

EFFECTO DEL USO DE MICROORGANISMOS EN LA CALIDAD FÍSICA Y SENSORIAL EN CACAO EN EL NORTE DEL HUILA

EFFECT OF THE USE OF MICROORGANISMS ON PHYSICAL AND SENSORY QUALITY IN COCOA IN NORTHERN HUILA



Adrián Rico Aristizábal

Servicio Nacional de Aprendizaje, Colombia

adrico@sena.edu.co

Kevin Santiago Trujillo Guzmán

Servicio Nacional de Aprendizaje, Colombia

kstrujillo@sena.edu.co

Karen Julieth Lozano Rojas

Servicio Nacional de Aprendizaje, Colombia

klozanor@sena.edu.co

Claudia Mercedes Ordóñez Espinosa

Servicio Nacional de Aprendizaje, Colombia

cordoneze@sena.edu.co

Kathryn Yadira Guzmán Pacheco

Servicio Nacional de Aprendizaje, Colombia

kyguzman@sena.edu.co

Valentín Murcia Torrejano

Servicio Nacional de Aprendizaje, Colombia

vamurcia@sena.edu.co

Revista de Investigación Agraria y Ambiental

vol. 16, núm. 2, p. 143 - 167, 2025

Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia

ISSN: 2145-6097

ISSN-E: 2145-6453

Periodicidad: Semestral

riaa@unad.edu.co

Recepción: 12 diciembre 2024

Aprobación: 05 mayo 2025

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.8988>

URL: <https://portal.amelica.org/ameli/journal/130/1305315007/>

CÓMO CITAR: Rico, A., Trujillo, K., Lozano, K., Ordoñez, C., Guzmán, K. y Murcia, V. (2025). Efecto del uso de microorganismos en la calidad física y sensorial en cacao en el norte del Huila. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 16(2), 143 - 167. <https://doi.org/10.22490/21456453.8988>

Resumen: Contextualización: el uso de microorganismos en la fermentación es una opción para potencializar los precursores de aroma y sabor. Estos beneficios dependen del material genético del cacao, madurez del fruto, manejo poscosecha, protocolo de fermentación, secado y tostado.

Vacío de conocimiento: validación de prácticas como el uso de microorganismos en el norte del Huila durante la fermentación, que proporcione información sobre los beneficios en la calidad física y desarrollo de precursores de aroma y sabor en el cacao.

Propósito: evaluar el efecto del uso de microorganismos en la calidad física y sensorial en cacao en el norte del Huila, en condiciones normales de fermentación, preescurrido y presecado.

Metodología: se realizaron evaluaciones en seis tratamientos de fermentación que comprenden preescurrido, presecado y adición de dos tipos de levaduras comerciales: Lalcocoa Forte™ y Lalcocoa Matunda™ de la cepa *Saccharomyces Cerevisiae*, más un testigo. Se determinó temperatura, pH y grados Brix durante los días de fermentación. Para determinar estos parámetros se seleccionaron al azar de los cajones de fermentación 15 granos de cacao, los cuales fueron llevados al laboratorio de análisis de alimentos para realizar los análisis físicos y sensoriales. Asimismo, se realizó la evaluación de la calidad física de los granos de cacao a través de la prueba de corte, donde se identificaron granos deseados (completamente fermentados) y no deseados (granos sin fermentar, pizarrosos, germinados), siguiendo la clasificación de la NTC 1252 del 2021. El análisis sensorial se desarrolló con un panel de catación, siguiendo la metodología de cacao de excelencia.

Resultados y conclusiones: el promedio de conversión de cacao húmedo a cacao seco fue de $33,31\% \pm 0,66$; con variaciones entre 29 % y 38,2 %. El índice de grano promedio fue de 1,06 que corresponde a granos de cacao estándar. Los rangos para esta variable estuvieron entre 0,79 y 1,74, cubriendo las tres clasificaciones que se encuentran en la NTC 1252 del 2021: premium (>120), estándar (95-120) y corriente (<95). Los granos deseados (suficientemente fermentados) y no deseados (insuficientemente fermentados más los defectos) no presentaron diferencia estadística entre las medias de los tratamientos ($p > 0,05$). El análisis sensorial se desarrolló mediante el método de Ward y la distancia de Gower, donde se generaron cuatro grupos con una correlación cofenética del 78,2 %, evidenciando similitud y cercanía entre ellos, de acuerdo con las variables evaluadas. El conglomerado 3 se destaca por desarrollar un mejor balance promedio entre los atributos principales (cacao: 4,67; acidez: 4,67; amargor: 3,67 y astringencia: 3-3,67) y mayor puntaje en calidad global (entre 6,17 y 6,5). El análisis de componentes principales visualiza las principales variables evaluadas en el análisis sensorial, el cual explica el 70,6 % de la variabilidad de los datos en el CP1 y CP2. Se evidencia que T3, T4 y T5 presentaron mayor diversidad de sabores complementarios.

Palabras clave: aroma, atributos, fermentación, levadura, pH, sabor, temperatura.



Abstract: Contextualization: the use of microorganisms in fermentation is an option to potentiate aroma and flavor precursors. These benefits depend on the genetic material of the cocoa, fruit maturity, post-harvest handling, fermentation protocol, drying and roasting.

Knowledge gap: validation of practices such as the use of microorganisms in northern Huila during fermentation, providing information on the benefits in physical quality and development of aroma and flavor precursors in cocoa.

Purpose: To evaluate the effect of the use of microorganisms on the physical and sensory quality of cocoa in northern Huila, under normal fermentation, pre-drying and pre-drying conditions.

Methodology: evaluations were carried out in six fermentation treatments comprising pre-drying, pre-drying and addition of two types of commercial yeasts Lalcocoa Forte™ and Lalcocoa Matunda™ of the *Saccharomyces Cerevisiae* strain; plus a control. Temperature, pH and Brix degrees were determined during the fermentation days. To determine these parameters, 15 cocoa beans were randomly selected from the fermentation boxes and taken to the food analysis laboratory for physical and sensory analysis. Likewise, the physical quality of the cocoa beans was evaluated through the cut test, where desired beans (completely fermented) and undesired beans (unfermented, slaty, sprouted) were identified according to the classification of NTC 1252 of 2021. The sensory analysis was developed with a cupping panel following the Cacao de Excelencia methodology.

Results and conclusions: the average conversion from wet to dry cocoa was $33,31\% \pm 0,66$; with variations between 29 to 38,2%. The average bean index was 1,06, which corresponds to standard cocoa beans. The ranges for this variable were between 0,79 to 1,74; covering the three classifications found in NTC 1252 of 2021, premium (>120), standard (95-120) and current (<95). The desired (sufficiently fermented) and undesired (insufficiently fermented plus defects) grains did not present statistical difference between the means of the treatments ($p > 0,05$). The sensory analysis was developed using Ward's method and Gower's distance, where four groups were generated with a cophenetic correlation of 78,2 %, showing similarity and closeness between them according to the variables evaluated. Cluster 3 stands out for developing a better average balance between the main attributes (cocoa: 4,67; acidity: 4,67; bitterness: 3,67 and astringency: 3-3,67) and a higher overall quality score (between 6,17 and 6,5). The principal component analysis visualizes the main variables evaluated in the sensory analysis, which explains 70,6% of the variability of the data in CP1 and CP2. It is evident that T3, T4 and T5 presented greater diversity of complementary flavors.

Keywords: aroma, attributes, flavor, fermentation, pH, temperature, yeast.



RESUMEN GRÁFICO



autores

1. INTRODUCCIÓN

El cacao ha sido un cultivo fundamental para muchas economías en países tropicales (Alvarado et al., 2023), mejora de los medios de vida rurales, especialmente para los pequeños agricultores que a menudo enfrentan limitaciones en su sostenibilidad económica (Schroth et al., 2017). La producción mundial de cacao alcanzó 5 874 852 de toneladas en el 2023, siendo África el líder, al aportar el 74,8 % del total de la producción, destacándose como principales productores Costa de Marfil (37,9 %) y Ghana (18,8 %) (FAO, 2023).



Colombia se ubica en el noveno puesto (1,1 %) de la producción mundial en cacao (FAO, 2023). El país ofrece cacao de alta calidad en términos de aroma y sabor, representando el 5 % de la producción mundial del grano (Cedeño y Dilas-Jiménez et al., 2022). Santander es el principal productor de cacao de la nación (27,26 %) y el Huila ocupa el noveno puesto, responsable del 3,34 % de la producción en el país (UPRA, 2023). Tiene gran importancia por presentarse como una alternativa de ingresos económicos para la región y su potencial, por la demanda en el mercado internacional de cacao fino y de aroma (Cámara de Comercio del Huila, 2022).

Esta calidad de cacao fino y de aroma se ve afectada por factores en la etapa de cosecha, poscosecha relacionada con las técnicas de fermentación-secado y control de las variables que inciden de la calidad física y sensorial del grano (Machado et al., 2024). El material genético, el estado de maduración de las mazorcas, las condiciones de temperatura, altitud, humedad relativa y las prácticas de cada agricultor son factores que repercuten sobre la calidad del grano de cacao (Heredia-Gómez et al., 2020; Machado et al., 2018; Lima et al., 2011). Estos factores relacionados con las técnicas de beneficio y procesamiento inciden en el resultado final de los precursores de aroma y sabor (Plaza et al., 2019).

La fermentación se divide en fase anaeróbica (0 a 48 h) y fase aeróbica (48-20 h) (Utami et al., 2015). Las levaduras presentes en la fase anaeróbica de la fermentación convierten el azúcar en alcohol en condiciones de bajo oxígeno en un pH inferior a 4, y las bacterias acidolácticas convierten los azúcares y algunos ácidos orgánicos en ácido láctico. En la fase aeróbica las bacterias del ácido acético son responsables de oxidar el alcohol en ácido acético y son responsables del aumento de la temperatura, la cual puede llegar hasta 50 °C (Delgado-Ospina et al., 2021; Afoakwa, 2016). Al activarse el cambio de temperatura se generan cambios bioquímicos dentro de los granos de cacao en fermentación; combinado con los cambios de pH, dan origen al color y a la formación del sabor del grano (Viesser et al., 2021).

Diferentes investigaciones (Alvarado et al., 2022; Andrade et al., 2019; De Vuyst y Weckx 2016) mencionan que el uso de microorganismos como la levadura *Saccharomyces cerevisiae* inicia la fermentación alcohólica, donde convierte los azúcares del mucílago de la almendra de cacao en etanol y dióxido de carbono. Controlan el ascenso de la temperatura un poco más lento para permitir un proceso químico y cumplir las tres etapas de la fermentación: la fermentativa, la acética y la oxidativa. Además, contribuye a la formación de compuestos precursores, que son de gran importancia para el desarrollo de los sabores y aromas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del uso de microorganismos en la calidad física y sensorial en cacao en el norte del Huila.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La evaluación del uso de microorganismos en la calidad del cacao se realizó en el Centro de Formación Agroindustrial “La Angostura”, Regional Huila (2°36'45,96" y 75°21'40,72"), ubicado en el municipio de Campoalegre. Este sitio se caracteriza por presentar una temperatura media de 25,9 °C, humedad relativa de 60 % y una precipitación media anual de 1300 mm (Suárez et al., 2020).



Origen de las muestras

Los granos de cacao fueron obtenidos de fincas cacaoteras de los municipios de Campoalegre y Palermo, ubicados al norte del Huila. El cacao utilizado para los ensayos fue de tipo híbrido (mezclas de cacao forastero, criollo y trinitario), ya que las fincas generalmente no cuentan con la identificación del material genético y no tienen una sola variedad cultivada. Los frutos de cacao fueron seleccionados para eliminar mazorcas enfermas, sobre maduras, inmaduras y estropeadas. Además, se descartaron las mazorcas afectadas por incidencia de plagas u hongos (Bobiles et al., 2022).

Preparación de materia prima y tratamientos evaluados

El desgrane de las mazorcas se realizó entre uno y dos días después de la cosecha. Los granos se sacaron manualmente de las mazorcas, retirando la placenta de los granos. Los granos de cacao con mucílago se pesaron y se transfirieron a cajones microfermentadores (dimensiones de 25 x 25 x 25 cm), los cuales fueron cubiertos con plástico negro alrededor, hojas de plátano y costal de fique sobre los granos de cacao, para acondicionar un ambiente para el desarrollo de una temperatura adecuada durante la fermentación.

En total, se utilizaron 42 k de cacao con mucílago (húmedo), distribuidos en un testigo y seis tratamientos (Tabla 1), cada uno con 6 k de cacao húmedo para los ensayos de fermentación. Se realizó un diseño experimental completamente al azar en arreglo factorial (2x3), donde el factor A corresponde a la prefermentación de granos de cacao y como factor B la adición de levaduras, con seis tratamientos (Tabla 1) y tres repeticiones para un total de 18 unidades experimentales. Dentro de los tratamientos se realizó prefermentación, que consistió en un preescruido y presecado del cacao húmedo, para disminuir humedad en el grano. Las levaduras utilizadas en los diferentes tratamientos fueron Lalcocoa MatundaTM y Lalcocoa ForteTM de la cepa *Saccharomyces cerevisiae*, en una presentación granulada, producidas por la empresa Lallemand.

Tabla 1.

Tratamientos de fermentación evaluados con diferentes manejos de poscosecha y adición de microorganismos

Tratamiento	Abreviación
Testigo: Fermentación de cacao sin aplicación de levadura	Tes
Tratamiento 1: Adición de levadura LALCOCOA MATUNDA TM a las 24 horas	T1_LEVMAT
Tratamiento 2: Adición de levadura LALCOCOA FORTE TM a las 24 horas	T2_LEVFOR
Tratamiento 3: Pre-secado al sol de 18 horas más adición de levadura LALCOCOA MATUNDA TM	T3_SECMAT
Tratamiento 4: Pre-secado al sol de 18 horas más adición de levadura LALCOCOA FORTE TM	T4_SECFOR
Tratamiento 5: Pre-escruido durante 24 horas más adición de levadura LALCOCOA MATUNDA TM	T5_ESCMAT
Tratamiento 6: Pre-escruido durante 24 horas más adición de levadura LALCOCOA FORTE TM	T6_ESCFOR

autores



Activación de microorganismos para la adición en la fermentación de cacao

La adición de las levaduras se realizó en relación 2:1 (2 g de levadura x 1 k de cacao húmedo), rehidratando las levaduras secas en 10 veces su peso en agua caliente a una temperatura de 28 °C, agitando durante 20 minutos. Pasado este tiempo, se adicionó la levadura hidratada en la masa de cacao en tres momentos, realizando volteos por cada uno para garantizar la homogenización de todos los granos de cacao (Lalleman, 2019). En este sentido, a cada tratamiento se le adicionaron 12 gramos de levadura disuelta en 120 ml de agua, de acuerdo con lo establecido en la tabla 1.

Variables durante la fermentación

La fermentación de los tratamientos fue de 96 horas. Durante este tiempo se registró la temperatura ambiente y la humedad relativa con el uso de un termohigrómetro. Para medir la temperatura en la masa de cacao en fermentación se usó un termómetro de punzón. Los datos se registraron cada día en tres momentos: 9:00 a. m., 12:00 m y 16:00 horas durante el tiempo de fermentación.

Paralelo a esto, se determinó pH de testa, cotiledón y grados Brix del grano de cacao; seleccionando cada día 15 granos de cacao al azar de cada tratamiento. Los granos colectados fueron divididos en cinco para realizar tres lecturas de cada variable. La determinación de pH en testa y cotiledón se realizó a través del método AOAC (2016) 970.21. Los grados Brix se hallaron siguiendo la metodología de Esencial et al., 2020.

Análisis físico de granos de cacao seco

La evaluación física de los granos de cacao seco se realizó sobre una muestra de 2 k del testigo y cada tratamiento, los cuales presentaron un secado de cuatro días, alcanzando en este tiempo se determinó la humedad del grano con el uso de un medidor de humedad PM450 para llegar a la humedad óptima entre 6,5 % y 7 %. Con esta muestra, se realizó una evaluación previa mediante observación y percepción de aroma propio o por contaminantes del grano de cacao. Posteriormente, con base en la Norma Técnica Colombiana NTC 1252:2021, se estableció la presencia de hongos, insectos, impurezas o materias extrañas, residuos y granos planos.

Asimismo, se determinó el índice de grano, expresado como peso promedio en gramos de 100 granos, evaluados por medio de la valoración de escalas. El porcentaje de fermentación del grano de cacao se evaluó a través de la prueba de corte, que consiste en realizar un corte longitudinal a 100 granos de cacao por muestra, y mediante la observación directa se verifica la coloración interna del grano para clasificar en: granos completamente fermentados, granos parcialmente fermentados y granos sin fermentar (NTC 1252, 2021).

Preparación de las muestras y análisis sensorial

El tueste de las muestras de cacao fermentado y seco se realizó en un horno marca Jarinox, a una temperatura entre 125 y 130 °C, ajustando el tiempo de acuerdo con el número de granos en 100 g de cacao seco y el porcentaje de humedad en los granos, dando como resultado un promedio de 15 minutos de tueste (Cacao de Excelencia, 2024). Enseguida, se procedió a separar los cotiledones de la testa por medio del descascarillado, previo a ello, se hizo la trituración mecánica de los granos, los cuales son sometidos a un separador de cáscara de grano, mediante flujo de aire con el uso de la descascarilladora de cacao IMSA. Posteriormente, se obtuvo el licor de cacao, usando el molino planetario de bolas PM 100-Retsch para el análisis sensorial (Machado et al., 2013).

El análisis sensorial se realizó con un panel de catación con cinco evaluadores que aplicó una prueba hedónica. El proceso de evaluación de calidad sensorial fue desarrollado según el protocolo de Cacao de Excelencia (2024), donde se evalúan descriptores de atributos principales, complementarios y defectos calificados en una escala de 0 a 10 (Tabla 2).



Tabla 2.
Tipo de atributos, escala de intensidad y significados

Tipo de atributo	Sabor	Intensidad
Principales	Características de sabor que se espera estén presentes en todos los cacaos. Incluyen el cacao, la acidez, el amargor, la astringencia y el grado de tostado.	0= Ausente. 1= Sólo un rastro y puede que no se encuentre si se prueba de nuevo. 2= Presente en la muestra, pero con baja intensidad. 3 a 5= Claramente caracterizando la muestra. 6 a 8= Caracterización dominante de la muestra.
Complementarios	Características de sabor que pueden percibirse o no en las muestras de cacao. Estos atributos complementarios se describen como fruta fresca o fruta marrón, vegetal, floral, madera, especias, nuez y caramelo/panela. En el caso del chocolate oscuro, también se incluye el dulzor.	
Sabores atípicos/defectos	Características que resultan de defectos y que pueden percibirse o no en las muestras de cacao.	9 a 10 Máximo= Intensidad fuerte. Destaca sobre otras notas aromáticas (sabor) de la muestra 0 a 5= Presencia de defectos o sabores atípicos en la muestra evaluada
Calidad global	La puntuación de la calidad global refleja la impresión general del potencial aromático (sabor) expresado, carácter único de la muestra y equilibrio del sabor y la pulcritud del acabado.	6= No presenta defectos o sabores atípicos pero los atributos principales se encuentran en desbalance. >= 7= No presenta defectos o sabores atípicos, los atributos principales y secundarios se encuentran en balance.

Cacao de Excelencia, 2024

Análisis de la información

Los datos recolectados en campo y laboratorio fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA), aplicando la prueba Tukey ($p < 0,05$); análisis de conglomerados (mediante método Ward y distancia Gower) y análisis de componentes principales (ACP). Los análisis se realizaron utilizando el software Infostat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020).



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de variables durante la fermentación

La temperatura ambiente y humedad relativa promedio durante los días de los ensayos fue de 29,9 °C y 51,1 %, respectivamente, con valores máximos de 37,5 °C y 69 %. La lectura de mayor temperatura sobre la masa de fermentación se dio sobre los valores tomados a las 12:00 m. La temperatura en la masa de fermentación presentó mayor ascenso en los días 2 y 3 en todos los tratamientos, con valores máximos de 43,3 y 44,4 °C para cada día. En testigo (Test) y tratamiento 1 (T1_LEVMAT) en el día 4 se sostuvieron temperaturas por encima de 43 °C (Tabla 3).

Tabla 3.

Comportamiento de la temperatura por tratamiento durante los días de fermentación

Tratamiento	Día	n	Media	D.E.	E.E.	Mín.	Máx.
Test		3	27,83	1,25	0,72	26,40	28,70
T1_LEVMAT		3	27,67	1,14	0,66	26,40	28,60
T2_LEVFOR		3	27,53	1,03	0,59	26,40	28,40
T3_SECMAT	0	3	27,53	1,03	0,59	26,40	28,40
T4_SECFOR		3	27,80	1,22	0,70	26,40	28,60
T5_ESCMAT		3	27,80	1,22	0,70	26,40	28,60
T6_ESCFOR		3	27,80	1,22	0,70	26,40	28,60
Test		7	30,01	3,72	1,40	26,40	36,30
T1_LEVMAT		7	28,77	2,64	1,00	26,40	33,40
T2_LEVFOR		7	28,31	1,56	0,59	26,50	30,90
T3_SECMAT	1	7	27,66	2,26	0,85	24,80	30,60
T4_SECFOR		7	27,57	2,58	0,98	24,60	31,50
T5_ESCMAT		5	27,32	2,01	0,90	24,70	29,90
T6_ESCFOR		5	27,22	1,76	0,79	25,00	29,40
Test		8	36,60	5,49	1,94	29,00	42,60
T1_LEVMAT		8	35,51	3,71	1,31	31,00	40,50
T2_LEVFOR		8	36,02	4,84	1,71	30,50	43,30
T3_SECMAT	2	8	32,49	2,56	0,91	30,30	37,30
T4_SECFOR		8	33,39	3,49	1,23	30,00	38,70
T5_ESCMAT		8	40,58	1,87	0,66	36,70	42,60
T6_ESCFOR		8	39,83	2,66	0,94	36,00	42,60
Test		8	39,70	4,11	1,45	34,40	44,40
T1_LEVMAT		8	40,39	2,80	0,99	34,20	43,00
T2_LEVFOR		8	40,54	1,64	0,58	38,30	43,00
T3_SECMAT	3	8	39,17	2,31	0,82	34,00	41,80
T4_SECFOR		8	38,45	1,76	0,62	35,70	41,20
T5_ESCMAT		8	38,05	3,63	1,28	30,10	41,30
T6_ESCFOR		8	37,35	2,54	0,90	34,00	40,70
Test		8	39,02	4,03	1,42	35,30	44,70
T1_LEVMAT		8	39,58	2,77	0,98	36,00	43,60
T2_LEVFOR		8	37,34	1,84	0,65	35,00	39,80
T3_SECMAT	4	8	34,39	1,02	0,36	33,10	35,90
T4_SECFOR		8	34,45	1,58	0,56	32,20	37,00
T5_ESCMAT		8	32,83	1,71	0,60	30,30	35,40
T6_ESCFOR		8	33,63	2,72	0,96	31,00	38,50

autores



La temperatura de la fermentación entre los tratamientos con los cuatro días de fermentación no presentó diferencia estadística ($p > 0,05$) de acuerdo con la prueba Tukey, referente al manejo poscosecha y adición de levaduras frente al testigo. T3SECMAT y T4SECFOR presentaron menor temperatura promedio con valores de $33,08 \pm 0,92$ y $33,14 \pm 0,92$ °C, respectivamente. El testigo obtuvo una temperatura promedio mayor (35,77 °C) frente a los tratamientos evaluados (Figura 1).

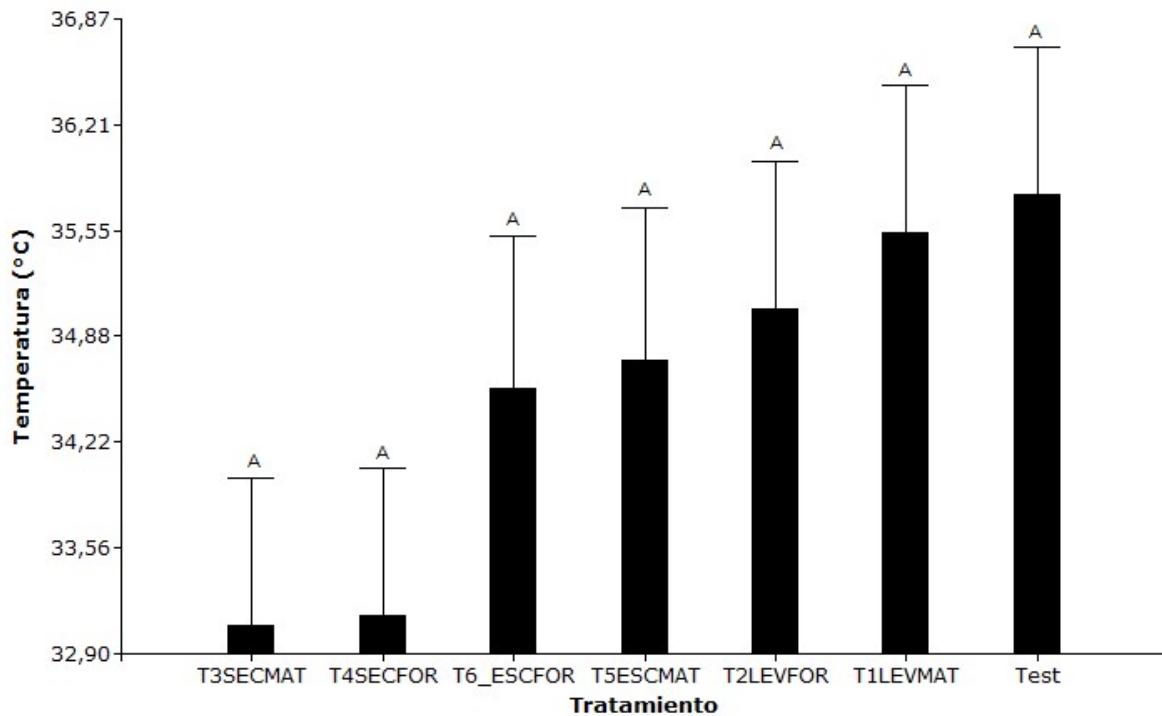


Figura 1.

Comparación de la temperatura entre tratamientos de acuerdo con los días de fermentación.
autores

Los tratamientos de preescurrido y presecado iniciaron la fermentación en el día 1, y en los tratamientos 1 y 2 los microorganismos fueron agregados en el mismo día, lo que pudo presentar un ligero enfriamiento en la masa de fermentación, retrasando el ascenso de la fermentación. El incremento de la temperatura de fermentación es provocado por las reacciones que generan calor en el grano y el aumento de la actividad de los microorganismos, los cuales se ven afectados por el ambiente externo (García et al., 2021; Álvarez et al., 2010). Esto causa la muerte del embrión y el comienzo de las reacciones enzimáticas en los tejidos del cotiledón, expresando los componentes de sabor y aroma a chocolate (López-Hernández y Criollo-Núñez, 2022; Gutiérrez-Correa, 2012).

Las variaciones de temperatura durante la fermentación de las semillas de cacao después de 48 horas están relacionadas directamente con los niveles de pH de la cáscara y el embrión (Palma et al., 2021). A medida que avanzó la fermentación, el mucílago se disminuyó, debido a los microorganismos presentes, los cuales permiten el aumento de temperatura (García- González et al., 2021; Santana et al., 2018). Según Dubón (2016), la temperatura no debe superar los 51 °C, porque afecta la calidad del grano y llega a pasar por una sobrefermentación, y no pueden ser menores a 40 °C (Hatmi et al., 2015), debido a que se pueden presentar procesos de descomposición donde se pueden desarrollar microorganismos indeseados (Ale et al., 2018).

El pH de la testa y del cotiledón no presentó diferencia estadística entre tratamientos ($p > 0,05$), donde se presentaron rangos de $3,96 - 4,37 \pm 0,11$ y $5,24 - 5,40 \pm 0,10$, respectivamente. El pH de la testa inició en moderadamente ácido ($>=3<5$), pasando en el día 4 a ligeramente ácido ($>=5<6$). Lo anterior se atribuye a la desasimilación del contenido de ácido cítrico por las levaduras y las bacterias acidolácticas, así como la sustitución por los ácidos lácticos y acéticos. El cotiledón presentó un comportamiento inverso, con un pH neutro antes de iniciar la fermentación, finalizando en un pH ligeramente ácido ($>=5<6$) (Figura 2), lo que indica un buen proceso de fermentación; sin embargo, se deben relacionar con análisis sensorial para confirmar lo expresado (López-Hernández y Criollo-Núñez, 2023).

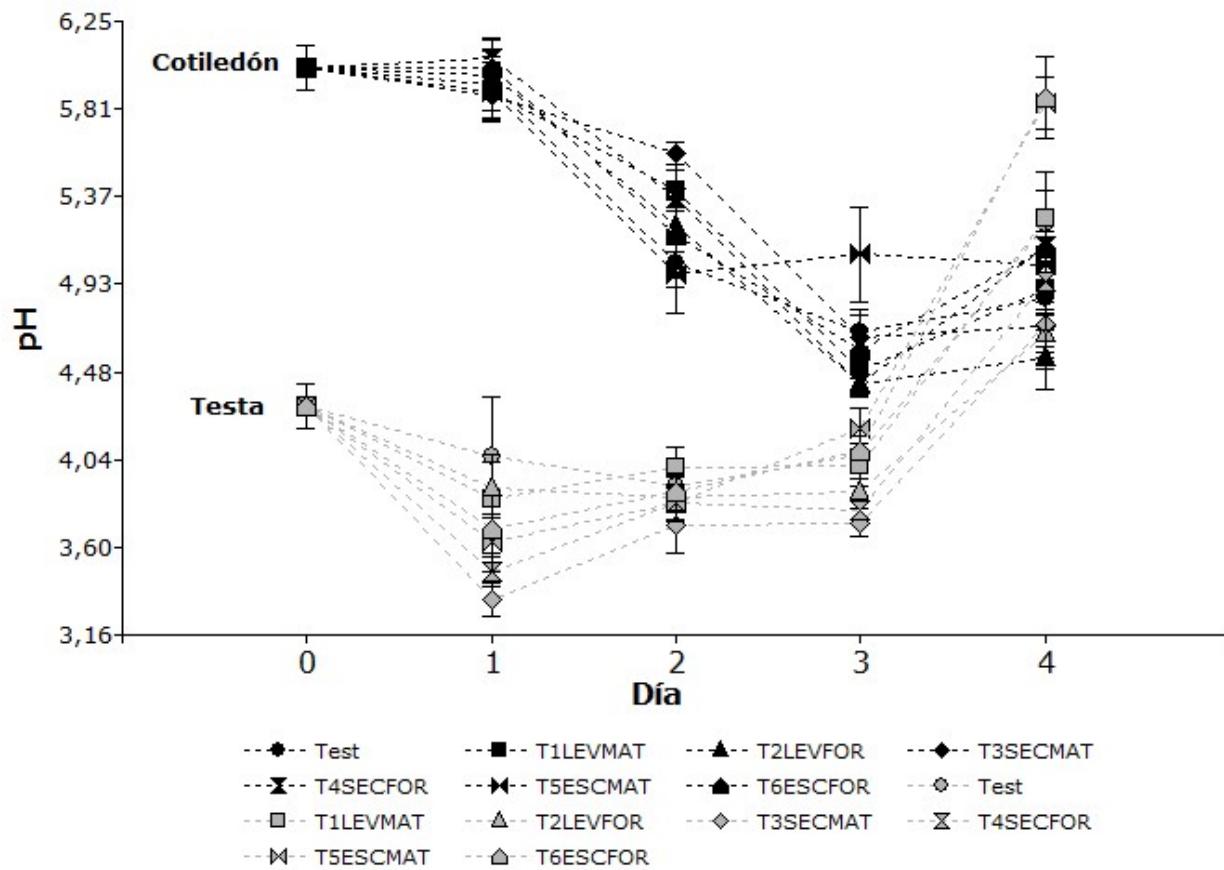


Figura 2.
Comportamiento del pH en testa y cotiledón durante la fermentación en tratamientos poscosecha y adición de microorganismos autores

La variación de pH entre la parte interna (cotiledón) y externa (testa) del grano de cacao se debe a la degradación de las paredes de la testa (cáscara) del grano de cacao que permiten el intercambio de sustancias e interacción de microorganismos. La degradación de la pulpa inicia con el contacto de microorganismos que degradan los compuestos presentes, que separan las semillas y forman productos químicos que permean la testa y generan cambios en el cotiledón (dentro del grano) (Casco et al., 2023).

Torres et al. (2016) mencionan que al inicio de la fermentación la pulpa es estéril, pero la existencia de azúcar y la correcta acidez (pH 3,5) crean excelentes condiciones para el crecimiento de microorganismos. El pH incide en la formación de los precursores del sabor en los granos de cacao. Un pH entre 5,1 y 5,7 indica granos bien fermentados, y menor a 5 muestra la existencia de ácidos volátiles indeseables que generan un aroma y una fragancia desagradables que se producen principalmente por fermentación incompleta (Lagos et al., 2024). Bobiles et al. (2022) reportan pH de la pulpa de cacao a las 0 horas entre 3,85 y 4,02; a las 24 horas de fermentación osciló entre 3,70 y 3,94. La tendencia continuó aumentando hasta el final de la fermentación a las 144 horas, con pH entre 5,14 y 6,76.

El comportamiento de los grados Brix (Bx) fue lo opuesto a la temperatura, e inició con un promedio de 11,73 con valores en un rango entre 5 y 17,80. Los Bx presentaron un declive hasta el día 2, excepto por el testigo. En general, se evidencia que existe una disminución de los grados Brix para el día 4, respecto al inicio del proceso, debido al consumo de los azúcares que se encuentran presentes en el mucílago del cacao (Figura 3).

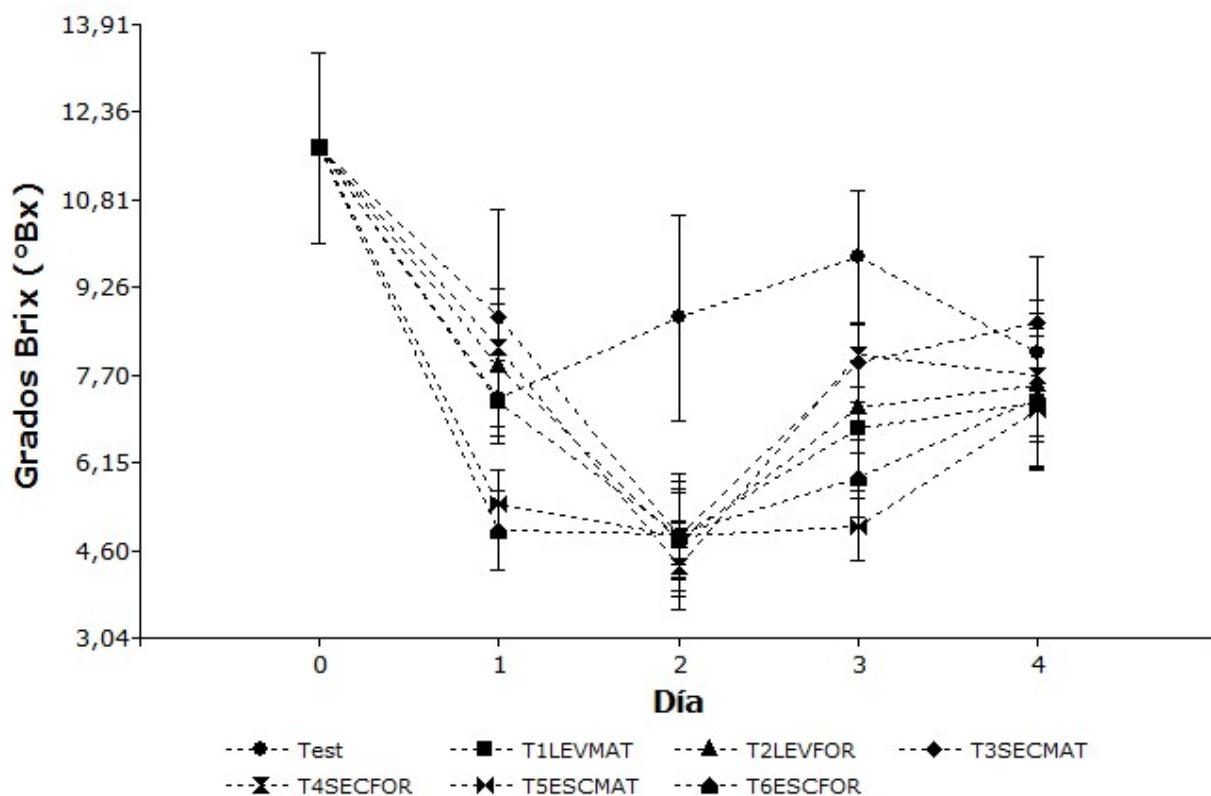


Figura 3.

Grados Brix durante los cuatro días de fermentación en tratamientos poscosecha y adición de microorganismos en cacao autores

A nivel de tratamiento, los grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$) no presentaron diferencia estadística ($p > 0,05$) en sólidos solubles totales, entre ellos el azúcar; aunque el testigo presentó mayor concentración de $^{\circ}\text{Bx}$. Esto es debido al manejo poscosecha del cacao, con pérdida de humedad en la pulpa de cacao más adición de microorganismos, que crea mayor competencia y necesidad de energía (azúcar) por unidad de área entre los individuos (Figura 4). La mezcla de levaduras en un mismo medio fermentativo se ha relacionado con el estrés frente al aprovechamiento de sustrato y nutrientes, a tal punto que se genera cierta competencia entre las biomassas presentes (Ochoa et al., 2024).

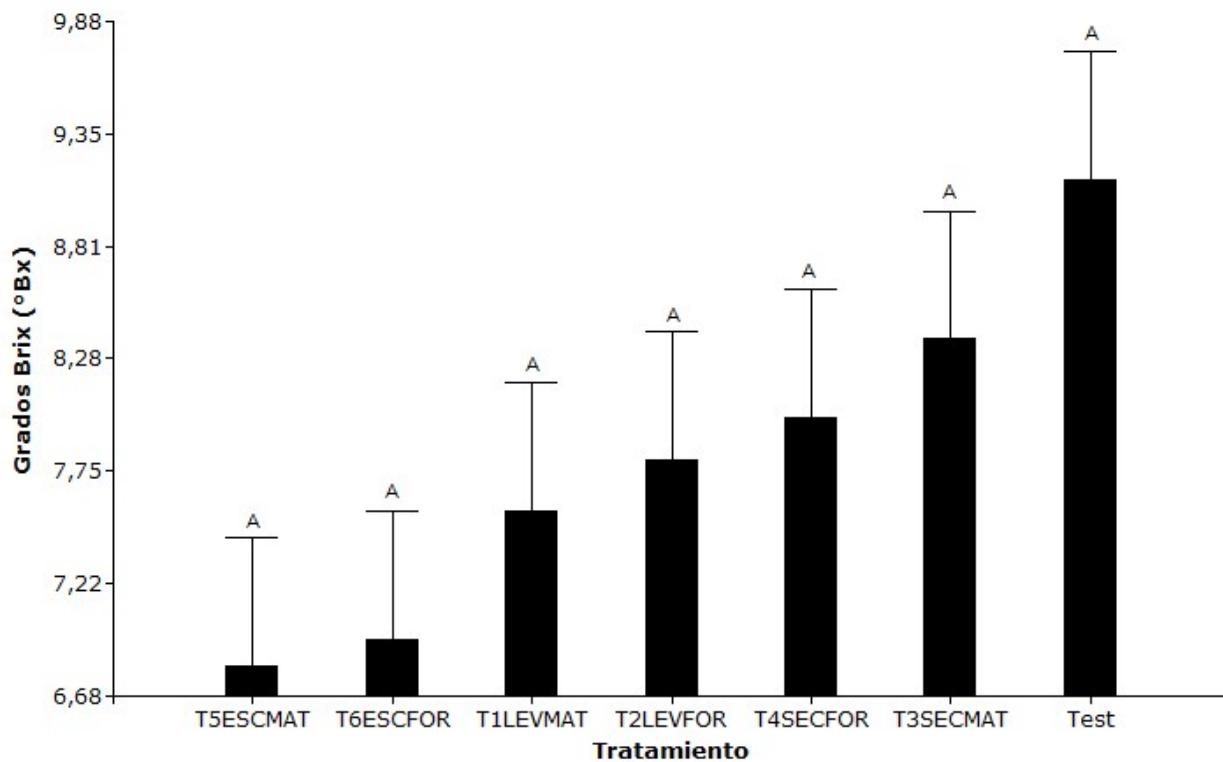


Figura 4.
Comparación de tratamientos poscosecha y adición de microorganismos en el comportamiento de grados Brix autores

La pulpa del cacao se puede clasificar como un producto de alto contenido de acidez ($\text{pH} < 4,5$) y alto contenido de sólidos solubles totales, con valores alrededor de 18 $^{\circ}\text{Bx}$ (Homem et al., 2017). Vallejo et al. (2016) reportan grados Brix para pulpa de cacao entre 12,5 y 15,9 $^{\circ}\text{Bx}$ en cacao tipo nacional y trinitario (CCN-51) en Ecuador. De acuerdo con lo reportado por Alvarado (2022), la concentración de $^{\circ}\text{Brix}$ en la fermentación con adición de microorganismos no determina un efecto claro del factor del uso de levaduras, pero sí demuestra una acción positiva por efecto de la acción microbiana en la fermentación de cacao.

Análisis físico

La conversión de cacao húmedo a cacao seco fue en promedio de $33,31\% \pm 0,66$; con variaciones entre 29 y 38,2 %. El índice de grano promedio fue de 1,06 que corresponde a granos de cacao estándar. Los rangos para esta variable estuvieron entre 0,79 y 1,74, cubriendo las tres clasificaciones que se encuentran en la NTC 1252 del 2021: premium (>120), estándar (95-120) y corriente (<95). Estas variaciones son debido a la mezcla de los diferentes orígenes de material genético (criollo, forastero, trinitario) y la no selección del tamaño de grano para realizar la fermentación o secado.

Los granos deseados (suficientemente fermentados) y no deseados (insuficientemente fermentados más los defectos) no presentaron diferencia estadística entre las medias de los tratamientos ($p > 0,05$). Generalmente, todos los tratamientos obtuvieron una fermentación adecuada, presentando granos suficientemente fermentados mayor al 70 %. Sin embargo, se presentaron rangos de granos bien fermentados desde 51 % hasta 95 % entre los tratamientos (Tabla 4).

Tabla 4.

Análisis físico de los tratamientos de fermentación con manejo pre fermentación y adición de microorganismos

Tratamiento	Granos deseados			Granos no deseados		
	Media	Mín.	Máx.	Media	Mín.	Máx.
Test	$75,78 \pm 2,91^A$	62	84	$24,22 \pm 2,91^A$	16	38
T1_ LEVMAT	$76,89 \pm 2,91^A$	69	90	$23,11 \pm 2,91^A$	10	31
T2_ LEVFOR	$78,33 \pm 2,91^A$	71	88	$21,67 \pm 2,91^A$	12	29
T3_ SECMAT	$78,67 \pm 2,91^A$	68	86	$21,33 \pm 2,91^A$	14	32
T4_ SECFOR	$75,67 \pm 2,91^A$	65	90	$24,33 \pm 2,91^A$	10	35
T5_ ESCMAT	$78 \pm 2,91^A$	51	95	$22 \pm 2,91^A$	5	49
T6_ ESCFOR	$79,56 \pm 2,91^A$	60	91	$20,44 \pm 2,91^A$	9	40

autores

Nota. Medias con una letra común en la misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La fermentación de cacao en la calidad física depende de factores como el material genético de cacao, grado de maduración, protocolo de fermentación, volteos, secado (Erazo, et al., 2021; Vallejo et al., 2018) y temperaturas adecuadas que oscilen entre 40 y 50 °C (Hatmi et al., 2015). La no atención en estos factores se evidencia en la prueba de corte que determina granos insuficientemente fermentados, violetas y pizarrosos (Ortiz et al., 2009). Esta investigación obtuvo resultados similares a lo encontrado por Vera et al. (2022), donde reporta que la mayoría de las variables de prueba de corte no presentaron diferencias estadísticas ($p > 0,05$), donde indica que estas variables no son influenciadas por la acción microbiana (*Saccharomyces cerevisiae*) durante la fermentación del cacao.

Análisis sensorial

A los resultados del análisis sensorial se aplicó una prueba estadística mediante el método de Ward y la distancia de Gower, donde se generaron cuatro grupos con una correlación cofenética del 78,2 %, evidenciando similitud y cercanía entre ellos de acuerdo con las variables evaluadas (Figura 5). El conglomerado 3 (T3_SECMAT, T4_SECFOR) se destaca por desarrollar un mejor balance promedio entre los atributos principales (cacao: 4,67; acidez: 4,67; amargor: 3,67 y astringencia: 3-3,67, respectivamente) y mayor puntaje en calidad global (6,17 - 6,5, respectivamente) (Figura 5, Tabla 5).



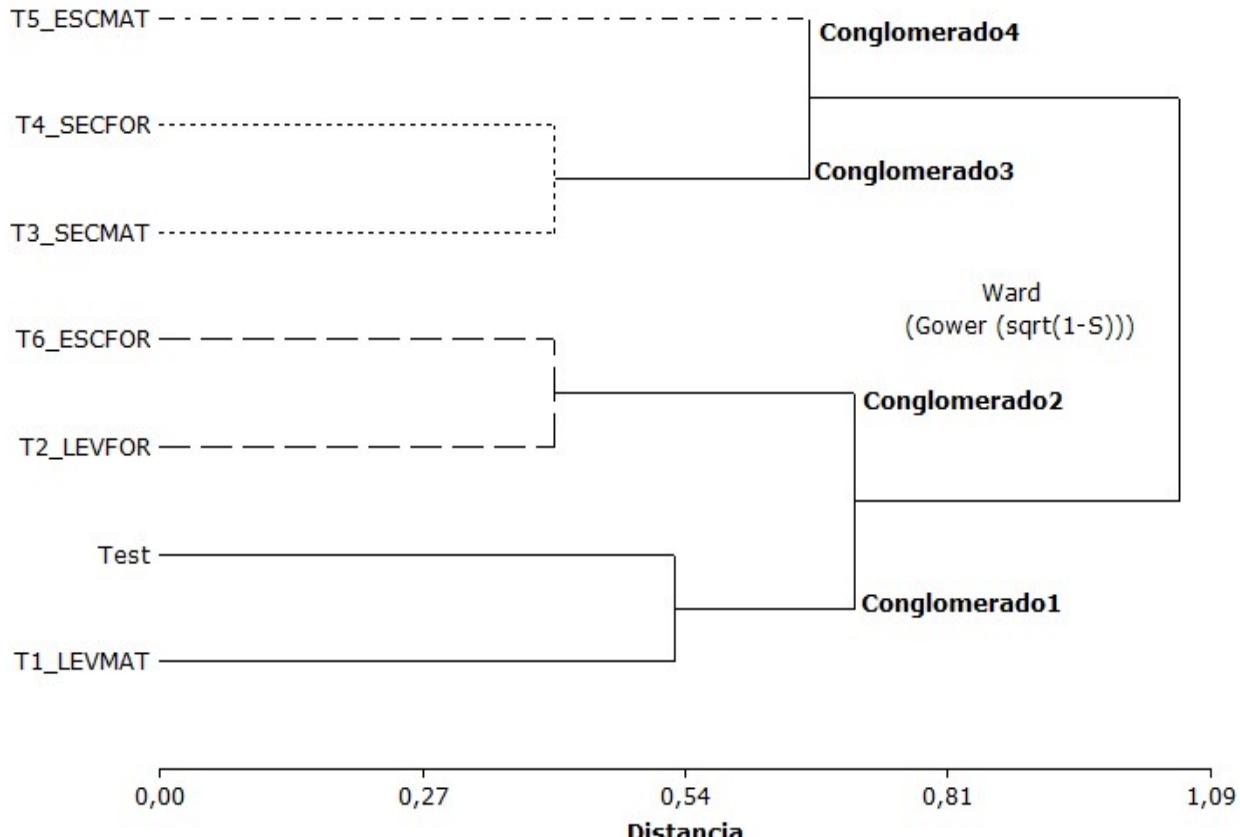


Figura 5.

Análisis de conglomerados, según la técnica de Ward para análisis sensorial como resultado de seis tratamientos y un control autores

En la tabla 5 se presentan los puntajes relacionados con los atributos (sabores) principales resultados del análisis sensorial de los diferentes tratamientos.

Tabla 5.

Análisis sensorial de los atributos principales de seis tratamientos de fermentación y un control

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	E.E.	Mín	Máx
Test	Cacao	3	3,67	0,58	0,33	3,00	4,00
	Acidez	3	3,33	1,53	0,88	2,00	5,00
	Amargor	3	3,67	0,58	0,33	3,00	4,00
	Astringencia	3	4,00	1,00	0,58	3,00	5,00
T1_LEVMAT	Calidad global	3	5,50	0,50	0,29	5,00	6,00
	Cacao	3	3,67	0,58	0,33	3,00	4,00
	Acidez	3	4,00	0,00	0,00	4,00	4,00
	Amargor	3	4,00	1,00	0,58	3,00	5,00
T2_LEVFOR	Astringencia	3	4,33	1,53	0,88	3,00	6,00
	Calidad global	3	5,83	0,76	0,44	5,00	6,50
	Cacao	3	4,00	0,00	0,00	4,00	4,00
	Acidez	3	5,33	1,15	0,67	4,00	6,00
T3_SECMAT	Amargor	3	4,00	1,73	1,00	3,00	6,00
	Astringencia	3	4,00	1,00	0,58	3,00	5,00
	Calidad global	3	5,83	0,76	0,44	5,00	6,50
	Cacao	3	4,67	0,58	0,33	4,00	5,00
T4_SECFOR	Acidez	3	4,67	1,53	0,88	3,00	6,00
	Amargor	3	3,67	0,58	0,33	3,00	4,00
	Astringencia	3	3,00	0,00	0,00	3,00	3,00
	Calidad global	3	6,17	0,29	0,17	6,00	6,50
T5_ESCMAT	Cacao	3	4,67	0,58	0,33	4,00	5,00
	Acidez	3	4,67	0,58	0,33	4,00	5,00
	Amargor	3	3,67	0,58	0,33	3,00	4,00
	Astringencia	3	3,67	1,53	0,88	2,00	5,00
T6_ESCFOR	Calidad global	3	6,50	0,87	0,50	6,00	7,50
	Cacao	3	5,00	1,00	0,58	4,00	6,00
	Acidez	3	5,00	1,00	0,58	4,00	6,00
	Amargor	3	3,33	0,58	0,33	3,00	4,00
	Astringencia	3	3,67	0,58	0,33	3,00	4,00
	Calidad global	3	5,67	0,29	0,17	5,50	6,00
	Cacao	3	4,33	0,58	0,33	4,00	5,00
	Acidez	3	5,00	0,00	0,00	5,00	5,00
	Amargor	3	4,00	1,00	0,58	3,00	5,00
	Astringencia	3	3,67	1,15	0,67	3,00	5,00
	Calidad global	3	5,67	0,29	0,17	5,50	6,00

autores

El análisis de componentes principales visualiza las principales variables evaluadas en el análisis sensorial, el cual explica el 70,6 % de la variabilidad total de los datos en el CP1 y CP2. En este sentido, se evidencia que T3, T4 y T5 presentaron acidez láctica y frutal, sabor a cacao entre los atributos principales, y concentración en atributos complementarios como caramelos, madera, vegetal y nuez. En el caso de T6 resaltó la acidez acética y el amargor (atributos principales), sabores complementarios a especia y fruta marrón (Figura 6).



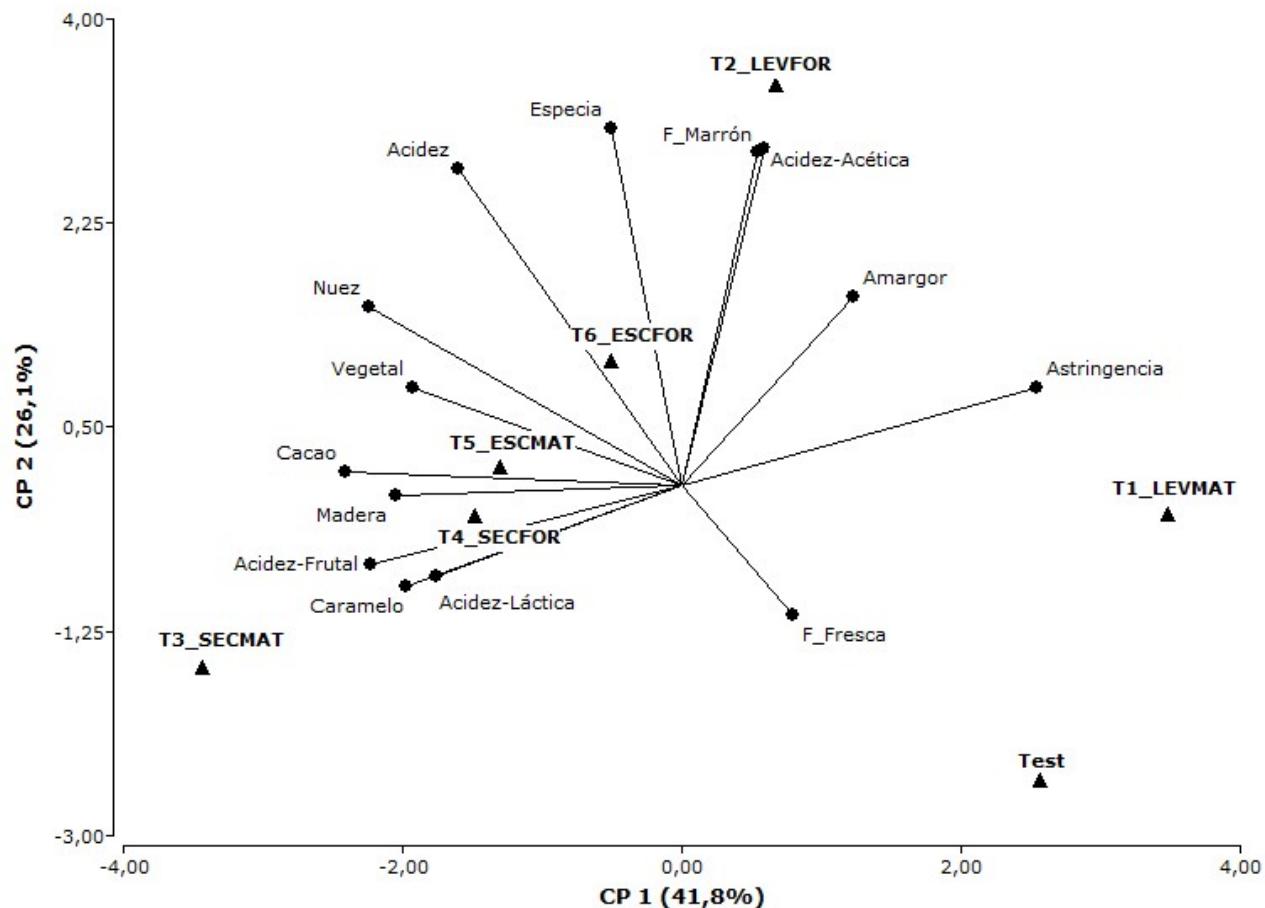


Figura 6.

Análisis de componentes principales del análisis sensorial de atributos principales y complementarios en la prefermentación y en adición de levaduras autores

En la tabla 6 se presentan sabores complementarios identificados durante el análisis sensorial de los diferentes manejos de prefermentación y adición de microorganismos.

Tabla 6.

Descripción de sabores de los atributos principales y complementarios identificados por el panel del análisis sensorial

Atributo complementario	Sabor
Fruta fresca	Bayas, cítricos, oscura, pulpa amarilla y tropical.
Fruta marrón	Fruta seca, fruta marrón y fruta sobremadura.
Especia	Especies, tabaco, sazonado/humami.
Nuez	Parte interna, piel de la nuez.
Vegetal	Pasto/hierba, terroso.
Madera	Clara, oscura, resina.

autores

En la fermentación prevalecen de forma natural tres grupos de microorganismos: levaduras, bacterias acidolácticas y bacterias acidoacéticas, cada una se encarga de originar un metabolito secundario diferente, reflejado en la calidad sensorial del grano de cacao (Herrera-Rocha et al., 2021). Estos microorganismos ayudan al mejoramiento de la fermentación y además brindan características sensoriales, donde cumplen un papel importante dentro del proceso fermentativo (El Salous et al., 2019). El uso de las levaduras ayuda a que el producto final sea potenciado por su calidad sensorial en la generación de compuestos aromáticos y, por ende, a que sea más apetecible a los consumidores (Malićanin et al., 2022, Andrade et al., 2019).

Alvarado et al. (2022) indican que el uso de microorganismos como la levadura *Saccharomyces cerevisiae* ayuda a elevar la temperatura de manera no tan rápida para permitir un proceso químico y cumplir las tres etapas de la fermentación: la fermentativa, la acética y la oxidativa. Es necesario reconocer que el aroma y los sabores dependen del material genético del cacao, madurez del fruto y del tratamiento poscosecha, como lo es la fermentación, el secado y el tostado (Guzmán y Gómez, 2014). Por ende, la importancia de realizar un reconocimiento y clasificación de los microorganismos que participan en la fermentación según cada tipo de material genético para poder generar protocolos que expresen atributos deseados durante la fermentación (Chagas-Junior et al., 2021).



4. CONCLUSIONES

Los tratamientos T3_SECMAT y T4_SECFOR presentaron la menor temperatura promedio durante la fermentación con 33,08 y 33,14 °C. Los granos deseados fueron del 78,67 % y 75 %, respectivamente. Con estas características, dichos tratamientos se destacaron entre los demás, por presentar un mejor balance promedio en cacao (4,67), acidez (4,67), amargor (3,67) y astringencia (3-3,67, respectivamente), y mayor puntaje en calidad global (6,17-6,5, respectivamente), demostrando menor presencia de defectos (sabores atípicos) en las muestras. Asimismo, reportan mayor complejidad entre sus sabores con una acidez frutal y láctica, y sabores complementarios a madera, caramelo, nuez y vegetal.

La adición de microorganismos, en este caso las levaduras de la cepa *Saccharomyces cerevisiae* en la fermentación, genera una demanda mayor de azúcar, fuente de energía para la microbiota en la pulpa de cacao, por lo tanto, se requiere de un seguimiento mayor de esta operación unitaria para no afectar la calidad del cacao. El manejo prefermentación (presecado, preescurrido) de cacao y adición de levaduras permiten resaltar atributos complementarios en el cacao, lo que permite generar y acentuar sabores diferenciados entre muestras, creando mayor complejidad en el cacao transformado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) y, por consiguiente, al Centro de Formación Agroindustrial “La Angostura”, por permitir la realización de proyectos de investigación aplicada a través del Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA), los cuales buscan fortalecer capacidades locales en productividad, competitividad, generación de conocimiento y pertinencia de la formación profesional integral impartida en la institución.

Adicionalmente, agradecen la participación, interés y disposición de los productores de las fincas aliadas, instructores, aprendices, pasantes y trabajadores de campo que contribuyeron de una u otra forma a consolidar los resultados que hoy se presentan en este artículo.



LITERATURA CITADA

- Afoakwa, E. (2016). History, origin and taxonomy of cocoa. *Chocolate Science and Technology*. <https://doi.org/10.1002/9781118913758.ch1>
- Ale, M. O., Akintade, A. A. & Orungbemi, O. O. (2018). Effects of fermentation techniques on the quality of cocoa beans. *Int. J. Agric. Biosyst. Eng.*, 12(8), 251-254. <https://scispace.com/pdf/effects-of-fermentation-techniques-on-the-quality-of-cocoa-43iwl7480n.pdf>
- Alvarado, K., Vera, J., Tuarez, D., Intriago, F. (2022). Fermentación de cacao (*Theobroma cacao* L.) con adición de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) y enzima (PPO's) en la disminución de metales pesados. *Centrosur Agraria*. <https://centrosuragraria.com/index.php/revista/article/view/191>
- Alvarado, M. C., Sanchez, P. D. C. & Polongasa, S. G. N. (2023). Emerging rapid and non-destructive techniques for quality and safety evaluation of cacao: recent advances, challenges, and future trends. *Food Production, Processing and Nutrition*, 5(1), 40. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s43014-023-00157-w>
- Álvarez, C., Tovar, L., García, H., Morillo, F., Sánchez, P., Girón, C. y De Farias, A. (2010). Evaluación de la calidad comercial del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) usando dos tipos de fermentadores. *Revista científica UDO agrícola*, 10(1), 76-87. <https://www.bioline.org.br/pdf?cg10010>
- Andrade, J., Rivera-García, J., Chire-Fajardo, G. C. y Ureña-Peralta, M. O. (2019). Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao *Theobroma cacao* L. de Ecuador y Perú. *Enfoque UTE*, 10(4), 1-12. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n4.462>
- Bobiles, S. C., Elegado, F. B., Millena, C. G. & Merca, F. E. (2022). Small-scale cacao (*Theobroma cacao* L.) fermentation process utilizing cacao pod husk. *Food Research*, 6(4), 236-245. [https://doi.org/https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(4\).502](https://doi.org/https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(4).502)
- Cacao de Excelencia. (2024). Guía para la Evaluación de la Calidad y el Sabor del Cacao. Compilado por el programa Cacao de Excelencia de la Alianza de Bioversity International y CIAT, en colaboración con los miembros del Grupo de Trabajo de International Standards for the Assessment of Cacao Quality and Flavour - ISCQF. Bioversity International.
- Cámara de Comercio del Huila. (2022). *Industria cacaotera en el departamento de Huila*. www.cchuila.org
- Casco, M., Murillo, G., Soria, G. y Murillo, H. (2023). Métodos de fermentación en el cacao ccn-51 con norma inen 176 en la parroquia Guasaganda. *Polo del Conocimiento*, 8(6) 613-633. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i6>
- Cedeño Coll, E. P. y Dilas-Jiménez, J. O. (2022). Producción y exportación del cacao ecuatoriano y el potencial del cacao fino de aroma. *Qantu Yachay*, 2(1), 8-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.54942/qantuyachay.v2i1.17>
- Chagas-Junior, G.C.A., Ferreira, N. R. & Lopes, A. S. (2021). The microbiota diversity identified during the cocoa fermentation and the benefits of the starter cultures use: An overview. *Int. J. Food Sci. Technol.* 56(2),544-552. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14740>
- Delgado-Ospina, J., Acquaticci, L., Molina-Hernandez, J. B., Rantsiou, K., Martuscelli, M., Kamgang-Nzekoue, A. F., Vittori, S., Paparella, A. & Chaves-López, C. (2021). Exploring the capability of yeasts isolated from Colombian fermented cocoa beans to form and degrade biogenic amines in a lab-scale model system for cocoa fermentation. *Microorganisms*, 9(1), 28. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9010028>



- De Vuyst, L. & Weckx, S. (2016). The cocoa bean fermentation process: from ecosystem analysis to starter culture development. *Journal of Applied Microbiology*, 121(1), 5-17. <https://doi.org/10.1111/jam.13045>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C. W. InfoStat versión (2020). Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Dubón, A. (2016). *Protocolo para el Beneficiado y Calidad del Cacao*. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), la Fundación Helvetas Honduras (FHH) y Chocolats Halba.
- El Salous, A., Angulo-González, A., Solís, L. (2019). Acceleration of cocoa fermentation through the action of bacteria (*Acetobacter aceti*) and yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). *Espirales Revista Multidisciplinaria de Investigación*, 3(28), 1-20.
- Erazo, C., Bravo, K., Tuárez, D., Fernández, A., Torres, T. y Vera, J. (2021). Efecto de la fermentación de cacao (*theobroma cacao L.*), variedad nacional y trinitario, en cajas de maderas no convencionales sobre la calidad física y sensorial del licor de cacao. *Revista de Investigación Talentos*, 8(2), 42-55. <https://doi.org/10.33789/talentos.8.2.153>
- Esencial, PROCOMER, BID. (2020). Manual técnico: poscosecha de cacao fino y de aroma. <https://www.procomer.com/wp-content/uploads/Manual-poscosecha-de-cacao-fino-y-de-aroma.pdf>
- FAO. (2023). With major processing by Our World in Data. “Cocoa bean production – FAO” [dataset]. Food and Agriculture Organization of the United Nations, “Production: Crops and livestock products” [original data]. <https://ourworldindata.org/grapher/cocoa-bean-production>
- García, M., Crespo, J., Cabellos, J. M. & Arroyo, T. (2021). Growth of non-*saccharomyces* native strains under different fermentative stress conditions. *Fermentation*, 7(3), 124. <https://doi.org/10.3390/fermentation7030124>
- García-González, E., Ochoa-Muñoz, A. F., Montalvo-Rodríguez, C., Ordoñez-Narváez, G. A. y Londoño-Hernández, L. (2021). Sucesión microbiana durante la fermentación espontánea de cacao en unidades productivas. *Ciencia en Desarrollo*, 12(2), 21-30. <https://doi.org/10.19053/01217488.v12.n2.2021.12242>
- Guzmán, J. A. y Gómez, S. L. (2014). Evaluación sensorial de cacao (*Theobroma cacao L.*) cultivado en la región del sur del departamento de Bolívar (Colombia). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5(2), 221-236. <https://doi.org/10.22490/21456453.1338>
- Gutiérrez-Correa, M. (2012). Efecto de la frecuencia de remoción y tiempo de fermentación en cajón cuadrado sobre la temperatura y el índice de fermentación del cacao (*Theobroma cacao L.*). *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(4), 914-918.
- Hatmi, R. U., Kobarsih, M. & Cahyaningrum, N. (2015). Fungi Level Analysis of Cocoa Beans Based on Fermentation Box Type and Duration. *Procedia Food Science*, 3, 371-382. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.01.041>
- Heredia-Gómez, J. F., Rueda-Gómez, J. P., Talero-Sarmiento, L. H., Ramírez-Acuña, J. S. y Coronado-Silva, R. A. (2020). Determinación de la madurez de mazorcas de Cacao, haciendo uso de redes neuronales convolucionales en un sistema embebido. *Revista Colombiana de Computación*, 21(2), 44-45. <https://doi.org/10.29375/25392115.4030>



- Herrera-Rocha, F., Cala, M. P., Aguirre Mejía, J. L., Rodríguez-López, C. M., Chica, M. J., Olarte, H. H., Fernández-Niño, M., González Barrios, A. F. (2021). Dissecting fine-flavor cocoa bean fermentation through metabolomics analysis to break down the current metabolic paradigm. *Scientific Reports*, 11(1), 21904. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01427-8>
- Homem, G. A., Reís, Q., Valle, R., Sodré, G. y Moreira, S. (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), 579-587. <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1274>
- Lagos Quispe, T. M., Vásquez Montenegro, E. E., Rojas Yauri, G., Huamani Urpe, I. L. & Sosa Choque, J. C. (2024). Fermentación de Cacao Criollo y CCN-51: Bacteria *Lactobacillus Fermentum* y levadura *Saccharomyces Cerevisiae*. *Revista Universidad y Sociedad*, 16(4), 52-63.
- Lallemand. (2019). Levadura seleccionada para el proceso de poscosecha del cacao. LALCocoaMatunda. En colaboración con INRA.
- Lima, L. J. R., Almeida, M. H., Nout, M. J. R. & Zwietering, M. H. (2011). *Theobroma cacao* L., "The Food of the Gods": Quality Determinants of Commercial Cocoa Beans, with Particular Reference to the Impact of Fermentation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(8), 731-761. <https://doi.org/10.1080/10408391003799913>
- López-Hernández, M. D. P. y Criollo-Núñez, J. (2022). Cambios fisicoquímicos en la fermentación y secado de materiales de cacao en Colombia. *Ciencia en Desarrollo*, 13(2), 25-34. <https://doi.org/10.19053/01217488.v13.n2.2022.14140>
- Machado, L., Ordoñez, C. M., Angel, Y. K., Guaca, L., Suárez, J. C. (2018). Organoleptic quality assessment of *Theobroma cacao* L. in cocoa farms in northern Huila, Colombia. *Acta Agronómica*, 67(1), 46-52. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122018000100046
- Machado, L., Murcia, V., Guzmán, K., Quintero, M., Guevara, N., Dussan, J. (2013). Manual técnico de análisis físico y sensorial de cacao. Centro de Formación Agroindustrial-SENA. Campoalegre, Huila.
- Machado, L., Medina, E., Guzmán, K. y Ordoñez, C. (2024). Evaluación de la calidad física y sensorial de grano de *Theobroma cacao* L. en respuesta a procesos de beneficio en municipios del norte del Huila, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 15(1), 137-156. <https://doi.org/10.22490/21456453.6710>
- Malićanin, M., Danilović, B., Stamenković Stojanović, S., Cvetković, D., Lazić, M., Karabegović, I. & Savić, D. (2022). Pre-fermentative cold maceration and native non-*Saccharomyces* yeasts as a tool to enhance aroma and sensory attributes of chardonnay wine. *Horticulturae*, 8(3), 212. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030212>
- Normas Técnicas Colombianas. [NTC]. (2021). NTC 1252. Cacao en grano. Especificaciones y requisitos de calidad. *ICONTEC*, 65. <https://wdn2.ipublishcentral.com//hipertexto500148/viewinsidehtml/501688354871380>
- Ochoa Flórez, D. E., Duran Osorio, D. S. y Trujillo Navarro, Y. Y. (2024). Adaptación de levaduras: factores de incidencia de estrés fermentativo del género *saccharomyces* en vinificación. Una revisión. *Revista ION*, 37(1), 83-98. <https://doi.org/10.18273/revion.v37n1-2024006>
- Palma, H. J., Intriago, F. G., Andrade, V. V., Gorozabel, W. A., Zambrano, M. J. (2021). Determinación de los niveles de cadmio en el beneficio de la almendra de cacao con diferentes concentraciones de salmuera. *Revista Pertinencia Académica*, 5(1), 86-96. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4796595>



- Plaza, A., Carriel, T., Ibarra, E., Bustamante, W. & Soledispa Baque, C. (2019). Fermentation of cocoa CCN-51, on the basis of three methods, in different times. *Journal of Asia Pacific Studies*, 5(3), 394.
- Santana, P., Vera, J., Vallejo, C. y Alvarez, A. (2018). Mucílago de cacao, nacional y trinitario para la obtención de una bebida hidratante. *Universidad Ciencia y Tecnología*, (4), 179-189.
- Schroth, G., Läderach, P., Martinez-Valle, A., Bunn, C. & Jassogne, L. (2017). Vulnerability to climate change of cocoa in West Africa: Patterns, opportunities and limits to adaptation. *Science of the Total Environment*, 556, 231-241. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.024>
- Suárez, J. C., Polanía, J. A., Contreras, A. T., Rodríguez, L., Machado, L., Ordoñez, C., Bee, S. & Rao, I. M. (2020). Adaptation of common bean lines to high temperature conditions: Genotypic differences in phenological and agronomic performance. *Euphytica*, 216(28). <https://doi.org/10.1007/s10681-020-2565-4>
- Teneda, W. (2016). Mejoramiento del proceso de fermentación del cacao (*Theobroma cacao L.*). *Universidad Internacional de Andalucía*. <http://hdl.handle.net/10334/3743>
- Torres, C. A. V., Ocampo, R. D., Rodríguez, W. M., Velasco, R. S., Chang, J. F. V. y Cedeño, C. B. (2016). Utilización del mucílago de cacao, tipo nacional y trinitario, en la obtención de jalea. *Revista Espamciencia*, 7(1), 51-58.
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2023). Evaluaciones Agropecuarias Municipales: Base agrícola 2019-2023. https://upra.gov.co/es-co/Paginas/eva_2023.aspx
- Utami, R., Kobarsih, M. & Cahyaningrum, N. (2015). Fungi level analysis of cocoa beans based on fermentation box type and duration. *Procedia Food Science*, 3, 371-382. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.01.041>
- Vallejo, C., Díaz, R., Morales, W., Velasco, R., Vera, J. y Baren, C. (2016). Utilización del mucílago de cacao, tipo nacional y trinitario, en la obtención de jalea. *Revista Espamciencia*, 7(1), 51-58.
- Vallejo, C., Loayza, G., Morales, W. y Vera, J. (2018). Perfil sensorial de genotipos de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la parroquia valle hermoso-Ecuador. *Revista Espamciencia para El Agro*, 9(2), 103-113.
- Viesser, J. A., de Melo Pereira, G. V., de Carvalho Neto, D. P., Favero, G. R., de Carvalho, J. C., Goés-Neto, A., Roges, H. & Soccot, C. R. (2021). Global cocoa fermentation microbiome: revealing new taxa and microbial functions by next generation sequencing technologies. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 37(118), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03079-2>

Financiamiento

Fuente: Los resultados obtenidos en el artículo se realizaron en el marco del proyecto denominado “Uso de microorganismos en el beneficio de café y cacao para el mejoramiento de la calidad en el norte del Huila”, financiado a través del Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA) del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).

Nº de contrato: Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA) del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)

Beneficiario: EFECTO DEL USO DE MICROORGANISMOS EN LA CALIDAD FÍSICA Y SENSORIAL EN CACAO EN EL NORTE DEL HUILA



INFORMACIÓN ADICIONAL

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA: **Autor 1:** conceptualización, metodología, investigación, sistematización, análisis de datos, redacción, revisión, edición. **Autor 2:** metodología, investigación, sistematización, análisis de datos, redacción. **Autor 3:** metodología, investigación, sistematización, revisión, edición. **Autor 4:** conceptualización, metodología, investigación, revisión, edición. **Autor 5:** conceptualización, metodología, investigación, revisión, edición. **Autor 6:** metodología, revisión, edición.

CONFLICTO DE INTERESES: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

ENLACE ALTERNATIVO

[https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/issue/archive \(html\)](https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/issue/archive)

[https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/issue/archive \(pdf\)](https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/issue/archive)



AmeliCA

Disponible en:

<https://portal.amelica.org/amelia/ameli/journal/130/1305315007/1305315007.pdf>

Cómo citar el artículo

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista en portal.amelica.org

AmeliCA

Ciencia Abierta para el Bien Común

Adrián Rico Aristizábal, Kevin Santiago Trujillo Guzmán,
Karen Julieth Lozano Rojas,
Claudia Mercedes Ordóñez Espinosa,
Kathryn Yadira Guzmán Pacheco, Valentín Murcia Torrejano
**EFFECTO DEL USO DE MICROORGANISMOS EN LA
CALIDAD FÍSICA Y SENSORIAL EN CACAO EN EL
NORTE DEL HUILA**
**EFFECT OF THE USE OF MICROORGANISMS ON PHYSICAL
AND SENSORY QUALITY IN COCOA IN NORTHERN HUILA**

Revista de Investigación Agraria y Ambiental
vol. 16, núm. 2, p. 143 - 167, 2025
Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia
riaa@unad.edu.co

ISSN: 2145-6097
ISSN-E: 2145-6453

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.8988>

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/about>



CC BY-NC-SA 4.0 LEGAL CODE

Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

