gusta mucho
4	Me gusta poco
3	Ni me gusta ni me disgusta
2	Me disgusta poco
1	Me disgusta mucho

2.2.4 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza simple (ANOVA), con el software Minitab 18. Se utilizó la prueba de Tukey para evaluar e identificar diferencias significativas entre los tratamientos, considerando un nivel de confianza de $p < 0,05$.

3. Resultados

3.1 Efecto de los biocatalizadores y levadura sobre las propiedades fisicoquímicas durante la fermentación del cacao.

3.1.1 Temperatura

En la Tabla 3 y Figura 2 se detallan los promedios del efecto de la adición de biocatalizadores naturales y levaduras sobre la temperatura del cacao durante la fermentación. El tratamiento G1 (0,5% de levadura y 2% de pulpa de guayaba) alcanzó una temperatura máxima de 40,03 °C al día 5, seguido del tratamiento N1 con 38,47°C; mientras que, el tratamiento T0 (control, sin levadura ni biocatalizador) registró una temperatura de 30,8 °C en el mismo día. Además, se observa que, en la mayoría de los días el tratamiento control T0 presenta temperaturas menores en comparación a los tratamientos G1, G2, N1 y N2, evidenciando el efecto positivo de los microorganismos en el incremento térmico, atribuible a su actividad metabólica.

Tabla 3

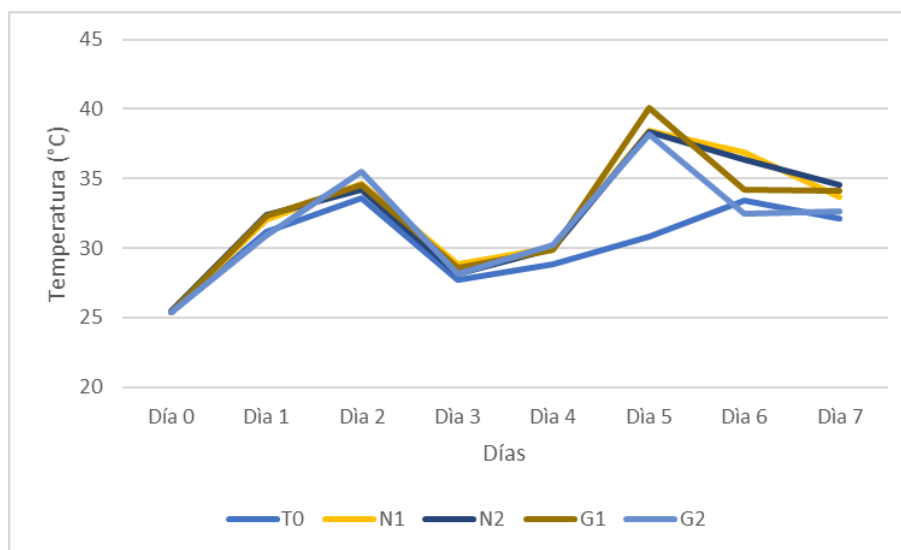
Influencia de los biocatalizadores sobre la temperatura durante la etapa de fermentación en los tratamientos.

Tratamientos	Temperatura / Días								
	0	1	2	3	4	5	6	7	
T0	25,37 +/- 0,15 ^A	31,17 +/- 0,40 ^{AB}	33,57 +/- 0,32 ^C	27,67 +/- 0,32 ^A	28,87 +/- 0,06 ^B	30,8 +/- 2,29 ^B	33,4 +/- 0,36 ^B	32,13 +/- 0,26 ^C	
G1	25,40 +/- 0,27 ^A	32,30 +/- 0,70 ^A	34,50 +/- 0,20 ^B	28,57 +/- 0,67 ^A	29,90 +/- 0,20 ^{AB}	40,03 +/- 0,95 ^A	34,23 +/- 1,72 ^{AB}	34,1 +/- 0,40 ^{AB}	
G2	25,40 +/- 0,27 ^A	30,87 +/- 0,25 ^B	35,53 +/- 0,12 ^A	28,17 +/- 0,31 ^A	30,23 +/- 0,31 ^A	38,2 +/- 0,36 ^A	32,5 +/- 1,18 ^B	32,6 +/- 0,20 ^C	
N1	25,47 +/- 0,32 ^A	32,00 +/- 0,17 ^{AB}	34,63 +/- 0,15 ^B	28,80 +/- 0,85 ^A	30 +/- 0,61 ^{AB}	38,47 +/- 1,96 ^A	36,9 +/- 1,14 ^A	33,70 +/- 0,10 ^B	
N2	25,50 +/- 0,27 ^A	32,37 +/- 0,59 ^A	34,20 +/- 0,36 ^{BC}	28,17 +/- 0,58 ^A	29,93 +/- 0,65 ^{AB}	38,33 +/- 1,31 ^A	36,37 +/- 2,01 ^A	34,53 +/- 0,15 ^A	

Nota: Los datos se presentan como media \pm desviación estándar ($n = 3$). Diferentes letras mayúsculas dentro de la misma columna indican diferencias significativas $p \leq 0,05$ (Tukey).

Figura 2

Efecto de los biocatalizadores sobre la temperatura durante la etapa de fermentación.



Nota: T0: tratamiento control; G1: Pulpa de guayaba y 0,5 % levadura; G2: Pulpa de guayaba y 1 % levadura; N1: Mucílago de nopal y 0,5 % levadura; N2: Mucílago de nopal y 1 % levadura. **Fuente:** Elaboración propia.

3.1.2 pH

En la Tabla 4 y Figura 3, se muestra que el potencial de hidrógeno (pH) se ve influenciado por el proceso de fermentación. Inicialmente, los granos de cacao sin fermentar presentaron valores entre pH 4. Posteriormente, transcurridas las 24 horas, se registró una leve disminución en los tratamientos cuyo pH osciló entre los 3,63 a 3,83 no se presentaron diferencias significativas entre las muestras; por otro lado, el valor más alto pH 3,83 fue para el tratamiento T0; mientras que, el tratamiento G2 obtuvo un pH de 3,63, esto puede atribuirse a la producción de ácidos orgánicos (láctico y acético), generados por la actividad microbiana. Sin embargo, entre los días 0 y 7, se observó un aumento progresivo del pH, siendo más pronunciado en el tratamiento G2 (de 4,55 a 6,87) en comparación con el T0 (de 4,53 a 6,13).

Tabla 4

Efecto de los biocatalizadores sobre el pH durante la fermentación de los granos de cacao.

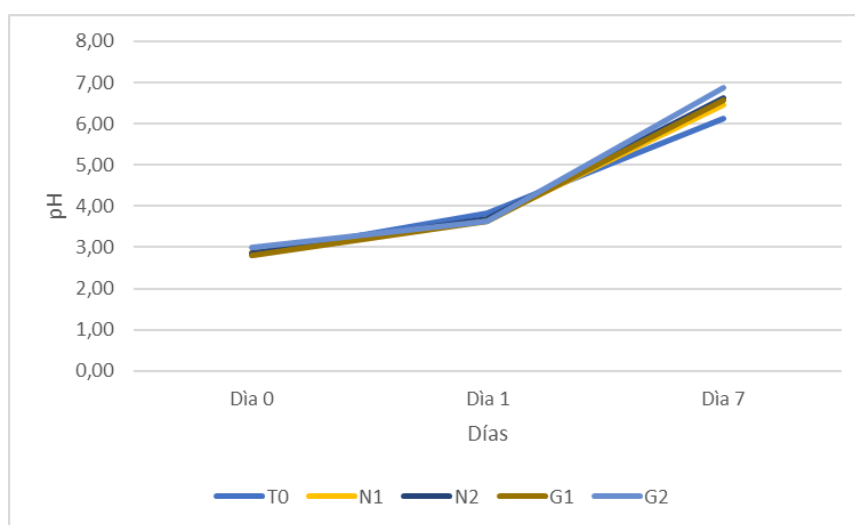
Tratamientos	pH / Días		
	0	1	7
T0	4,53 +/- 0,04 ^A	3,83 +/- 0,25 ^A	6,13 +/- 0,4 ^B
G1	4,53 +/- 0,05 ^A	3,64 +/- 0,35 ^A	6,56 +/- 0,15 ^{AB}

G2	4,55 +/- 0,01 ^A	3,63 +/- 0,18 ^A	6,87 +/- 0,11 ^A
N1	4,53 +/- 0,01 ^A	3,65 +/- 0,24 ^A	6,45 +/- 0,21 ^{AB}
N2	4,54 +/- 0,03 ^A	3,7 +/- 0,05 ^A	6,64 +/- 0,25 ^{AB}

Nota: Los datos se presentan como media \pm desviación estándar (n = 3). Diferentes letras mayúsculas dentro de la misma columna indican diferencias significativas $p \leq 0,05$ (Tukey).

Figura 3

Efecto de los biocatalizadores sobre el pH durante la fermentación de los granos de cacao.



Nota: T0: tratamiento control; G1: Pulpa de guayaba y 0,5 % levadura; G2: Pulpa de guayaba y 1 % levadura; N1: Mucílago de nopal y 0,5 % levadura; N2: Mucílago de nopal y 1 % levadura. **Fuente:** Elaboración propia.

3.1.3 °Brix

La Tabla 5 y Figura 4, se observa que el contenido de sólidos solubles (°Brix) disminuye progresivamente durante la fermentación, sin encontrarse diferencias significativas entre tratamientos. Esta disminución se debe a la degradación de azúcares por la acción microbiana, especialmente de la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). Al inicio, la masa fresca de cacao presentó un alto contenido de °Brix (18–19,33); sin embargo, en el día 1 los valores disminuyeron de 19,33 a 6 para el T0; mientras que, para el N1 pasó de 19,33 a 5. Al día 7 de fermentación se reportaron valores de 0 °Brix en todos los tratamientos.

Tabla 5

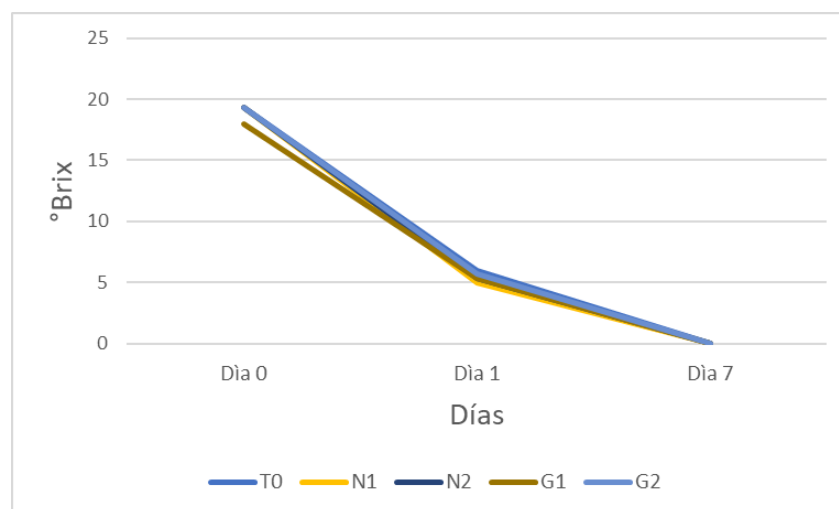
Determinación del contenido de Sólidos solubles (°Brix) durante los días 0, 1 y 7 días de fermentación.

Tratamiento	°Brix /Días		
	0	1	7
T0	19,33 +/- 1,16 ^A	6 +/- 0,00 ^A	0
G1	18 +/- 1,00 ^A	5,33 +/- 0,58 ^A	0
G2	19,33 +/- 1,53 ^A	5,67 +/- 0,58 ^A	0
N1	19,33 +/- 0,58 ^A	5 +/- 0,00 ^A	0
N2	19,33 +/- 1,53 ^A	5,33 +/- 0,58 ^A	0

Nota: Los datos se presentan como media \pm desviación estándar (n = 3). Diferentes letras mayúsculas dentro de la misma columna indican diferencias significativas $p \leq 0,05$ (Tukey).

Figura 4

Variación del contenido de sólidos solubles (°Brix) en los días 0, 1 y 7 días de fermentación.



Nota: T0: tratamiento control; G1: Pulpa de guayaba y 0,5 % levadura; G2: Pulpa de guayaba y 1 % levadura; N1: Mucílago de nopal y 0,5 % levadura; N2: Mucílago de nopal y 1 % levadura. **Fuente:** Elaboración propia.

3.2 Determinación de humedad de los granos de cacao seco.

Humedad

En la Tabla 6 se presentan los porcentajes de humedad obtenidos después del secado de las almendras de cacao, observándose que todos los tratamientos se mantuvieron dentro del rango óptimo (6–8 %), con un promedio cercano al valor ideal del 7 %. El

tratamiento G2 registró el mayor contenido de humedad (7,67 %); mientras que, T0 presentó el valor más bajo (7,2 %). Estos resultados indican que el secado fue adecuado, debido a que niveles superiores al 8 % favorecen el crecimiento de hongos; mientras que, valores por debajo del 6 % pueden provocar que los granos se tornen quebradizos y susceptibles a romperse.

Tabla 6

Porcentaje de humedad en los granos de cacao seco.

Tratamientos	Humedad (%)
T0	7,2 +/-0,2 ^B
G1	7,3 +/- 0,17 ^{AB}
G2	7,67 +/- 0,12 ^A
N1	7,54 +/- 0,15 ^{AB}
N2	7,4 +/- 0,17 ^{AB}

Nota: Los datos se presentan como media \pm desviación estándar (n = 3). Diferentes letras mayúsculas dentro de la misma columna indican diferencias significativas $p \leq 0,05$ (Tukey).

3.3 Efecto de los biocatalizadores y levadura sobre las propiedades sensoriales del chocolate.

Los resultados de las propiedades sensoriales del chocolate se detallan en la Tabla 7. Se puede evidenciar que no existe diferencia significativa entre los tratamientos para las propiedades de color, olor, textura y apariencia.

Tabla 7

Caracterización sensorial de los atributos organolépticos del chocolate al 70% (color, olor, sabor, textura, amargor y apariencia)

Tratamientos	Color	Olor	Sabor	Textura	Amargor	Apariencia
G1	4,633 \pm 0,490 ^A	4,067 \pm 0,640 ^A	4,433 \pm 0,568 ^A	4,633 \pm 0,556 ^A	4,233 \pm 0,679 ^{AB}	4,600 \pm 0,675 ^A
G2	4,533 \pm 0,681 ^A	3,700 \pm 1,088 ^A	3,800 \pm 0,961 ^B	4,367 \pm 0,615 ^A	3,700 \pm 1,291 ^A	4,367 \pm 0,765 ^A
N1	4,567 \pm 0,626 ^A	4,267 \pm 0,740 ^A	4,367 \pm 0,718 ^{AB}	4,500 \pm 0,630 ^A	4,433 \pm 0,626 ^B	4,500 \pm 0,630 ^A
N2	4,600 \pm 0,563 ^A	4,233 \pm 0,935 ^A	3,867 \pm 1,196 ^{AB}	4,467 \pm 0,900 ^A	3,833 \pm 1,147 ^{AB}	4,467 \pm 0,730 ^A

Nota: Los datos se presentan como media \pm desviación estándar (n = 3). Diferentes letras mayúsculas dentro de la misma columna indican diferencias significativas $p \leq 0,05$ (Tukey).

Los análisis de varianza (ANOVA) realizados para los atributos sensoriales de color, olor, textura y apariencia del chocolate al 70% elaborado a partir de *Theobroma cacao* L. no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los cinco tratamientos evaluados (T0, G1, G2, N1, N2). Esto condujo a la aceptación de la hipótesis nula y el rechazo de la hipótesis alternativa, lo que indica que las variaciones en la concentración de levadura y en el tipo de biocatalizador utilizado durante la fermentación no influyeron de manera significativa en las características organolépticas evaluadas. Como resultado, se puede inferir que estos factores no generaron un impacto perceptible en el color, olor, textura y apariencia del producto final.

4. Discusión

Los resultados de este estudio demuestran el impacto de biocatalizadores naturales y cultivos iniciadores de levaduras sobre la cinética térmica y bioquímica de la fermentación de cacao CCN-51. El aumento de temperatura a casi 40 °C corrobora la intensificación de la actividad metabólica microbiana, catalizando reacciones cruciales como la oxidación de etanol a ácido acético y la generación de compuestos aromáticos precursores. Lagos et al. (2024) informan que la adición controlada de levaduras puede aumentar gradualmente la temperatura hasta 40 °C en la fermentación del CCN-51, maximizando la actividad enzimática. Además, investigaciones recientes señalan que controlar la temperatura entre 40 y 50 °C es crucial para prevenir sobre fermentaciones que afecten las características sensoriales del grano (Vásquez et al., 2023; Rosales et al., 2024). Temperaturas por debajo de 40 °C pueden inhibir las reacciones bioquímicas para la formación de compuestos aromáticos y la inactivación del embrión, como indica Ibrahim et al. (2024), quienes destacan el control térmico.

En relación al pH, la masa fresca de cacao tiene valores iniciales de 3-4, que aumentan a medida que avanza la fermentación. En este estudio se elevó hasta 6,87 al día 7, similar a lo reportado por Homem et al. (2017), quienes indican que pH finales <5 pueden favorecer la permanencia de ácidos no volátiles indeseables que perjudican la formación de precursores de aroma. De igual manera, Vera et al. (2023) informaron que el pH aumentó de 3,9 a 4,51 al día 5 de fermentación, demostrando que el control de la acidificación es crucial para mejorar la calidad sensorial. Estudios recientes también señalan que los cambios en el pH se asocian con la sucesión microbiana y la liberación de ácidos al exterior del grano (Rocha et al., 2025; Saltos & Intriago, 2024; Rojas-Rojas, Hernández-Aguirre, & Mencía-Guevara, 2021).

En cuanto al contenido de sólidos solubles (°Brix), la disminución gradual que se aprecia es evidencia de que los microorganismos fermentativos están aprovechando los azúcares. García et al. (2021) informaron valores finales entre 0,3 y 0,4 °Brix en almendras fermentadas con probióticos, similar a lo encontrado en esta investigación. Vásquez et al. (2023) indican que la reducción de °Brix en la postcosecha se relaciona con el consumo de azúcares por levaduras y bacterias, asegurando una buena fermentación. Como señalan Thompson et al. (2020), los azúcares simples son cruciales para la producción de alcoholes y ácidos orgánicos. Además, sugieren

humedades entre 6 y 7 % para garantizar estabilidad microbiológica y viabilidad comercial, pero nunca por debajo del 5 %.

A nivel sensorial, los tratamientos con *Saccharomyces cerevisiae* mejoraron la aceptabilidad sensorial en la evaluación hedónica. Este resultado concuerda con Lagos et al. (2024), que señalan que la mezcla de levaduras y bacterias lácticas puede estandarizar la fermentación y disminuir la variabilidad fisicoquímica. Finalmente, la adición de polifenol oxidasa (PPO) obtenida de los biocatalizadores permitió la oxidación controlada de compuestos fenólicos, reduciendo la astringencia y generando mejores notas aromáticas. Morales et al. (2016) encontraron que la aplicación controlada de PPO y levaduras en la fermentación del CCN-51 influye en la calidad sensorial del chocolate. Otros estudios también informan que el uso de cultivos iniciadores seleccionados mejora la reproducibilidad sensorial y disminuye los fallos fermentativos (Aguayo Zambrano et al., 2026), lo que apoya los hallazgos del presente trabajo.

5. Conclusiones

En este trabajo se demostró que el uso de biocatalizadores naturales en combinación con *Saccharomyces cerevisiae* es una alternativa para mejorar la fermentación de cacao CCN-51. Los tratamientos analizados mostraron mayor movimiento térmico que el control, creando condiciones favorables para la transformación bioquímica del grano. La caída inicial del pH y su posterior aumento indican una fermentación controlada, con producción y volatilización de ácidos orgánicos. Además, la disminución total de sólidos solubles al día 7 indica que se están consumiendo eficientemente los azúcares, esenciales para la formación de precursores de aroma.

Sensorialmente, si bien no se encontraron diferencias estadísticas en la mayoría de los atributos analizados, las tendencias encontradas en sabor y amargor sugieren que los biocatalizadores podrían tener un efecto en la percepción global del chocolate. Esto indica que la adición de ingredientes naturales como pulpa de guayaba y mucílago de nopal puede mejorar el perfil organoléptico sin afectar la aceptabilidad del producto.

La mayor contribución de esta investigación es la verificación experimental de una solución biotecnológica sostenible utilizando subproductos agrícolas, innovando así la cadena de valor del cacao. Los resultados apoyan el uso de cultivos iniciadores y biocatalizadores para estandarizar procesos fermentativos, disminuir la variabilidad y mejorar la competitividad del cacao ecuatoriano en nichos de mercado. Estudios futuros deberán ahondar en análisis cromatográficos de compuestos volátiles y análisis sensoriales con paneles entrenados para corroborar el efecto aromático a nivel descriptivo y cuantitativo.

Financiamiento: Esta investigación no ha recibido financiación externa

Declaración de disponibilidad de datos: Los datos están disponibles previa solicitud a los autores de correspondencia: jlcriollo@utmachala.edu.ec

Conflicto de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Referencias Bibliográficas

- Aguayo Zambrano, K. J., Zambrano Ureta, M. P., García Paredes, R. I., & Fajardo Navarrete, P. C. (2026). Cultivos iniciadores y su efecto en la calidad de almendras y licor de cacao. *Revista Ciencia UNEMI*, 19(50), 152–165. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol19iss50.2026pp152-165p>
- Alvarado, V. K., Vera, C. J., Tuarez, G. D., & Intriago, F. F. (2020). Fermentación de cacao (*Theobroma cacao* L.) con adición de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) y enzima (PPO's) en la disminución de metales pesados. *Centrosur*, 1–24. <https://www.centrosuragraria.com/index.php/revista/article/view/191>
- Álvarez, F. C. O., Liconte, S. N. D., Pérez, S. E. E., Lares, Amaíz. C. D. M., & Perozo, G. J. G. (2022). Revisión sobre los atributos físicos, químicos y sensoriales como indicadores de la calidad comercial del cacao. *Petroglifos Revista Crítica Transdisciplinar*, 1–14. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6548316>
- Chaudhary, V., Mongia, G., & Drake, M. A. (2025). Approaches to determine the flavor and flavor chemistry of cocoa beans and cocoa liquor. *Journal of Food Science*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.70481>
- Chávez, S. Á., Cueva, B. A., Muñoz, D. V., Documet, P. K., & Vidaurre, R. P. (2022). Beneficio del cacao clones CCN-51, ICS-39 y cacao Nativo (*Theobroma cacao* L.). *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 2(1). <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.255>
- Chávez, S. A., Guevara, P. A., Encina, Z. C., Vidaurre, R. P., & Muñoz, D. V. (2023). Condiciones de fermentación y secado en las características físico químicas del cacao (*Theobroma cacao* L.) Cultivar CCN 51. *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 3(2), e555. <https://doi.org/10.51252/raa.v3i2.555>
- García, R. P. A., Nuñez, J. M., & Bahamón, M. A. F. (2021). Características fisicoquímicas y sensoriales de almendras fermentadas de cacao nacional (*Theobroma Cacao* L.) con adición de probióticos en el centro de investigaciones amazónicas, Cimaz Macagual (Caquetá, Colombia). *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 23(2). <https://doi.org/10.25100/iyc.23i2.10885>
- Guzmán-Alvarez, R. E., & Márquez-Ramos, J. G. (2021). Fermentation of cocoa beans. In *Fermentation – Processes, benefits and risks* (pp. 127–147). <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.98756>

- Herrera-Feijoo, R. J., Torres-Rodríguez, J. A., & Carranza-Patiño, M. S. (2025). Del grano al conocimiento: Un análisis bibliométrico de la investigación sobre *Theobroma cacao* L. vinculada a Ecuador. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 3(3), 192–224. <https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n3/83>
- Homem, de A. L. G. A., Reis, de A. Q., Valle, R. R., Sodré, G. A., & Moreira, de S. S. M. (2017). Influencia de factores agroambientales sobre la calidad del clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) PH-16 en la región cacaotera de Bahia, Brasil. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), 579. <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1274>
- Ibrahim, N. S., Hidayati, C., Utami, T., Yanti, R., & Witasari, L. D. (2024). Flavor precursor and volatile compounds formation of unfermented cocoa beans hydrolyzed by papain. *Food Science and Technology (Campinas)*, 44, e00224. <https://doi.org/10.5327/fst.00224>
- Lagos, Q. T. M., Vásquez, M. E. E., Rojas, Y. G., Huamani, U. I. L., & Sosa, C. J. C. (2024). Fermentation of Cacao Criollo and CCN-51: *Lactobacillus Fermentum* Bacterium and *Saccharomyces Cerevisiae* yeast. *Revista Universidad y Sociedad*, 1–12. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202024000400052&script=sci_arttext
- Mendoza, V. E., Cervantes, M. X., & Zamora, C. E. (2022). *Recorrido histórico de la importancia del cacao para la economía de Ecuador*. <https://doi.org/https://doi.org/10.37954/se.vi.193>
- Morales, R. W. J., Vallejo, T. C. A., Sinche, B. P. D., Torres, N. Y. G., Vera, C. J. F., & Anzules, C. E. D. (2016). *Mejoramiento de las características físico-químicas y sensoriales del cacao CCN51 a través de la adición de una enzima y levadura durante el proceso de fermentación*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5761081>
- Navas, E. G. R., Peña, S. D., Silva, Á. N. D., & Mayorga, D. M. P. (2021). Costos de producción y la determinación de precios del chocolate de la asociación Las Delicias del Triunfo. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 1–28. <https://www.scielo.org.mx/pdf/dilemas/v9nspe1/2007-7890-dilemas-9-spe1-00114.pdf>
- Rios, J. J. G. (2020). *Importancia de los dispositivos usados en la fermentación de Cacao ("Theobroma cacao L")*. <https://repositorio.upeu.edu.pe/items/0892ff62-0385-42e0-81fb-b78280fff9db>
- Rocha, S. O. de S. B., Vilhena, M. do P. S. P., de Souza, J. N. S., Balcázar-Zumaeta, C. R., Castro-Alayo, E. M., Pajuelo-Muñoz, A. J., da Silva, B. S. F., Trindade, M. J. de S., Chagas-Junior, G. C. A., & Ferreira, N. R. (2025). Can different fermentation boxes improve the nutritional composition and the antioxidant

- activity of fermented and dried floodplain cocoa beans in the Brazilian Amazon? *Foods*, 14, 1391. <https://doi.org/10.3390/foods14081391>
- Rodríguez, V. N. D., Chávez, R. B., Gómez, de la C. I., Vásquez, M. M. S., & Estrada, de los S. P. (2022). El cultivo del cacao, sus características y su asociación con microorganismos durante la fermentación. *Revista Alianzas y Tendencias BUAP (AyTBUAP)*, 1–16. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6326782>
- Rojas-Rojas, K., Hernández-Aguirre, C., & Mencía-Guevara, A. (2021). Transformaciones bioquímicas del cacao (*Theobroma cacao* L.) durante un proceso de fermentación controlada. *Agronomía Costarricense*, 45(1), 53–65. ISSN:0377-9424 / 2021. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v45n1/0377-9424-ac-45-01-53.pdf>
- Rosales, V. B. S., García, C. L., Pérez, F. J. G., Contreras, L. E., Pérez, E. E., & García, M. C. (2024). Influencia de la fermentación del cacao y del uso de cultivos iniciadores sobre las características organolépticas del chocolate: un análisis integral. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 12(23), 31–43. <https://doi.org/10.29057/icbi.v12i23.12047>
- Salto, D. W. A., & Intriago, F. F. G. (2024). Mejoramiento de los procesos de fermentación para la elaboración de chocolate del Centro Agrícola del Cantón Quevedo Improvement of Fermentation Processes for Chocolate Production at the Agricultural Center of Canton Quevedo. *JOURNAL OF SCIENCE AND RESEARCH*, 9(1), 2528–8083. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10472300>
- Vásquez, C. L. H., Rivadeneira, B. C. S., Intriago, F. F. G., Durazno, D. L. A., Vera, C. J. F., & Arboleda, Á. L. F. (2023). UTILIZACIÓN DE EXTRACTO DE JACKFRUIT (*ARTOCARPUS HETEROPHYLLUS*) COMO ESTRATEGIA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL GRANO DE CACAO. *Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo*, 4(8), 95–117. <https://doi.org/https://doi.org/10.56519/g3zy6452>
- Vásquez Cortez, L.H; Rodríguez Cevallos, S.L; Cadena Morales, L.I; Plua Montiel, J.A; Camacho López, C.O; Cobos Mora, F. J; Pinargote Mendoza, E.R y Pazmiño Pérez, A.M. (2025). Aroma, Ciencia y Tradición: Nuevas fronteras en la fermentación del cacao. Ediciones GESICAP. 115 pp.
- Vera, C. J. F., Benavides, V. J. I., Vásquez, C. L. H., Alvarado, V. K. E., Reyes, P. J. J., Intriago, F. F. G., Naga, R. M., & Castro, T. V. L. (2023). Efectos de dos métodos fermentativos en cacao (*Theobroma cacao* L.) trinitario, inducido con *Rhizobium japonicum* para disminuir cadmio. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 10(1), 95–106. <https://doi.org/10.23850/24220582.5460>