UNEMI
UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO
FACULTAD DE POSGRADO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ARTÍCULOS PROFESIONALES DE ALTO NIVEL
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

TEMA:

Aplicación de *Saccharomyces cerevisiae* y extractos frutales en la poscosecha del cacao (*Theobroma Cacao* L.) como estrategia para mejorar la calidad del grano y el perfil sensorial de la pasta de cacao

Autor: Ing. Luis Humberto Vásquez Cortez
Ing. Sanyi Lorena Rodríguez Cevallos

Tutor: MSc. José Francisco Falconi Novillo

Milagro, 2026

APLICACIÓN DE *Saccharomyces cerevisiae* Y EXTRACTOS FRUTALES EN LA POSCOSECHA DEL CACAO (*Theobroma Cacao* L.) COMO ESTRATEGIA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL GRANO Y EL PERFIL SENSORIAL DE LA PASTA DE CACAO

APPLICATION OF *Saccharomyces cerevisiae* AND FRUIT EXTRACTS IN THE POST-HARVEST OF COCOA (*Theobroma Cacao* L.) AS A STRATEGY TO IMPROVE BEAN QUALITY AND THE SENSORY PROFILE OF COCOA PASTE

Luis Humberto Vásquez Cortez[1], Sanyi Lorena Rodríguez Cevallos[2], José Francisco Falconi Novillo[3]

{lvasquezc8@unemi.edu.ec[1], srodriguezc17@unemi.edu.ec[2], jfalconin@unemi.edu.ec[3]}

Fecha de recepción: 02/07/2026 / Fecha de aceptación: 15/08/2026 / Fecha de publicación: 25/08/2026

RESUMEN: La fermentación constituye una etapa determinante para el desarrollo de la calidad del cacao, por lo que el empleo de cultivos iniciadores y matrices frutales representa una alternativa para mejorar el control del proceso postcosecha. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de *Saccharomyces cerevisiae* y extractos frutales durante la fermentación del cacao (*Theobroma cacao* L.) sobre la calidad fisicoquímica, fermentativa y sensorial del grano y de la pasta obtenida. Se

[1]Universidad Estatal de Milagro, Facultad de Posgrado, Escuela de Ingeniería, Maestría en Ciencias y Tecnología de los alimentos, https://orcid.org/0000-0003-1850-0217

[2]Universidad Estatal de Milagro, Facultad de Posgrado, Escuela de Ingeniería, Maestría en Ciencias y Tecnología de los alimentos, https://orcid.org/0009-0003-4684-9587

[3]Universidad Estatal de Milagro, Facultad de Posgrado, Escuela de Ingeniería, Maestría en Ciencias y Tecnología de los alimentos, https://orcid.org/0000-0003-2623-115X

evaluaron nueve tratamientos resultantes de la combinación de tres niveles de *S.c erevisiea* (0, 0,05 y 1 %) y tres conficiones de extracto (sin extracto, papaya y guanabana). La fermentación se desarrolló durante cinco días en cajas de microfermentación tipo Rohan, con seguimiento de temperatura, pH y sólidos solubles. Posteriormente, se determinaron las características físicas y la calidad fermentativo y de calidad. La combinación de una cantidad del 1 % de *S. cerevisiae* combinado con el extracto de papaya alcanzó un valor de 92 % de granos fermentados; 7 % de granos violetas y 6,13 % de humedad, lo cual favoreció el comportamiento tecnológico más correcto entre los tratamientos propuestos. Asimismo, el tipo de extracto ejerció un efecto significativo sobre el pH, acidez, humedad y cenizas de la pasta, y la modalidad de los tratamientos generó diferentes perfiles sensoriales como resultado de los mismos. Por tanto, se llega a la conclusión de que *S. cerevisiae* y los extractos de fruta pueden ser usados para modular la fermentación y las características de calidad del cacao, destacando el extracto de papaya como el más interesante debido a su capacidad para regular las fermentaciones y las condiciones postcosecha.

Palabras clave: Saccharomyces cerevisiae; Theobroma cacao; fermentación; extractos frutales; calidad postcosecha; análisis sensorial.

ABSTRACT: Fermentation is a critical stage in the development of cocoa quality; therefore, the use of starter cultures and fruit-based matrices represents an alternative approach to improve the control of postharvest processing. This study aimed to evaluate the effect of *Saccharomyces cerevisiae* and fruit extracts during cocoa (*Theobroma cacao* L.) fermentation on the physicochemical, fermentative, and sensory quality of the beans and the resulting cocoa paste. Nine treatments were evaluated, resulting from the combination of three levels of *S. cerevisiae* (0, 0.5, and 1%) and three extract conditions (no extract, papaya, and soursop). Fermentation was conducted for five days in Rohan-type microfermentation boxes, with temperature, pH, and total soluble solids monitored throughout the process. Subsequently, the physical characteristics and fermentative quality of the beans, the physicochemical properties of the cocoa paste, and its sensory profile were evaluated. The combination

of 1% S. cerevisiae mixed with papaya extract resulted in 92% fermented grains, 7% violet grains, and 6.13% moisture content, which yielded the best technological performance among the proposed treatments. Likewise, the type of extract had a significant effect on the paste's pH, acidity, moisture content, and ash content, and the treatment conditions resulted in different sensory profiles. Therefore, it is concluded that S. cerevisiae and fruit extracts can be used to modulate fermentation and the quality characteristics of cocoa, with papaya extract standing out as the most promising due to its ability to regulate fermentation and post-harvest conditions.

Keywords: Saccharomyces cerevisiae; Theobroma cacao; fermentation; fruit extracts; postharvest quality; sensory analysis

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) constituye uno de los cultivos tropicales de mayor importancia económica, social y ambiental a nivel mundial, debido a que representa el sustento de millones de pequeños productores y abastece a una industria chocolatera cuya demanda continúa incrementándose, especialmente en el segmento de chocolates finos y de origen (1). En este contexto, la calidad del cacao ha adquirido una relevancia estratégica, ya que determina la competitividad del producto en mercados especializados y el valor agregado de la cadena agroindustrial (2). Diversos estudios coinciden en que la calidad final del cacao no depende únicamente del material genético o de las condiciones de cultivo, sino también del adecuado manejo de las operaciones de poscosecha, siendo la fermentación el proceso de mayor influencia sobre el desarrollo de las características fisicoquímicas, bioquímicas y sensoriales del grano (3). Durante esta etapa se generan los principales precursores del aroma y sabor que posteriormente se desarrollan durante el tostado mediante las reacciones de Maillard, determinando atributos como el aroma, el sabor, el color y la calidad del chocolate (4).

La fermentación del cacao corresponde a un ecosistema microbiológico altamente dinámico en el que participan, de manera secuencial, levaduras, bacterias ácido lácticas y bacterias ácido acéticas (5). Durante las primeras 24 a 48 horas predominan las levaduras debido a la elevada disponibilidad de azúcares presentes en el mucílago y a

las condiciones iniciales de baja disponibilidad de oxígeno (6). Posteriormente, la producción de etanol y el incremento de la aireación favorecen el establecimiento de bacterias ácido acéticas, responsables de la oxidación del etanol a ácido acético y del aumento de la temperatura de la masa fermentativa hasta valores cercanos a 45–50 °C. Estos cambios llevan a la muerte del embrión y provocan una serie de reacciones enzimáticas que favorecen la hidrólisis de proteínas, carbohidratos y polifenoles en aminoácidos libres, péptidos y azúcares reductores que son los precursores principales del perfil aromático del chocolate (7).

No obstante, en la mayoría de los países productores la fermentación continúa realizándose mediante métodos tradicionales y espontáneos, cuya eficiencia depende del microbiota nativo, de las condiciones ambientales y del manejo aplicado por los productores (8). Esta elevada variabilidad genera diferencias significativas en la dinámica fermentativa y en la calidad fisicoquímica y sensorial de las almendras, limitando la estandarización del proceso y la obtención de granos con características homogéneas (9). En respuesta a esta problemática, durante los últimos años la fermentación dirigida mediante cultivos iniciadores ha adquirido un creciente interés como estrategia biotecnológica para controlar la sucesión microbiana, optimizar la formación de compuestos aromáticos y mejorar la calidad del cacao fermentado (10) (11).

En respuesta a la necesidad de incrementar la reproducibilidad de la fermentación y mejorar la calidad del cacao, la utilización de cultivos iniciadores ha adquirido un papel relevante dentro de las estrategias biotecnológicas aplicadas a la poscosecha (12). Entre los microorganismos evaluados, *Saccharomyces cerevisiae* ha demostrado un elevado potencial debido a su rápida adaptación a las condiciones del mucílago, su eficiente metabolismo de azúcares y su capacidad para producir etanol, alcoholes superiores, ésteres y otros compuestos volátiles que participan directamente en la formación del perfil aromático del cacao (13). Además de favorecer la fermentación alcohólica, esta levadura presenta actividad pectinolítica que contribuye a la degradación del mucílago, facilitando la aireación de la masa fermentativa y promoviendo el establecimiento de bacterias ácido acéticas, responsables de la producción de ácido acético y del

incremento de la temperatura necesaria para inducir las transformaciones bioquímicas internas de la almendra (14).

Simultáneamente, la búsqueda de alternativas sostenibles para mejorar la fermentación ha propiciado el estudio de matrices vegetales que presenten un alto contenido de nutrientes con propiedades que son capaces de estimular el metabolismo microbiano. En este contexto, los extractos de frutas tropicales representan una alternativa prometedora debido a su contenido de azúcares fermentables, vitaminas, minerales, ácidos orgánicos y compuestos bioactivos, los cuales podrían favorecer el crecimiento de microorganismos beneficiosos y modificar las condiciones fisicoquímicas del proceso fermentativo (4) (12). Entre estas frutas, la papaya (*Carica papaya* L.) destaca por su elevado contenido de glucosa, fructosa y sacarosa, además de la presencia de papaína, una enzima proteolítica ampliamente reconocida por su capacidad para hidrolizar proteínas y generar péptidos y aminoácidos que potencialmente pueden incrementar la disponibilidad de precursores aromáticos durante el procesamiento del cacao (15) (16). Por otro lado, la guanábana (*Annona muricata* L.) contiene carbohidratos, vitamina C, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos con actividad antioxidante, características que podrían contribuir a mantener un ambiente favorable para el desarrollo del microbiota fermentativo y favorecer la estabilidad del proceso.

A pesar del creciente interés por la fermentación dirigida del cacao, la mayor parte de las investigaciones se ha concentrado en la selección y evaluación de cultivos iniciadores, particularmente levaduras y bacterias ácido lácticas o ácido acéticas, mientras que la incorporación de extractos frutales como fuentes naturales de nutrientes durante la fermentación ha sido escasamente estudiada (5) (12). Desde la revisión de la literatura científica reciente, no se han llevado a cabo trabajos que hayan evaluado el efecto combinado de *Saccharomyces cerevisiae* con extractos de papaya y guanábana en la fermentación poscosecha del cacao, lo que pone de manifiesto un vacío de conocimiento y el desarrollo de biotecnologías innovadoras que persigan la mejora de la calidad fisicoquímica y del perfil sensorial del cacao y sus derivados.

El desarrollo de estrategias biotecnológicas orientadas a optimizar la fermentación del cacao representa una oportunidad para incrementar la calidad del grano y fortalecer la

competitividad de la cadena agroindustrial, especialmente en países productores donde predominan sistemas tradicionales de poscosecha (17). La aplicación de cultivos iniciadores en combinación con fuentes naturales de nutrientes constituye un enfoque innovador que podría favorecer la estabilidad microbiológica del proceso, promover una fermentación más uniforme y mejorar la formación de compuestos precursores del aroma (18) (19). Asimismo, el aprovechamiento de frutas tropicales como la papaya y la guanábana se enmarca dentro de los principios de la bioeconomía y la economía circular, al incentivar el uso sostenible de recursos vegetales disponibles localmente con potencial para generar valor agregado en la producción cacaotera.

Desde el punto de vista científico, la combinación de *Saccharomyces cerevisiae* con extractos de papaya (*Carica papaya* L.) y guanábana (*Annona muricata* L.) plantea una estrategia novedosa sustentada en la posible interacción sinérgica entre un cultivo iniciador altamente eficiente y matrices naturales ricas en azúcares fermentables, vitaminas, minerales y compuestos bioactivos. Se plantea que estos extractos podrían favorecer el establecimiento y la actividad metabólica de la levadura durante las etapas iniciales de la fermentación, promoviendo una mayor producción de etanol, facilitando la posterior actividad de las bacterias ácido-acéticas y favoreciendo las transformaciones bioquímicas responsables de la formación de aminoácidos, péptidos y azúcares reductores, considerados los principales precursores del aroma y sabor del chocolate (20). Sin embargo, la evidencia científica existente sobre esta combinación sigue siendo escasa, por lo que tiene sentido generar información experimental que permita establecer su efecto sobre la calidad fisicoquímica, fermentativa y sensorial del cacao.

La investigación que se presenta a continuación se realizó con el fin de ofrecer evidencias científicas sobre una nueva estrategia biotecnológica para la mejora de la postcosecha del cacao, lo cual ha contribuido, de esta manera, a los avances en la mejora de procesos de fermentación que sean más eficientes, sostenibles y reproducibles. Los resultados obtenidos podrán servir como base para futuras investigaciones orientadas a la optimización de la fermentación mediante el uso de cultivos iniciadores y recursos naturales, así como para el diseño de tecnologías aplicables a la industria cacaotera y a los productores que buscan incrementar la calidad y el valor agregado de sus productos.

En consecuencia, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de *Saccharomyces cerevisiae* y extractos frutales durante la fermentación poscosecha del cacao (*Theobroma cacao* L.) sobre la calidad fisicoquímica, fermentativa y sensorial del grano, así como sobre el perfil sensorial de la pasta de cacao obtenida.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Las mazorcas de cacao (*Theobroma cacao* L.) utilizadas en la presente investigación, así como las frutas destinadas a la elaboración de los extractos, correspondientes a papaya (*Carica papaya* L.) y guanábana (*Annona muricata* L.), fueron recolectadas en el recinto El Naranjo, sector Bajo Perdido, cantón Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador (1°11'30.7" S; 79°35'43.6" O). Tanto las mazorcas como las frutas fueron seleccionadas en estado óptimo de madurez fisiológica, libres de daños mecánicos, enfermedades, ataques de insectos y otras alteraciones que pudieran afectar la calidad de la materia prima o el desarrollo del proceso experimental.

La fermentación poscosecha de las almendras de cacao se realizó conforme al diseño experimental establecido, mientras que la elaboración de la pasta de cacao se llevó a cabo en la Planta de Bromatología de Agroindustria de la Universidad Técnica de Babahoyo (UTB). Posteriormente, las determinaciones fisicoquímicas de las almendras fermentadas y de la pasta de cacao, incluyendo pH, acidez titulable (%), humedad (%) y cenizas (%), se realizaron en el Laboratorio de Agroindustria de la Universidad Técnica de Babahoyo, utilizando metodologías analíticas estandarizadas para el análisis de productos derivados del cacao.

Diseño experimental

La investigación se llevó a cabo mediante un enfoque experimental orientado a determinar el efecto de la incorporación de *Saccharomyces cerevisiae* y extractos frutales sobre la fermentación poscosecha del cacao (*Theobroma cacao* L.). El estudio contempló la manipularon controlada de las variables independientes con el propósito de establecer su influencia sobre la dinámica fermentativa, las propiedades

fisicoquímicas y fermentativas de las almendras, y la calidad de la pasta de cacao obtenida al finalizar el proceso de la pasta de cacao obtenida.

Los ensayos experimentales se realizaron en condiciones controladas en la Planta de Bromatología de Agroindustria, donde las condiciones de trabajo fueron estandarizadas para asegurar la uniformidad del proceso experimental, favorecer la reproducibilidad de los resultados y minimizar la influencia de factores externos. Como materia prima se utilizaron almendras frescas de cacao obtenidas a partir de mazorcas cosechadas en estado óptimo de madurez fisiológica, libres de daños mecánicos, enfermedades, ataques de insectos y otros defectos que pudieran comprometer el desarrollo normal de la fermentación.

El experimento se estableció mediante un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 3 × 3. El primer factor correspondió a la concentración de *Saccharomyces cerevisiae* aplicada durante la fermentación (0, 0,5% “5 g” y 1,0% “10 g”), mientras que el segundo factor estuvo representado por el tipo de extracto frutal (sin extracto, extracto de papaya (*Carica papaya* L.) y extracto de guanábana (*Annona muricata* L.). La combinación de ambos factores dio lugar a nueve tratamientos experimentales, cada uno con tres repeticiones, conformando un total de 27 unidades experimentales. La asignación de los tratamientos se realizó de forma completamente aleatoria, como se observa en la Tabla 1.

Durante la fermentación se monitorearon continuamente las principales variables del proceso, incluyendo la temperatura interna de la masa fermentativa, el pH y los sólidos solubles totales (°Brix), utilizando equipos previamente calibrados. La fermentación se desarrolló bajo las condiciones ambientales propias de la zona de estudio, con temperaturas comprendidas entre 25 y 30 °C y humedad relativa característica del clima tropical húmedo.

La recolección de datos se efectuó de forma longitudinal durante todo el proceso fermentativo, mediante el seguimiento periódico de las variables fisicoquímicas y fermentativas. Una vez finalizada la fermentación y elaborado el producto, se realizó una evaluación transversal para determinar el grado de fermentación de las almendras

y las características sensoriales de la pasta de cacao, permitiendo comparar la respuesta de los diferentes tratamientos experimentales.

Tabla 1. Esquema de Factores de Estudio.

Factor A *Saccharomyces cerevisiae* **(gr)**	**Factor B (Extracto de fruta)**
0%	Sin extracto de fruta
0.5%	Papaya (*Carica papaya* L.)
1%	Guanábana (*Annona muricata* L.).

ANOVA

En la tabla número 2 se puede encontrar el ANOVA, donde se encuentran los tratamientos, los factores medidos y las interacciones, el cual ofrece una base estadística para interpretar los efectos principales y los efectos combinados del modelo experimental.

Tabla 2. Esquema del análisis de varianza (ANOVA).

Variación de la fuente (VS)		**Grados de libertad (GdL)**
Tratamiento	axb-1	8[#]
Repeticiones	r-1	2
Factor *Saccharomyces cerevisiae*	(LE-1)	2
Factor Extracto	(Ex-1)	2
Levadura x Factor Extracto	(LE-1)(EX-1)	4
Error Experimental	(LE x EX) (r-1)	18
Total	LE x EX r-1	27

Arreglo de tratamientos

La tabla 3 presenta la organización de los 9 tratamientos establecidos en el diseño experimental, cada uno identificado mediante un código especificó de acuerdo con los factores considerados en el estudio. Esta nomenclatura permitió diferenciar claramente las combinaciones evaluadas, mantener un adecuado control de las muestras durante la fermentación y simplificar el registro de la información. Asimismo, constribuyó a relacionar de manera confiable cada unidad experimental con los datos generados, favoreciendo la posterior interpretación y comparación de los resultados.

Tabla 3. Códigos de tratamiento y variables del estudio.

N°	Código	*Saccharomyces cerevisiae*	Extracto de Fruta
1	Sc0Ex0	0	Sin extracto de fruta
2	Sc0Ex1	0	Papaya
3	Sc0Ex2	0	Guanábana
4	Sc1Ex0	0.5	Sin extracto de fruta
5	Sc1Ex1	0.5	Papaya
6	Sc1Ex2	0.5	Guanábana
7	Sc2Ex0	1	Sin extracto de fruta
8	Sc2Ex1	1	Papaya
9	Sc2Ex2	1	Guanábana

Proceso de fermentación

La fermentación fue efectuada en cajas de madera de microfermentación tipo Rohan (100 x 100 x 15 cm) que se asignaron a la realización de los factores experimentales de estudio; cada caja tenía 27 compartimentos (1 kg por unidad), los cuales fueron utilizados como unidades experimentales (21). Los granos de cacao, antes de la fermentación, fueron inoculados con *Saccharomyces cerevisiae* y luego se les agregaron extractos de frutas dentro de fundas de polipropileno de baja densidad durante 24 horas. A continuación, se retiraron las fundas y la fermentación se llevó a cabo bajo condiciones aeróbicas durante cinco días. Se realizó un volteo manual a diario para

garantizar la homogeneización de la masa y la oxigenación de esta. Los parámetros fisicoquímicos de control (temperatura, pH y sólidos solubles) fueron controlados a diario. En total, se procesaron 27 kg de granos de cacao frescos. La cantidad de granos perecederos fue similar para ambas variedades (22).

Inóculos *(Saccharomyces cerevisiae)*

La fermentación del cacao se realizó mediante la aplicación de levadura seca activa de *Saccharomyces cerevisiae* como cultivo iniciador. Se evaluaron tres niveles de aplicación: (Tratamiento control) 0%, 0,5 % (5 g) y 1 % (10 g) por unidad experimental, correspondiente a 1000 g de granos frescos de cacao, de acuerdo con el diseño experimental establecido (12).

Previo a la inoculación, la levadura seca activa fue rehidratada en 50 mL de agua destilada estéril, previamente acondicionada a una temperatura de 35 – 38 °C, durante 10 minutos. Posteriormente, la suspensión obtenida se incorporó de manera uniforme sobre la masa fresca de cacao y se mezcló manualmente hasta lograr una distribución homogénea del inóculo en toda la masa fermentativa (17).

Preparación de extractos de fruta diluidas

Los extractos diluidos de papaya (*Carica papaya* L.) y guanábana (*Annona muricata* L.) se prepararon siguiendo el procedimiento experimental descrito en el diagrama de flujo correspondiente (Figura 1), con modificaciones adaptadas a las características de cada fruta. Para garantizar la uniformidad de los tratamientos, se utilizaron frutos en estado óptimo de madurez fisiológica, libres de daños mecánicos, pudriciones, contaminación microbiológica y alteraciones visibles que pudieran afectar la composición del extracto o el desarrollo de la fermentación.

Previamente a la obtención de los extractos, las frutas fueron lavadas con agua potable para eliminar impurezas superficiales y posteriormente desinfectadas mediante inmersión en una solución de hipoclorito de sodio a 100 mg L^{-1} durante 2 min. Luego, se enjuagaron con agua destilada estéril y se dejaron escurrir a temperatura ambiente.

En el caso de la papaya (*Carica papaya* L.), se retiró manualmente la cáscara y las semillas, obteniéndose únicamente la pulpa comestible. Posteriormente, se pesaron 150 g de pulpa fresca y se mezclaron con 200 mL de agua destilada estéril. La mezcla fue homogeneizada durante 2 min utilizando una licuadora de laboratorio hasta obtener un extracto uniforme (11).

Para la guanábana (*Annona muricata* L.), se retiraron la cáscara y las semillas, conservando únicamente la pulpa. De manera similar, se pesaron 150 g de pulpa fresca, los cuales se mezclaron con 200 mL de agua destilada estéril y se homogeneizaron durante 2 min empleando una licuadora de laboratorio, obteniéndose un extracto homogéneo.

Los extractos de ambas frutas presentaron una masa final aproximada de 350 g, correspondiente a una concentración de fruta del 42,86 % (p/p), calculada mediante la siguiente ecuación:

$$\%\ \text{de fruta} = \frac{\text{Pulpa (g)}}{\text{Pulpa (g)} + \text{Agua (mL)}} \text{x}100$$

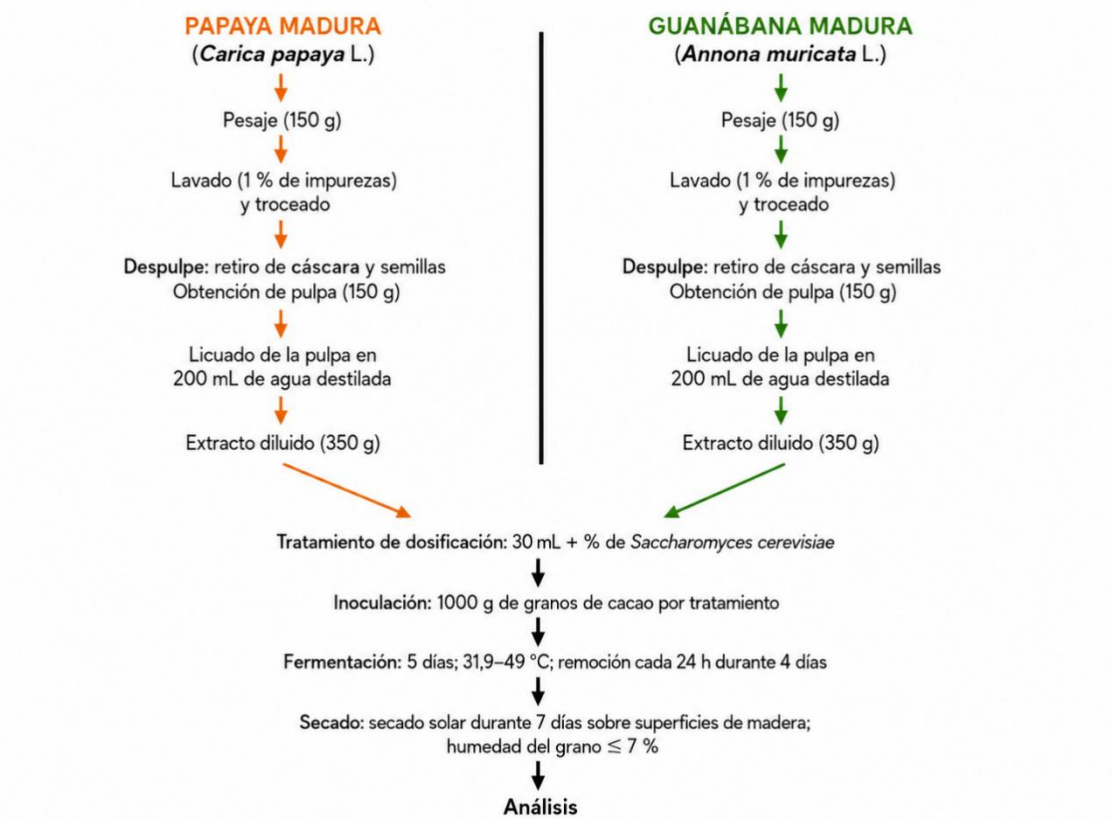


Figura 1. Diagrama del proceso de obtención de extractos de fruta diluidos.

Variables fisicoquímicas de los granos de cacao fermentados y secos

Análisis de pH

La determinación del pH se realizó mediante un protocolo estandarizado. Se pesaron 10 g de granos de cacao finalmente molidos, los cuales se homogenizaron con 10 mL de agua destilada previamente calentada a 40 °C. La mezcla se preparó en recipientes de vidrio y se dejó estabilizar antes de la medición. El pH se determinó con un medidor digital (Thermo Orion Waterproof, EE.UU.), con soluciones tampón de pH 4,0 y 7,0, de acuerdo a las instrucciones del fabricante. La determinación se llevó a cabo por duplicado para cada tratamiento (11).

Determinación de sólidos solubles totales (°Brix)

El contenido de sólidos solubles totales (°Brix) se determinó mediante reflectometría digital. Para ello, se seleccionaron aleatoriamente 10 g de granos de cacao, los cuales se molieron finalmente y se homogenizaron con 10 mL de agua destilada previamente

calentada a temperatura tibia. Posteriormente, la suspensión se filtró para obtener un extracto libre de partículas, el cual se empleó para el análisis. Las determinaciones se llevaron a cabo utilizando un refractómetro digital (OPTI + 38-A2, Brix 0-95; Bellingham and Stanley, Reino Unido). El mismo se calibró previamente para agua destilada (0,00 °Brix) siguiendo las directrices del fabricante antes de cada medición. Se colocaron 1-3 gotas de extracto sobre la superficie del prisma para cada muestra, y las lecturas se realizaron por triplicado (23).

Determinación de la temperatura

La temperatura de la masa fermentativa se registró durante todo el proceso mediante un termómetro digital previamente calibrado. El seguimiento continuo de esta variable permitió evaluar la evolución de la fermentación y verificar que los valores alcanzados se encontraran dentro del intervalo de 45-50 °C, considerando adecuado para favorecer la actividad de los microorganismos fermentativos. Temperaturas superiores a este rango pueden acelerar el proceso y afectar la calidad de las almendras, mientras que valores inferiores pueden disminuir la actividad microbiana y retrasar el desarrollo de la fermentación (4).

Secado de los granos de cacao

Al término del proceso fermentativo, las almendras de cacao se secaron mediante exposición directa a la radiación solar sobre plataformas de madera, evitando el contacto con superficies susceptibles de generar contaminación. El secado constituye una etapa crítica del beneficio postcosecha, ya que permiten reducir la humedad, detener la actividad microbiana residual y consolidar las transformaciones bioquímicas asociadas al desarrollo del perfil sensorial y consolidar las transformaciones bioquímicas asociadas al desarrollo del perfil sensorial del cacao. El proceso se llevó a cabo durante el periodo aproximado de 7 a 8 días, hasta alcanzar un contenido de humedad entre 6 y 7 %, valor recomendado para garantizar la conservación y la calidad tecnológica del producto (24).

Almacenamiento de granos de granos de cacao

Tras finalizar el secado, las almendras de cacao se almacenaron em bolsas de papel, un material que facilita el intercambio de aire y reduce el riesgo de condensación de humedad durante el periodo de conservación. Estas condiciones permitieron preservar la calidad de las muestras y mantener las características fisicoquímicas y sensoriales adquiridas durante el proceso de fermentación y el secado hasta le ejecución de los análisis experimentales (25).

Variables fisicoquímicas de los granos de cacao

Índice de mazorca

Esta variable corresponde al número de frutos requeridos para obtener 1 kg de cacao seco (20 mazorcas). El cálculo fue obtenido a partir de la ecuación que relaciona el peso de las mazorcas con el rendimiento en cacao seco con la que podemos estimar la eficacia del proceso de producción y la calidad del cacao a partir de los tratamientos aplicados. Este parámetro es clave para determinar la productividad de las fincas y la sostenibilidad del cultivo (12).

Ecuación 1. Índice mazorcas

$$IM = \frac{Numero\ de\ mazorcas}{peso\ en\ gramos\ de\ las\ almendras\ secas} * 1000$$

Índices de semillas

Antes de la prueba de corte, el índice de semillas (IS) se determinó pesando 100 granos de cacao previamente fermentados y secados utilizando una balanza analítica de alta precisión (Mx Analytical Balance, Mettler Toledo, EE.UU.) calculando el peso promedio por grano utilizando la fórmula (12).

Ecuación 2. Índice de semilla

$$IS = \frac{Peso\ en\ gramos\ de\ 100\ almendras\ de\ cacao\ fermentadas\ y\ secas}{100}$$

Prueba de testa y cotiledón

Las proporciones de cáscara y cotiledón se determinaron utilizando una muestra de 30 g de granos de cacao fermentados y secos, pesados en una balanza analítica de precisión y calculados de acuerdo con la fórmula (12).

Ecuación 3. % de testa y cotiledón

$$\%\ de\ testa = \frac{(Peso\ de\ la\ testa)}{Peso\ de\ 30\ gramos\ de\ cacao} * 100$$

La prueba de corte se realizó en 100 granos de cacao seleccionados al azar para evaluar la calidad de la fermentación. Los granos se seleccionaron longitudinalmente utilizando un estilete y se clasificaron como bien fermentados, moderadamente fermentados, violetas, pizarra o mohosos, siguiendo las pautas estándar.

Determinación de la cantidad de granos de cacao en 100 g

El número de granos de caca por 100 g se determinó seleccionando aleatoriamente una muestra representativa y contando el número de granos necesarios para completar 100 g (12).

Humedad

La humedad de los granos de cacao se determinó una vez realizada la fermentación y el secado. Esta variable es determinante para el almacenamiento y la calidad comercial, encontrándose dentro del rango óptimo de 6 a 7 %. Ningún porcentaje inferior de este parámetro, que se considera óptimo, es económico para la industria del cacao, ya que influye en el precio y en las propiedades de procesamiento. La medición se realizó con un medidor de humedad (AQUA BOY III, Reino Unido), específico para granos, colocando la muestra encima del sensor del aparato se realiza la lectura (26).

Procesamiento de obtención de pasta de cacao 100%

La figura 2 es un diagrama de flujo que representa el procedimiento para la obtención de pasta 100% de cacao. A continuación, se describen las particularidades de cada una de las fases.



Figura 2. Diagrama del proceso de obtención de pasta de cacao al 100%.

Selección y clasificación: La materia prima de cacao fue clasificada mediante una exhaustiva inspección manual, eliminando cualquier contaminante o cuerpo extraño adherido a los granos. Este proceso garantiza la pureza de los granos utilizados.

Tostado: Los granos se sometieron a un proceso de tostado con la ayuda de una olla de barro en condiciones controladas a una temperatura media 120 °C durante 18 a 25 minutos, lo que garantiza una distribución uniforme del calor para evitar quemaduras y facilitar la eliminación de la humedad residual.

Descascarillado: Se realizó un proceso manual de descascarillado de las habas que posibilitó separar las cascaras de los cotiledones. Las habas descascarilladas se preservaron en papel para evitar su contaminación y su alteración.

Molienda: La molienda de los cotiledones se llevó a cabo con un molino manual tradicional. Mediante esta fase, se alcanzó el tamaño de partículas pretendido para facilitar el refinado posterior y asegurar una textura homogénea de la pasta de cacao.

Refinación: El proceso de refinado se llevó a cabo usando una refinadora de cacao de tipo melanger (Spectra 11 Stone Melanger, Spectra, Coimbatore, India) para un tamaño de partícula inferior a 40 µm, garantizando así una textura homogénea sin la existencia de gránulos que pudiesen prolongarse en las superficies del paladar. Esta fase es clave para optimizar las características organolépticas del producto a obtener.

Conchado de la pasta de cacao: La masa de cacao refinada se introdujo en una máquina conchadora de 5 kg, durante la que la muestra se introducía lentamente a la máquina de forma tal que la máquina recogiese toda la materia prima adherida a sus paredes, logrando así una emulsión uniforme de la pasta de cacao, el control de temperatura y la agitación robustecieron notablemente la emulsión y su homogeneidad de la masa de cacao. Este proceso se extendió durante 48 h para cada uno de los tratamientos y la masa de cacao producida tuvo un desarrollo marcador de un perfil sensorial destacado.

Templado: Una vez terminado el proceso de refinado, la pasta de caco fue sometida al proceso de templado donde luego de calentarla debe bajarse poco a poco su temperatura. Posteriormente, la pasta de cacao se extrajo de los moldes previamente esterilizados y se dejó reposar hasta que adquirió la consistencia deseada.

Envasado y almacenamiento: Posteriormente, la pasta de cacao se envasó en papel tipo aluminio con códigos únicos para su trazabilidad, además de ser almacenada a 4 °C, lo que disminuye el riesgo de contaminación cruzada y además mantiene sus propiedades fisicoquímicas u organolépticas.

Análisis fisicoquímico de la pasta de cacao

Determinación del pH de la pasta de cacao

El pH de la pasta de cacao se determinó mediante un procesamiento estandarizado. Una muestra de cacao previamente homogenizada (aproximadamente 10 g) se dispersó en 10 mL de agua destilada de grado analítico para obtener una suspensión uniforme

adecuada para matrices semisólidas. La mezcla se dejó equilibrar antes de la medición. El pH se midió por duplicado utilizando un potenciómetro digital (medidor de pH) equipado con un electrodo de vidrio (Thermo Orion, Waterproof, Beverly, EE.UU.), previamente calibrado con soluciones tampón estándar (pH 4,0 y 7,0; Merck, Darmstadt, Alemania) según las instrucciones del fabricante (12).

Determinación de la acidez titulables y la acidez total en la pasta de cacao.

La acidez titulable se determinó mediante titulación ácido base utilizando una muestra de pasta de cacao previamente homogenizada. Se pesaron aproximadamente 10 g de muestra, la que fue transferida a un matraz tipo Erlenmeyer de 250 mL, realizando la adición de 250 mL de agua destilada (grado analítico, Merck, Darmstadt, Alemania). La mezcla se sometió a agitación constante utilizando un agitador magnético para asegurar una dispersión completa. Posteriormente, se tituló con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N, añadida gradualmente hasta alcanzar un pH final de 8,3 considerando el punto final de la titulación para este tipo de matriz. Se registró el volumen de NaOH consumido y la acidez titulable se calculó utilizando la fórmula (4), expresando los resultados como porcentajes de acidez (22).

Ecuación 4. Acidez titulable y acidez total

$$\%\ Acidez = \frac{V1\ x\ N1\ x\ M\ x\ 100}{V2}$$

Donde:

V1= Volumen de NaOH utilizando en la titulación (mL);

N1= Normalidad de la solución de NaOH;

M= Peso molecular del ácido considerado como referencia (g mol^{-1});

V2= Volumen de la muestra tomada para análisis (mL).

Determinación de la humedad en la pasta de cacao

Las muestras se presentaron en crisoles de porcelanas en un horno durante unos 30 min y luego se enfriaron a temperatura ambiente, registrándose su peso con una balanza

analítica de precisión. A continuación, se tomaron 2 g de pasta de cacao previamente homogenizada de los crisoles y se secaron en un horno a 130 °C durante 2 horas. Transcurridas las dos horas, los crisoles pasaron a un desecador y se dejaron enfriar durante unos 30 min, determinándose su peso (22). Finalmente, se determinó la humedad de la pasta de cacao mediante la fórmula 5.

$$\%\ Humedad = \frac{M2 - M3}{M2 - M1}\ X\ 100$$

Donde:

M1= Masa del crisol vacío (g);

M2= Masa del crisol más la muestra (g);

M3= Masa del crisol con cenizas (g)

Determinación de cenizas en pasta de cacao

Aproximadamente 2 g de pasta de cacao homogéneas se tomaron de crisoles de porcelana pretratados (como se describe en la sección "Determinación de la humedad en la pasta de cacao" y se calentaron en un horno de mufla a 600 ± 20 °C durante 3 horas. El peso del crisol se determinó antes y después de calentamiento, como se describe en la sección anterior (22). A partir de los pesos obtenidos, el contenido de cenizas se determinó aplicando la fórmula.

$$\%\ Cenizas = \frac{M3 - M1}{M2 - M1}\ X\ 100$$

Donde:

M1= Masa del crisol vació (g);

M2= Masa del crisol más la muestra (g);

M3= Masa del crisol con cenizas (g).

Análisis sensorial

En el análisis sensorial llevamos a cabo un panel de cata semientrenado el que estuvo conformado por 30 catadores, los cuales determinaron: Sabor, Olor, Textura, Amargor, Floral, Almendra. El análisis sensorial se realizó mediante una evaluación descriptiva estructurada del licor de cacao obtenida de los tratamientos experimentales. A tal fin,

se utilizó una ficha sensorial con una escala hedónica ordinal de 1 a 5, donde cada uno de los valores hacía referencia a alguna categoría predefinida para cada uno de los atributos. Se tuvieron en consideración cinco parámetros de principal interés: Color, Aspecto, Aroma, Sabor y Regusto, cada uno sometido a un descriptor específico (22).

La escala utilizada para cada uno de los parámetros fue la siguiente:

Color: Café caramelo, 2= Marrón, 3= Nogal, 4: Algarrobo, 5= Café negro.

Aspecto: 1= Muy brillante, 2= brillante, 3= satinado, 4= opaco, 5= muy opaco.

Aroma: 1= Frutas tropical, 2= cacao, 3= frutal cítrico, 4= tostado, 5= nuez.

Sabor: 1= frutal, 2= cacao tostado, 3= afrutado seco, 4= amargo, 5= muy amargo.

Regusto: 1= Persistencia suave, 2= amargo, 3= cítricos no prolongados, 4= astringente, 5= sensación manchosa.

Las muestras se sometieron a muestreo identificándolas con códigos (T1-T9) y de esta forma mantener una degustación a ciegas para evitar sesgos perceptuales. La sesión de degustación se realizó en condiciones de iluminación neutra, en una habitación con temperatura controlada de 20 ± 2 °C y sin interferencias visuales u olfativas. Cada muestra se sirvió en recipientes codificados y fue evaluada de forma individual e independiente.

Los datos obtenidos fueron organizados para su posterior análisis estadístico de acuerdo con el diseño experimental.

RESULTADOS

Dinámica de la temperatura durante la fermentación del cacao

La temperatura de la masa de cacao fue progresivamente aumentando durante el tiempo de fermentación a medida que se puede observar en la Tabla 4. En el día 0 de medición de temperatura, los valores fueron homogéneos entre los tratamientos y oscilaron entre 27,45 y 27,56 °C. En esta etapa no se observaron efectos significativos de *Saccharomyces Cerevisiae* ($p = 0,8530$), del tipo de extracto frutal ($p = 0,4623$) ni de la interacción entre ambos factores ($p = 0,9990$).

A partir del día 1 se evidenció una diferenciación en la respuesta térmica. Tanto *S. cerevisiae* como el tipo de extracto frutal ejercieron efectos significativos sobre la temperatura ($p < 0,0001$), comportamiento que se mantuvo hasta el día 4. Durante este periodo, la temperatura aumentó desde un intervalo de 31,48-34,07 °C en el día 1 hasta 43,20-47,01 °C al final de la evaluación. Entre las combinaciones experimentales, el tratamiento con 1 % de *S. cerevisiae* y extracto de papaya registró consistentemente los valores numéricamente más alto desde el día 1, con temperaturas de 34,07; 40,64; 44,92 y 47,01 °C en los días 1, 2, 3 y 4, respectivamente. No obstante, el tratamiento sin *S. cerevisiae* y sin extracto presentó los menores registro durante el mismo periodo, con 31,48; 36,70; 40,77 y 43,20 °C.

A pesar de las diferencias observadas para los efectos principales, la interacción *S. cerevisiae* x extracto no resultó significativa en ningún de los días evaluados ($p= 0,9990$; 0,6319; 0,1536 y 0,2853 para los días 0, 1, 2, 3 y 4). Este comportamiento indica que, bajo las condiciones experimentales evaluadas, no se detectó evidencia estadística de que el efecto de *S.cerevisiae* sobre la temperatura dependiera del tipo de extracto incorporado, o viceversa. En conjunto, los resultados muestran una evolución térmica ascendente de la masa de cacao durante la fermentación y evidencia efectos significativos de los factores *S. cerevisiae* y tipo extracto frutal a partir del día 1, sin evidencia de interacción significativa entre ambos factores.

Tabla 4. Efecto de Saccharomyces cerevisiae y extractos frutales sobre la dinámica de la temperatura durante la fermentación del cacao.

Factor		Variable				
Saccharomyces Cerevisiae	**Extracto de Fruta**	**Temp-día 0**	**Temp-día 1**	**Temp-día 2**	**Temp-día 3**	**Temp-dia 4**
0	**Sin extracto de fruta**	27,47	31,48	36,70	40,77	43,20
0	**Papaya**	27,50	32,13	37,39	41,57	44,12
0	**Guanabana**	27,45	31,94	37,17	41,27	43,87
0,5	**Sin extracto de fruta**	27,50	32,77	38,58	42,97	45,18
0,5	**Papaya**	27,56	33,32	39,48	43,97	46,16
0,5	**Guanabana**	27,47	33,17	39,24	43,72	45,92
1	**Sin extracto de fruta**	27,47	33,65	39,92	44,32	46,35
1	**Papaya**	27,55	34,07	40,64	44,92	47,01
1	**Guanabana**	27,45	33,98	40,51	44,82	46,89
	EEM ±	0,08	0,07	0,08	0,08	0,07
	CV	0,49	0,38	0,36	0,31	0,28
Probabilidad	***Saccharomyces Cerevisiae***	0,8530	ns	<0,0001	**	<0,0001	**	<0,0001	**	<0,0001	**
	Extracto	0,4623	ns	<0,0001	**	<0,0001	**	<0,0001	**	<0,0001	**
	***S.Cerevisiae* x Extracto**	0,9990	ns	0,6364	ns	0,6319	ns	0,1536	ns	0,2853	ns

Dinámica de los sólidos solubles totales durante la fermentación del cacao

Los sólidos solubles fueron los que mayor disminución progresiva han tenido durante la fermentación del cacao, tal y como se aprecia en la Tabla 5. En el día 0, los valores oscilaron entre 20,56 y 20,66 °Brix, sin diferencia atribuibles a *Saccharomyces cerevisiae* ($p = 0,9664$), al tipo de extracto frutal ($p = 0,8011$) ni a la interacción entre ambos factores ($p = 0,8815$), lo que evidencia condiciones iniciales homogéneas entre los tratamientos.

A partir del día 1 se observó una reducción general de los sólidos solubles, acompañada de un efecto significativo de *S. cerevisiea* ($p < 0,0001$). En este momento, los valores se situaron entre 18,15 y 19,40 °Brix, mientras que el efecto del extracto frutal no fue significativo ($p = 0,5641$). En el día 2, los sólidos solubles disminuyeron hasta un intervalo de 14,39 a 16,81 °Brix, registrándose efectos significativos tanto de *S. cerevisiea* ($p < 0,0001$) como del tipo de extracto ($p = 0,0004$). Este comportamiento se mantuvo durante los días 3 y 4, en los que ambos factores presentaron efectos totalmente significativos ($p < 0,0001$).

Al finalizar la evaluación, los valores oscilaron entre 7,93 u 11,78 °Brix. El tratamiento con 1 % de *S. cerevisiae* y extracto de papaya presentó el menor valor numérico el día 4 (7,93 °Brix), seguido de los tratamientos con 1 % de *S. cerevisiae* sin extracto (8,64 °Brix). No obstante, el tratamiento sin *S. cerevisiae* y sin extracto conservó el mayor contenido de sólidos solubles al final del proceso (11,78 °Brix).

La interacción *S. cerevisiae* x extracto no fue significativa en ningún de los días evaluados ($p = 0,8815$; 0,0717; 0,1257; 0,3926 y 0,3668 para los días 0, 2, 3 y 4). Por tanto, los resultados evidencian una reducción sostenida de los sólidos solubles durante la fermentación, con efecto significativo de *S. cerevisiae* durante el día 1 y del tipo de extracto frutal a partir del día 2, sin evidencia de interacción significativa entre ambos factores.

Tabla 5. Efecto de Saccharomyces cerevisiae y extractos frutales sobre la dinámica de los sólidos solubles totales (°Brix) durante la fermentación del cacao.

Factor		Variable				
Saccharomyces Cerevisiae	Extracto de Fruta	Brix-día 0	Brix-día 1	Brix-día 2	Brix-día 3	Brix-dia 4
0	**Sin extracto de fruta**	20,60	19,24	16,81	13,92	11,78
0	**Papaya**	20,66	19,40	16,74	13,55	11,34
0	**Guanabana**	20,56	19,22	16,79	13,84	11,53
0,5	**Sin extracto de fruta**	20,63	18,76	15,69	12,39	9,84
0,5	**Papaya**	20,60	18,61	15,27	11,91	9,33
0,5	**Guanabana**	20,63	18,75	15,49	12,16	9,54
1	**Sin extracto de fruta**	20,57	18,34	14,84	11,33	8,64
1	**Papaya**	20,64	18,15	14,39	10,74	7,93
1	**Guanabana**	20,61	18,29	14,56	10,95	8,15
	EEM ±	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07
	CV	0,58	0,63	0,85	1,06	1,29
Probabilidad	***Saccharomyces Cerevisiae***	0,9664	ns	<0,0001	*	<0,0001	*	<0,0001	*	<0,0001	*
	Extracto	0,8011	ns	0,5641	ns	0,0004	*	<0,0001	*	<0,0001	*

S.Cerevisiae **x**		n		n		n		n		n	
Extracto	0,8815	s	0,0717	s	0,1257	s	0,3926	s	0,3668	s	

Dinámica del pH durante la fermentación del cacao

El pH de la masa de cacao presentó un incremento gradual durante el periodo de fermentación se visualiza en la Tabla 6. En el día 0, los valores oscilaron entre 3,64 y 3,73. En este momento, *Saccharomyces cerevisiae* no mostró un efecto significativo sobre el pH ($p = 0,7209$), mientras que el tipo de extracto frutal presentó un efecto altamente significativo ($p < 0,0001$). La interacción *S. cerevisiae* x extracto tampoco resultó significativa ($p = 0,9131$).

A partir del día 1, el pH aumentó en todos los tratamientos y se observó un efecto significativo de *S.cerevisiea* ($p = 0,0008$), mientras que el efecto del extracto frutal permaneció altamente significativo ($p < 0,0001$). Los valores registrados en este día estuvieron comprendidos entre 3,70 y 3,83. La tendencia ascendente continuó durante los días 2 y 3, cuando el pH alcanzó intervalos de 3,82 – 4,02 y 3,97 – 4,26, respectivamente. En ambos momentos, tanto *S. cerevisiae* como el tipo de extracto presentaron efectos altamente significativos ($p < 0,0001$).

Al finalizar la evaluación, el pH alcanzó valores comprendidos entre 4,14 y 4,49. Entre las combinaciones experimentales, el tratamiento con 1 % de *S. cerevisiae* y extracto de papaya registró el mayor valor numérico (4,49), seguido por 1 % de *S. cerevisiae* con extracto de guanábana (4,42) y 0,5 % de *S. cerevisiae* con extracto de papya (4,40). Por el contrario, los tratamientos sin *S. cerevisiae* y sin extracto, y sin *S cerevisiae* con extracto de guanábana, presentaron los menores valores numéricos al día 4 (4,14 en ambos casos). En este último momento, tanto *S. cerevisiae* como el tipo de extracto mantuvieron efectos altamente significativos sobre el pH ($p < 0,0001$).

La interacción *S. cerevisiae* x extracto no fue significativo en ningún de los días evaluados ($p = 0,9131$; 0,8731; 0,8829; 0,6970 y 0,4729 para los días 0, 1, 2, 3 y 4). Por tanto, bajo las condiciones experimentales evaluadas, no se encontró evidencia estadística de

interacción entre ambos factores sobre el pH. En conjunto, los resultados muestran una evolución ascendente del pH durante la fermentación, con efecto significativo del tipo de extracto frutal desde el día y de *S. cerevisiea* a partir del día 1.

Tabla 6. Efecto de Saccharomyces cerevisiae y extractos frutales sobre la dinámica del pH durante la fermentación del cacao.

Factor		Variable				
Saccharomyces Cerevisiae	**Extracto de Fruta**	**pH-día 0**	**pH-día 1**	**pH-día 2**	**pH-día 3**	**pH-dia 4**
0	**Sin extracto de fruta**	3,70	3,76	3,87	4,00	4,14
0	**Papaya**	3,73	3,80	3,92	4,08	4,23
0	**Guanabana**	3,64	3,70	3,82	3,97	4,14
0,5	**Sin extracto de fruta**	3,70	3,78	3,92	4,11	4,29
0,5	**Papaya**	3,73	3,82	3,99	4,20	4,40
0,5	**Guanabana**	3,65	3,73	3,89	4,09	4,31
1	**Sin extracto de fruta**	3,69	3,79	3,96	4,17	4,38
1	**Papaya**	3,72	3,83	4,02	4,26	4,49
1	**Guanabana**	3,64	3,74	3,93	4,17	4,42
	EEM ±	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	CV	0,41	0,40	0,50	0,50	0,48
Probabilidad	***Saccharomyces Cerevisiae***	0,7209	ns	0,0008 *	<0,0001 *	<0,0001 *	<0,0001 *

		<0,00	*	<0,000	*	<0,00	*	<0,00	*	<0,00	*
Extracto		01	*	1	*	01	*	01	*	01	*
S.Cerevisiae	**x**	0,913	n		n	0,882	n	0,697	n	0,472	n
Extracto		1	s	0,8731	s	9	s	0	s	9	s

Calidad física y fermentativa de los granos de cacao

La calidad física y de fermentación de los granos de cacao se vio influenciada principalmente por los efectos individuales de *Saccharomyces cerevisiae* y el extracto de fruta (Tabla 7). El análisis de varianza reveló un efecto altamente significativo de *S. cerevisiae* sobre el peso seco, el porcentaje de cotiledones, el índice de semillas, los granos fermentados, violetas y de color pizarra, así como sobre el contenido de humedad ($p < 0,0001$). El índice de vainas fue la única variable que no mostró diferencias significativas con respecto a este factor ($p = 0,5264$).

El tipo de extracto de fruta también influyó significativamente en la mayoría de las variables. Se observaron diferencias en el peso seco ($p = 0,0012$) y efectos altamente significativos sobre el porcentaje de cotiledones, el índice de semillas, los granos fermentados, los granos morados y el contenido de humedad ($p < 0,0001$). De manera similar, el porcentaje de granos gris pizarra mostró diferencias significativas ($p = 0,0004$), mientras que el índice de mazorca no se vio afectado por el extracto ($p = 0,3540$).

Entre los tratamientos evaluados, la incorporación de 1 % de *Saccharomyces cerevisiae* resultó en los porcentajes más altos de granos fermentados, con valores de 85,00 %, 92,00 % y 90,00 % para los tratamientos sin extracto, con papaya y con guanábana, respectivamente. Esta respuesta se acompañó de una reducción en el porcentaje de granos morados, que disminuyó a 13,00 %, 7,00 % y 8,33 %, respectivamente. Se observó una tendencia similar para los granos gris pizarra, que alcanzaron 2,00 %, 1,00 % y 1,67 % en las mismas condiciones. En particular, el tratamiento con 1% de *Saccharomyces cerevisiae* arrojó los mejores resultados. El tratamiento que combinaba *Saccharomyces cerevisiae* y extracto de papaya presentó el perfil tecnológico más favorable, con los

porcentajes más altos de granos fermentados (92,00 %), cotiledones (88,97 %) e índice de semillas (1,71), así como los porcentajes más bajos de granos morados (7,00 %) y gris pizarra (1,00 %). Además, este tratamiento presentó un contenido de agua del 6,13%, inferior al 6,90 % registrado para el tratamiento sin *Saccharomyces cerevisiae* ni extracto.

Por el contrario, el tratamiento sin Saccharomyces cerevisiae ni extracto mostró el porcentaje más bajo de granos fermentados (68,33 %) y las proporciones más altas de granos morados (26,00%) y gris pizarra (5,67 %). En general, al aumentar la concentración de Saccharomyces cerevisiae, se observó un mejor rendimiento. La presencia de Saccharomyces cerevisiae se asoció con un aumento progresivo en el porcentaje de granos fermentados y una disminución en los granos morados y gris pizarra.

A pesar de estas diferencias entre tratamientos, no se observó interacción significativa entre *Saccharomyces cerevisiae* y el extracto de fruto para ninguna de las variables estudiadas ($p > 0,05$). Los valores de probabilidad de interacción fueron 0,9072 para el peso seco, 0,4435 para los cotiledones, 0,9674 para el índice de semillas, 0,3412 para los granos fermentados, 0,1157 para los granos morados, 0,6674 para los granos gris pizarra, 0,7640 para el índice de mazorca y 0,3054 para la humedad. Por todo ello, la diferencia observada se la atribuía principalmente a los efectos individuales de los factores ensayados con ausencia de evidencia estadística de interacciones entre ellos. Los coeficientes de variación mostraron un comportamiento bajo en la inmensa mayoría de las variables, obteniéndose 0,66 % en el peso seco, 0,30 % en los cotiledones, 0,92 % en el índice de semillas, 1,58 % en los granos fermentados, 0,69 % en el índice de espiga y 0,64 % en la humedad, siendo los más altos aquellos que pertenecieron a los granos morados (6,07 %) y gris pizarra (14,34 %).

Tabla 7. Efecto de Saccaromyces cerevisiae y extractos frutales sobre las características físicas y la calidad fermentativa de los granos de cacao (Theobroma cacao L.)

Factor		Variable							
Saccharomyces Cerevisiae	Extracto de Fruta	Peso Seco (g)	Cotiledón (%)	Indice de semilla	Fermentados (%)	Violetas (%)	Pizarras (%)	Índice de mazorca	Humedad (%)
0	Sin extracto de fruta	552,47	85,72	1,62	68,33	26,00	5,67	24,99	6,90
0	Papaya	546,53	86,45	1,66	72,33	23,00	4,67	24,99	6,72
0	Guanabana	551,12	86,07	1,65	71,00	24,33	4,67	52,20	6,69
0,5	Sin extracto de fruta	549,40	86,98	1,65	77,33		3,00	25,00	6,60
0,5	Papaya	539,95	88,19	1,69	82,33		2,00	24,91	6,40
0,5	Guanabana	544,71	87,58	1,67	81,00	16,67	2,33	24,99	6,44
1	Sin extracto de fruta	542,88	87,81	1,66	85,00	13,00	2,00	25,06	6,31
1	Papaya	535,67	88,97	1,71	92,00	7,00	1,00	24,94	6,13
1	Guanabana	539,32	88,61	1,69	90,00	8,33	1,67	25,02	6,18
	EEM ±	2,08	0,15	0,01	0,73	0,60	0,25	0,10	0,02
	CV	0,66	0,30	0,92	1,58	6,07	14,34	0,69	0,64
Probabilidad	*Saccharomyces*		*		*		*		*		*		*		n		*
	Cerevisiae	<0,0001	*	<0,0001	*	<0,0001	*	<0,0001	*	<0,0001	*	<0,0001	*	0,5264	s	<0,0001	*
					*		*		*		*				n		*
	Extracto	0,0012	*	<0,0001	*	<0,0001	*	<0,0001	*	<0,0001	*	0,0004	*	0,3540	s	<0,0001	*
	S.Cerevisiae x		n		n		n		n		n		n		n		n
	Extracto	0,9072	s	0,4435	s	0,9674	s	0,3412	s	0,1157	s	0,6674	s	0,7640	s	0,3054	s

Características fisicoquímicas de la pasta de cacao

Características fisicoquímicas de la pasta de cacao presentaron variaciones asociadas con los factores evaluados como se observa en la Tabla 8. El tipo de extracto frutal ejerció un efecto altamente significativo sobre el pH, la acidez, la humedad y el contenido de cenizas ($p < 0,0001$). En cambio, *Saccharomyces cerevisiae* no mostró efectos significativos sobre el pH ($p = 0,2657$), la acidez ($p = 0,4258$) ni las cenizas ($p = 0,7568$), aunque si presentó un efecto significativo sobre la humedad ($p = 0,0353$).

El pH de la pasta se situó entre 5,87 y 6,47. Los valores numéricamente más elevados correspondieron a los tratamientos con extractos y papaya, con registro de 6,44; 6,46 y 6,47 para 0,5 u 1 % de *S. cerevisiae*, respectivamente. Por el contrario, las pastas procedentes de los tratamientos sin extracto presentaron valores entre 5,87 y 5,88. La acidez osciló entre 0,57 y 0,88 % observándose el menor valor numérico en el tratamiento con 1 % de *S. cerevisiae* y extracto de papaya (0,57 %) mientras que los tratamientos sin extractos registraron los valores más elevados, entre 0,87 y 0,88 %.

La humedad presentó valores comprendidos entre 3,36 y 4,02 %. El menor registro numérico resultó ser 1 % de S.El ensamble de *S. cerevisiae* y extracto de papaya (3,36%), y los tratamientos de 0,5 y 0% de *S. cerevisiae* vinculados de forma aislada con papaya (3,38 y 3,42% respectivamente)presentaron un desarrollo equilibrado entre estas interacciones. No obstante, los tratamientos sin extracto mostraron valores entre 3,99 y 4,02 %. El análisis estadístico confirmó efectos significativos tanto *S. cerevisiae* ($p = 0,0353$) como del tipo de extracto frutal ($p < 0,0001$) sobre esta variable.

El contenido de cenizas mostró una variación más estrecha, con valores entre 2,99 y 3,14 %. Los mayores registros numéricos se observaron en las pastas procedentes de los tratamientos con extracto de guanábana (3,12 – 3,14 %), mientras que las combinaciones con extracto de papaya presentaron los menores valores (2,99 – 3,01 %). Para esta variable, el tipo de extracto ejerció un efecto altamente significativo ($p < 0,0001$), mientras que *S. cerevisiae* no mostró un efecto significativo ($p = 0,7568$).

No se detectó interacción significativa entre *S. cerevisiae* y el tipo de extracto para ninguna de las propiedades fisicoquímicas analizadas: pH (p = 0,8336), acidez (p = 0,7878), humedad (p = 0,9940) y cenizas (p = 0,9784). En conjunto, estos resultados evidencian que el tipo de extracto frutal tuvo un efecto significativo sobre las cuatro características fisicoquímicas evaluadas en la pasta de cacao, mientras que el efecto de *S cerevisiae* se limitó estadísticamente a la humedad. La ausencia de interacción significativa indica que, bajo las condiciones del estudio, no se detectó dependencia estadística entre ambos factores para las variables analizadas.

Tabla 8. Efecto de Saccharomyces cerevisiae y extractos frutales sobre las características fisicoquímicas de la pasta de cacao.

Factor		**Variable**			
Saccharomyces Cerevisiae	**Extracto de Fruta**	**pH**	**Acidez (%)**	**Humedad (%)**	**Ceniza (%)**
0	**Sin extracto de fruta**	5,87	0,88	4,02	3,02
0	**Papaya**	6,44	0,59	3,42	2,99
0	**Guanabana**	6,30	0,64	3,47	3,12
0,5	**Sin extracto de fruta**	5,88	0,87	4,00	3,01
0,5	**Papaya**	6,46	0,58	3,38	3,00
0,5	**Guanabana**	6,32	0,63	3,43	3,13
1	**Sin extracto de fruta**	5,87	0,88	3,99	3,02
1	**Papaya**	6,47	0,57	3,36	3,01
1	**Guanabana**	6,33	0,62	3,41	3,14

	EEM ±	0,02		0,01		0,02		0,02	
	CV	0,47		2,97		1,00		1,03	
Probabilidad	***Saccharomyces Cerevisiae***	0,2657	ns	0,4258	ns	0,0353	*	0,7568	ns
	Extracto	<0,0001	*	<0,0001	*	<0,0001	*	<0,0001	*
	***S.Cerevisiae* x Extracto**	0,8336	ns	0,7878	ns	0,9940	ns	0,9784	ns

Perfil sensorial de la pasta de cacao

El análisis sensorial permitió caracterizar el perfil descriptivo de la pasta de cacao correspondiente a lo nueve tratamientos experimentales como se evidencia en la Figura 3. La representación conjunta de los atributos color, aspecto, aroma, sabor y regusto evidenció variaciones en la configuración de los perfiles entre las diferentes combinaciones de *Saccharomyces cerevisiae* y extractos frutales.

En la representación obtenida se observó una diferenciación progresiva entre los tratamientos, particularmente en aquellos correspondientes al mayor nivel de aplicación de *S. cerevisiae*. Los tratamientos T8 (Sc2Ex1: 1 % de *S. cerevisiae* + extracto de papaya) y T9 (Sc2Ex2: 1 % de *S. cerevisiae* + extracto de guanábana) presentaron perfiles más externos para el conjunto de los atributos representados, mientras que T7 (Sc2Ex0: 1 % de *S. cerevisiae* sin extracto) mostró una configuración intermedia. De manera similar. Dentro del nivel de 0,5 % de levadura se observaron diferencias entre T4, T5 y T6, lo que refleja variaciones descriptivas asociadas con las distintas combinaciones experiemtnales.

Por otra parte, T1 (Sc0Ex0: sin *S. cerevisiae* y extracto frutal) presentó un perfil comparativamente más interno y homogéneo. No obstante, la posición relativa de los tratamientos. Las puntuaciones representan categorías sensoriales descriptivas y no niveles crecientes de aceptabilidad; por tanto, una mayor extensión del polígono no implica

necesariamente una mejor calidad o preferencias del polígono no implica necesariamente una mejor calidad o preferencias sensorial. Por ejemplo, puntuaciones crecientes en sabor se aproximan al descriptor “muy amargo”, mientras que en aspecto corresponden progresivamente a una mayor opacidad.

En conjunto, el diagrama radar permiten visualizar la diferenciación del perfil sensorial de la pasta de cacao entre las nueve combinaciones experimentales y facilita la identificación de cambios simultáneos en los atributos evaluados.

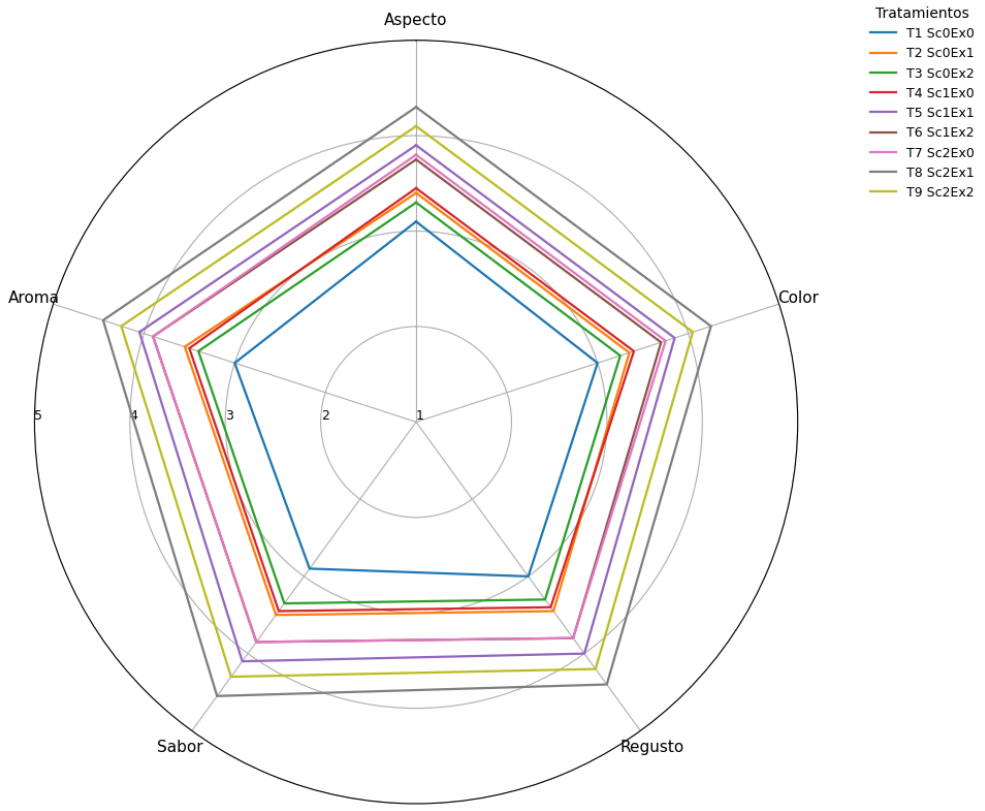


Figura 3. Perfil sensorial de la pasta de cacao obtenida mediante diferentes combinaciones de Saccharomyces cerevisiae y extractos frutales.

DISCUSIÓN

La evolución termina observada es coherente con la sucesión microbiana típica de la fermentación del cacao. Durante las primeras etapas, *Saccharomyces cerevisiae* participa activamente en el consumo de azucares del mucilago y en la producción de etanol. Posteriormente, la mayor aireación favorece a las bacterias ácido acética, cuyas oxidaciones del etanol genera calor y conduce al incremento de la temperatura de la masa. Este comportamiento ha sido descrito por De Vuyst y Leroy et al. (13) señalan que esta transición metabólica conduce normalmente desde condiciones iniciales cercanas a la temperatura ambiental hasta valores propios de una fermentación activa, donde la oxidación del etanol y posterior sobre oxidación de ácido orgánico contribuyen decisivamente a la generación de calor.

La influencia observada de *S. cerevisiae* sobre el comportamiento térmico a partir de las primeras etapas activas de fermentación encuentra respaldo en estudios que muestran que el nivel de temperatura están estrechamente relacionadas con el desempeño de esta levadura, la influencia de esta levadura observada a partir del primer día también coincide con Kouamé et al. (27), mediante un modelo predictivo desarrollado específicamente para la fermentación alcohólica del cacao, identificaron precisamente la concentración inicial del inoculo y la evaluación térmica como variables determinantes del crecimiento de *S. cerevisiae*. Esta relación permite interpretar que una mayor presencia inicial de la levadura puede favorecer una colonización más rápida del mucilago y una transformación más eficiente de los carbohidratos disponibles, generando condiciones metabólicas favorables para la continuidad de la sucesión microbiana. No obstante, debe evitar atribuir el incremento térmico exclusivamente a *S. cerevisiae*, debido a que el aumento más pronunciado de temperatura se asocia posteriormente con metabolismo oxidativo de las bacterias ácido acéticas.

Resultados comparables fueron reportados por Streule et al. (28) en fermentaciones de cacao ecuatoriano, donde una adecuada progresión de la temperatura estuvo asociada con procesos fermentativos más completos. De forma similar, Gutiérrez et al. (29) indican que la

etapa aeróbica puede elevar la temperatura de la masa hasta aproximadamente 40-52 °C, rango relacionado con la actividad de bacterias ácido acéticas y con las transformaciones bioquímicas internas del cotiledón.

La falta de interacciones significativas entre *S. cerevisiae* y extractos hace suponer que *S. cerevisiae* y papaya actuaron independientemente sobre la temperatura evitando demostrar un efecto sinérgico no confirmado de forma estadística. Díaz et al. (30) también evidenciaron que el efecto de un cultivo iniciador depende de su capacidad de implantación y de las condiciones particulares del proceso, por lo que la respuesta fermentativa no siempre resulta de interacciones aditivas entre los componentes evaluados.

En conjunto, la respuesta térmica obtenida es compatible con una fermentación activa y con una sucesión microbiana funcional. El papel de *S. cerevisiae* parece estar relacionado principalmente con las etapas iniciales, mientras que el aumento posterior de temperatura se asocia con el metabolismo oxidativo de las bacterias ácido acéticas.

De manera concordante Plua et al. (20) observaron que la fermentación dirigida de cacao Nacional y CCN-51 con *Weisella confusa* y *Lactiplantibacillus plantarum* estuvo acompañada por un incremento progresivo de la temperatura, asociado con la actividad metabólica desarrollada durante el proceso. Los autores destacan que la evolución térmica constituye un indicador relevante del avance fermentativo, debido a su relación con la transformación de los sustratos del mucilago y la sucesión de los grupos microbianos. Esta evidencia respalda la importancia del control microbiológico de la fermentación y sugiere que el empleo de cultivos seleccionados puede contribuir a una dinámica más uniforme; no obstante, la magnitud de la respuesta depende también del sistema de fermentación y de las condiciones bajo las cuales se desarrolla el proceso.

La reducción progresiva de los sólidos solubles es consistente con la utilización de los carbohidratos del mucílago como sustrato para el metabolismo microbiano. Viesser et al. demostraron que glucosa y fructosa constituyen los principales azúcares fermentables de la pulpa de cacao, observando un consumo preferencial de glucosa durante las primeras 48-72

horas. Este comportamiento permite relacionar la pérdida de sólidos solubles con el avance de la fase fermentativa y la transformación de los azúcares disponibles (31).

La participación de *S. cerevisiae* resulta particularmente importante en esta dinámica. Lo indicado por Muñoz y De Vuyst et al. (32) concuerda con el funcionamiento de las levaduras que empleadas como cultivos iniciadores afectan la utilización de los carbohidratos de la pulpa, así como la producción de etanol y compuestos involucrados en el aroma. En consecuencia, una reducción más intensa de los sólidos solubles en fermentaciones inoculadas puede reflejar una mayor actividad metabólica sobre los sustratos disponibles.

Esta interpretación también coincide con investigaciones recientes sobre fermentación controladas. Un estudio del 2025 con diferentes cepas de *S. cerevisiae* mostró una disminución progresiva de los °Brix durante la fermentación de cacao y una mayor concentración residual de sólidos solubles en la fermentación natural respecto de los tratamientos inoculados. Esto respalda el uso de los °Brix como indicador complementario del aprovechamiento de los sustratos durante la fermentación.

Por otra parte, la incorporación de matrices frutales puede modificar la composición del medio fermentativo. Vizcaino et al. (33) al sustituir el mucílago de cacao por pulpas de frutas en fermentaciones no convencionales, comprobaron transformaciones importantes en azucares y ácidos orgánicos a medidas que avanzó el proceso. Esto sugiere que los extractos frutales pueden alterar la disponibilidad de sustratos para el microbiota; sin embargo, su contribución especifica debe confirmarse mediante la cuantificación individual de glucosa, fructosa, sacarosa, etanol, ácido orgánico, dado que los °Brix representan el conjunto de sólidos solubles o exclusivamente azucares.

La evaluación ascendente del pH puede relacionarse con las transformaciones de los ácidos orgánicos presentes en el mucilago y con la sucesión microbiana durante la fermentación. Díaz et al. (18) señalan que el consumo de citrato, principalmente asociado con la actividad de bacterias ácido lácticas, reduce progresivamente la acidez inicial de pulpa y modifica las

condiciones para el establecimiento de los microorganismos que participan en etapas posteriores.

Esta tendencia también ha sido observada experimentalmente. En fermentaciones controladas de cacao, se han reportado valores iniciales cercanos a pH 3,5 y finales alrededor de 4,0 – 4,3, atribuidos a la transformación microbiana del citrato y de los carbohidratos presentes en la pulpa (34). Asimismo, investigaciones recientes con *S. cerevisiae* como cultivo iniciador muestran que el pH puede presentar fluctuaciones durante el proceso y posteriormente incrementarse, confirmando su comportamiento depende de la actividad metabólica y de la etapa fermentativa (35).

El efecto de los extractos frutales puede estar asociado con las diferencias en su composición de azucares y ácidos orgánicos. Vizcaino et al. (36), al sustituir el mucilago de cacao por pulpas frutales, comprobaron modificaciones en el pH, la acidez titulable y las concentraciones de ácido cítrico, láctico y acético durante la fermentación. Estos antecedentes respaldan que la incorporación de matrices frutales puede modificar el entorno químico de la masa fermentativa; sin embargo, el mecanismo especifico dependerá de la composición de cada extracto.

La calidad física del grano está estrechamente relacionada con la eficiencia de la fermentación, particularmente con las trasformaciones internas del cotiledón y la reducción de defectos asociados con una fermentación incompleto. El cacao Nacional ecuatoriano, Falconí et al. (10) demostraron que el empleo de un cóctel microbiano nativo como cultivo iniciador favoreció el desarrollo del proceso fermentativo frente a la fermentación convencional. Este antecedente respalda el uso de microorganismos seleccionados como estrategia para mejorar la uniformidad y calidad del beneficio del cacao.

La participación de *Saccharomyces cerevisiae* resulta particularmente relevante por su capacidad para establecer durante las primeras etapas de la fermentación y transformar los sustratos disponibles en el mucílago. Díaz et al. (30) comprobaron que fermentaciones inoculadas con *S. cerevisiae* condujeron a un proceso más avanzando que aquellas inoculadas

con *Hanseniaspora opuntiae*, además de generar perfiles aromáticos más ricos y reproducibles. Esto sustenta el potencial de *S. cerevisiae* como cultivo iniciador para favorecer una transformación más consiste en el grano.

La disminución de granos violetas adquiere especial importancia, debido a que su presencia se asocia con una transformación incompleta del cotiledón. Vizcaino et al. (37), en fermentaciones no convencionales de cacao CCN-51 con sustitución del mucílago por pulpas frutales, obtuvieron más del 81 % de granos fermentados y menos del 18,4 % de granos violetas después de cinco a seis días. La proximidad metodológica de este estudio resalta particularmente relevante, ya que demuestra que la modificación de la matriz fermentativa mediante pulpas de frutas puede acompañarse de cambios favorables en la calidad determinada mediante prueba de corte.

La ausencia de interacción entre *S. cerevisiae* y los extractos frutales indica que no existe evidencia estadística para plantear un efecto sinérgico entre ambos factores. Sus contribuciones sobre las características físicas y la calidad fermentativa deben interpretarse de manera independiente. En término aplicados, la evidencia disponible respalda el empleo de cultivos iniciadores para favorecer una fermentación más uniforme, mientras que el uso de matrices frutales constituye una alternativa prometedora para modular el proceso y merece una caracterización microbiológica y metabólica más profunda.

Las variaciones fisicoquímicas de la pasta de cacao reflejan que los cambios inducidos durante la fermentación y el secado se mantienen posteriormente en el producto procesado. En este sentido, el pH y la acidez son particularmente sensibles a la acumulación y difusión de ácidos orgánicos durante la fermentación. Diversos estudios han mostrado que la acidificación del cotiledón depende principalmente de la penetración de ácido acético y láctico, lo que repercute posteriormente en el licor o pasta de cacao y puede modificar su calidad sensorial (38).

La influencia del tipo de extracto sobre el pH y la acidez puede relacionarse con la composición propia de cada matriz vegetal. Los extractos frutales añaden azúcares y ácidos orgánicos los

cuales modificarían las condiciones del mucílago y por tanto las trayectorias metabólicas durante la fermentación mientras que esto se ajusta a lo encontrado en trabajos previos donde el agregado o sustitución de matrices ricas en carbohidratos modificó el metabolismo de azúcares y ácidos orgánicos en la fermentación del cacao encontrando luego diferencias en la naturaleza química del producto. No obstante, establecer que compuestos fue responsable de estas variaciones requeriría cuantificar individualmente ácido cítrico, láctico y acético.

La humedad constituye otro parámetro de interés tecnológico, ya que está relacionada con la estabilidad de la materia prima y con las operaciones posteriores de transformación. En estudios realizados con cacao fermentado, el contenido de humedad mostró variaciones atribuibles tanto el proceso fermentativo como el secado, mientras que contenidos reducidos favorecieron una mayor estabilidad durante el almacenamiento. De forma similar, investigaciones recientes con fermentaciones inducidas han destacado que el manejo postcosecha determina la retención de agua y la composición final del cacao procesado (39).

Por su parte, las diferencias en cenizas pueden vincularse principalmente con la composición mineral de la materia prima y de las matrices adicionadas. A diferencia del pH o la acidez, esta variable no depende directamente de la actividad fermentativa, debido a que representa la fracción inorgánica residual del producto. Estudios sobre la dinámica de fermentación han mostrado que el contenido de cenizas puede variar entre condiciones de procesamiento y materiales de cacao, aunque estos cambios suelen ser menos pronunciados que los observados en humedad o acidez (11).

La ausencia de interacción entre *Saccharomyces cerevisiae* y los extractos frutales indica que no existe evidencia de un efecto sinérgico sobre las propiedades fisicoquímicas de la pasta. Por ello, la influencia de ambos factores debe interpretarse de manera independiente. En conjunto, la literatura respalda que la composición fisicoquímica de la pasta de cacao constituye el resultado acumulativo de la fermentación, el secado y la naturaleza de la materia prima, siendo particularmente importante el equilibrio entre pH y acidez por su relación posterior con la calidad tecnológicas y sensorial del cacao.

Las diferencias observadas entre los perfiles sensoriales confirman que las condiciones de fermentación pueden modificar las características perceptibles de la pasta de cacao. La actividad de las levaduras desempeña un papel importante en este proceso, debido a su participación en la formación de alcoholes, ésteres y otros metabolitos que contribuyen posteriormente al aroma y sabor. En este sentido, Díaz et al. (30) demostraron que el empleo de *Saccharomyces cerevisiae* como cultivo iniciador produjo perfiles aromáticos del licor de cacao y chocolate más ricos y reproducibles que otras condiciones fermentativas, asociados con diferencias en la composición del compuesto orgánicos volátiles.

La influencia de las levaduras sobre el perfil sensorial también depende de su capacidad metabólica. Chagas et al. (40), al evaluar levaduras autóctonas procedentes de fermentaciones de cacao, identificaron diferencias sensoriales vinculadas con la producción de compuestos como acetato de etilo, acetato de isoamilo y acetato de 2 feniletilo, relacionados con notas frutales y florales. Esto evidencia que la selección del microorganismo iniciador puede modificar cualitativamente el perfil aromático desarrollado durante la fermentación.

En cacao Nacional ecuatoriano Streule et al. (28) comprobaron además las condiciones de fermentación y secado repercuten directamente en el perfil sensorial del licor. Fermentaciones insuficientes estuvieron asociadas con atributos amargos, astringentes, leñosos y terrosos, confirmando que el manejo postcosecha condiciona la expresión sensorial del producto final.

CONCLUSIONES

La aplicación de *Saccharomyces cerevisiae* y extracto de papaya *(Carica papaya L.)* y guanábana *(Annona muricata L.)* permitió modificar las condiciones de la fermentación postcosecha del cacao, evidenciándose variaciones en temperatura, pH y sólidos solubles. Los resultados obtenidos presentaron una mayor garantía del desarrollo fermentativo dado el carácter más transformador que mostraron las almendras y demostraron el potencial de la fermentación dirigida como alternativa para tener un proceso de postcosecha más controlado y uniforme.

Los tratamientos influyeron en la calidad fermentativa del grano y en las características fisicoquímicas de la pasta de cacao. Entre las combinaciones evaluadas, el tratamiento constituido por 1 % de *S. cerevisiae* y extracto de papaya presentó el comportamiento tecnológico más favorable, con 92 % de granos fermentados, 7 % de granos violetas y 1 % de granos pizarrosos, además de una pasta caracterizada por menor acidez y humedad. Estos resultados permiten considerar esta combinación como la de mayor potencial para optimizar la calidad postcosecha dentro de las condiciones experimentales estudiadas.

Las diferentes condiciones de fermentación generaron variaciones en los atributos sensoriales de la pasta de cacao, confirmado que el manejo fermentativo repercute en las características perceptibles del producto final. No obstante, la ausencia de una interacción estadísticamente significativa entre *S cerevisiae* y los extractos frutales indica que no se comprobó un efecto sinérgico entre ambos factores, por lo que sus efectos deben interpretarse principalmente de manera independiente.

Los resultados respaldas el potencial de *S. cerevisiae* y, particularmente, del extracto de papaya como herramienta para orientar estrategias biotecnológicas destinadas al mejoramiento de la fermentación y la calidad del cacao.

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a Papito Dios por su inmenso amor y sabiduría Gracias Padre Celestial, también a mi mami la Licenciada Mariana de Jesús Cortez Freire, sin ti mamá esto no fuera posible, te amamos mamita y a mi Princesa Narcisita Vasquez.

DECLARACIÓN DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés ni de manera personal que pudieran haber influido en el desarrollo, análisis, interpretación o publicación de los resultados de esta investigación.

CONTRIBUCIONES DE AUTOR

Luis Humberto Vásquez Cortez y Sanyi Lorena Rodríguez Cevallos: conceptualización, diseño de la investigación, metodología, desarrollo experimental, conceptualización, diseño de la investigación, metodología, desarrollo experimental de los tratamientos, recolección y procesamiento de datos, análisis estadístico, interpretación de resultados, investigación concluida, generación de figuras, tablas, redacción del borrador original, revisión y edición del manuscrito. José Francisco Falconi Novillo: metodología, supervisión, revisión crítica y aprobación de la versión final del manuscrito. Todos los autores leyeron y aprobaron la versión final del artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Vásquez V, Rosales T. El origen de la domesticación de Theobroma cacao “cacao”: la evidencia de la Amazonía-Revisión. Revista ARCHAEOBIOS No [Internet]. 2025 [cited 2026 May 16];2(20):39–50. Available from: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10513204
2. Subroto E, Djali M, Indiarto R, Lembong E, Baiti N. Microbiological activity affects post-harvest quality of cocoa (Theobroma cacao L.) beans. Horticulturae. 2023;9(7):1–25. doi:10.3390/horticulturae9070805
3. Santander M, Vaillant F, Sinuco D, Rodríguez J, Escobar S. Enhancement of fine flavour cocoa attributes under a controlled postharvest process. Food Research International. 2021 May;143(110236). doi:10.1016/j.foodres.2021.110236
4. Vásquez. Luis, Rodríguez S, Cadena L, Plua J. Aroma, Ciencia y Tradición: Nuevas fronteras en la fermentación del cacao [Internet]. 1st ed. Rodríguez S, editor. Manabí:

GESICAP; 2025 [cited 2026 May 13]. 1–126 p. Available from: https://edicionesgesicap.com/index.php/gesicap/catalog/book/47
5. Campos S, Martínez W, Anacleto G, Ocán D, dos Santos G, Rosas F, et al. The Role of microbial Dynamics, Sensorial compounds, and producing regions in cocoa fermentation. Microbiology Research. 2025. p. 1–34. doi:10.3390/microbiolres16040075
6. Vizcaino C, Guajardo D, Caroca R, Serna SO, Briones M, Lazo M. Non-conventional fermentation at laboratory scale of cocoa beans: Using probiotic microorganisms and substitution of mucilage by fruit pulps. Int J Food Sci Technol. 2022;57(7):4307–15. doi:10.1111/ijfs.15757
7. Balcázar C, Fernández E, Lopes A, Ferreira N, Chagas G, Yoplac I, et al. Amino acid profile behavior during the fermentation of Criollo cocoa beans. Food Chem X. 2024 Jun;22(101486). doi:10.1016/j.fochx.2024.101486
8. Quintana L, García A, Rodríguez A, Hoyos N, Alvis A. Impact of spontaneous fermentation on the physicochemical and sensory qualities of Cacao. Fermentation. 2025;11(7):1–9. doi:10.3390/fermentation11070377
9. Vásquez L, Montoya E, Cadenas Morales LI, Plua J, Camacho C, Cobos F, et al. Physical, chemical and sensory evaluation of cocoa (Theobroma cacao L.) CCN51 fermented with Saccharomyces cerevisiae and fruit extract (Manila mango) at different stages of ripeness. Nutricion Clinica y Dietetica Hospitalaria. 2025 Aug;45(3):117–28. doi:10.12873/453vasquez
10. Falconí C, Yánez V, Haro R, Claudio D. Inoculum of a Native Microbial Starter Cocktail to Optimize Fine-Aroma Cocoa (Theobroma cacao) Bean Fermentation. Agronomy. 2023;13(10):1–16. doi:10.3390/agronomy13102572
11. Vásquez L, Rodríguez S, Clavijo S, Carrillo M, Maddela N, Radice M, et al. Impact of Microbial Inoculants and Fruit Extracts on Cadmium Reduction and Quality Parameters in Cocoa (Theobroma cacao L.): From Beans to Cocoa Paste. Processes. 2026;14(9):1–26. doi:10.3390/pr14091348
12. Vásquez L, Vásquez K, Intriago F, Chang J, Maddela N, Prasad R. Banana and apple extracts with efficient microorganisms and their effect on cadmium reduction in cocoa beans (Theobroma cacao L.). Discover Food. 2024;4(163):1–13. doi:10.1007/s44187-024-00205-5
13. De Vuyst L, Leroy F. Functional role of yeasts, lactic acid bacteria and acetic acid bacteria in cocoa fermentation processes. FEMS Microbiol Rev. 2020;44(4):432–53. doi:10.1093/femsre/fuaa014
14. Vásquez L, Cevallos C, Uvidia M, Segobia S, Plua J. Evaluation of fermentation methods for Nacional and CCN51 cacao introducing microorganisms in jute, rohan boxes for organoleptic improvement. Revista Luna Azul. 2025;(60):168–81. doi:10.17151/luaz.2025.60.10
15. Ayodipupo B, Ifeolu A, Otunba A, Ebenezer G, Babalola O, Nwufo C. Therapeutic benefits of Carica papaya: A review on its pharmacological activities and characterization of papain. Arabian Journal of Chemistry. 2024;17(1):105369. doi:10.1016/j.arabjc.2023.105369
16. Ibrahim N, Hidayat C, Utami T, Yanti R, Witasari L. Flavor precursor and volatile compounds formation of unfermented cocoa beans hydrolyzed by papain. Food Science and Technology. 2024;44:1–7. doi:10.5327/fst.00224%20

17. Intriago F, Cedeño J, Parraga C, Alvarado K, Vásquez L, Revilla K, et al. Induction of effective microorganisms (EM) in the fermenting mass of cocoa (Theobroma cacao L.) and their impact on physicochemical and antioxidant characteristics. Biotecnia. 2024;26:1–8. doi:10.18633/biotecnia.v26.2422
18. Díaz C, Vuyst L. Functional yeast starter cultures for cocoa fermentation. J Appl Microbiol. 2022 Jul;133(1):39–66. doi:10.1111/jam.15312
19. Morales W, Morante J, Herrera R, Ayuso M, Bernalte M. Effect of addition of yeasts and enzymes during fermentation on physicochemical quality of fine aroma cocoa beans. J Agric Food Res. 2024;16:1–11. doi:10.1016/j.jafr.2024.101126
20. Plua J, Vásquez L, Valenzuela J, Barragan R, Pérez S, Maddela N, et al. Effect of Lactic Acid Bacteria (Weissella confusa and Lactiplantibacillus plantarum) and Fermentation Type on the Quality of Nacional and CCN-51 Cocoa (Theobroma cacao L.). Appl Microbiol. 2026;6(8):97. doi:10.3390/applmicrobiol6080097
21. Vera J, Vásquez L, Alvarado K, Intriago F, Raju M, Radice M. Physical and Organoleptic Evaluation of 12 Cocoa Clones (Theobroma Cacao L.) of National Type, in Cocoa Liquor—a Study from Ecuador. In: Salgado J, Vega H, García G, Robles V, editors. Systems, Smart Technologies and Innovation for Society. Guayaquil: Springer Cham; 2024. p. 199–211. doi:10.1007/978-3-031-51982-6_18
22. Vásquez L, Clavijo S, Carrillo M, Díaz E, Tacle P, Arias D. Effect of efficient microorganisms and fruit extracts on the organoleptic and chemical profile of CCN-51 cacao liquor during postharvest processing. Nutricion Clinica y Dietetica Hospitalaria. 2025;45(4):343–53. doi:10.12873/454vasquez-2
23. Vásquez L, Cevallos C, Uvidia M, Segobia S, Plua J. Evaluación de métodos fermentativos de cacao Nacional y CCN51 induciendo microorganismos en yute y cajas Rohan para mejora organoléptico. Luna Azul. 2025;(60):168–81. doi:10.17151/luaz.2025.60.10
24. Dzelagha B, Ngwa N, Nde D. A Review of Cocoa Drying Technologies and the Effect on Bean Quality Parameters. Int J Food Sci. 2020;2020:1–11. doi:10.1155/2020/8830127
25. Barreiro J, Sandoval A. Kinetics of moisture adsorption during simulated storage of whole dry cocoa beans at various relative humidities. J Food Eng. 2020;273:109869. doi:10.1016/j.jfoodeng.2019.109869
26. Streule S, Freimüller S, Chatelain K, Miescher S. Effect of pod storage and drying temperature on fermentation dynamics and final bean quality of cacao Nacional in Ecuador. Foods. 2024;13(10):1536. doi:10.3390/foods13101536
27. Kouamé C, Loiseau G, Grabulos J, Boulanger R, Mestres C. Development of a model for the alcoholic fermentation of cocoa beans by a Saccharomyces cerevisiae strain. Int J Food Microbiol. 2021;337:108917. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108917
28. Streule S, Freimüller S, Galler M, Motzer D, Poulose M, Miescher S. Variations in Ecuadorian cocoa fermentation and drying at two locations: Implications for quality and sensory. Foods. 2024;13(1):1–22. doi:10.3390/foods13010137
29. Gutiérrez H, Suárez M, Hernández Z, Castellanos O, Alonso R, Rayas P, et al. Yeasts as producers of flavor precursors during cocoa bean fermentation and their relevance as starter cultures: A review. Fermentation. 2022;8(7):1–18. doi:10.3390/fermentation8070331
30. Díaz C, Van D, Tuenter E, Lemarcq V, Van D, Soares J, et al. An in-depth multiphasic analysis of the chocolate production chain, from bean to bar, demonstrates the superiority of Saccharomyces cerevisiae over Hanseniaspora opuntiae as functional

starter culture during cocoa fermentation. Food Microbiol. 2023 Feb;109:1–24. doi:10.1016/j.fm.2022.104115
31. Viesser J, de Melo G, de Carvalho D, Rogez H, Góes A, Azevedo V, et al. Co-culturing fructophilic lactic acid bacteria and yeast enhanced sugar metabolism and aroma formation during cocoa beans fermentation. Int J Food Microbiol. 2021;339:109015. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2020.109015
32. DíaZ C, De Vuyst L. Functional yeast starter cultures for cocoa fermentation. J Appl Microbiol. 2022;133(1):39–66. doi:10.1111/jam.15312
33. Vizcaino C, Guajardo D, Caroca R, Serna S, Briones M, Lazo M. Non-conventional fermentation at laboratory scale of cocoa beans: Using probiotic microorganisms and substitution of mucilage by fruit pulps. Int J Food Sci Technol. 2022;57(7):4307–15. doi:10.1111/ijfs.15757
34. Settapramote N, Phungam N, Hunsakul K, Chuensun T, Yatale T, Kawee-ai A. Optimization of Cocoa Nibs Fermentation Using Saccharomyces cerevisiae Starter Cultures: Impact on Physicochemical Properties and Aroma Profile. Trends in Sciences. 2025;22(8):10201. doi:10.48048/tis.2025.10201
35. Rojas K, Hernández C, Mencía A. Transformaciones bioquímicas del cacao (Theobroma cacao L.) durante un proceso de fermentación controlada [Internet]. Vol. 45. 2021;45(1):53–65. doi:10.15517/rac.v45i1.45694
36. Vizcaino C, Guajardo D, Caroca R, Serna S, Briones M, Lazo M. Non-conventional fermentation at laboratory scale of cocoa beans: Using probiotic microorganisms and substitution of mucilage by fruit pulps. Int J Food Sci Technol. 2022;57(7):4307–15. doi:10.1111/ijfs.15757
37. Vizcaino C, Guajardo D, Caroca R, Serna S, Briones M, Lazo M. Non-conventional fermentation at laboratory scale of cocoa beans: Using probiotic microorganisms and substitution of mucilage by fruit pulps. Int J Food Sci Technol. 2022;57(7):4307–15. doi:10.1111/ijfs.15757
38. Ruiz F, Márquez F, García P, Carrera A, Ramírez C, Ocaranza E, et al. Physicochemical and biochemical changes in cocoa during the fermentation step. Fermentation. 2024 Aug;10(8):1–14. doi:10.3390/fermentation10080405
39. Ramírez A, Gutiérrez G, Polonía P, López L, Suárez J. Fermentation and its effect on the physicochemical and sensory attributes of cocoa beans in the Colombian Amazon. PLoS One. 2024 Oct 1;19(10 October). doi:10.1371/journal.pone.0306680
40. Mendoza M, Martínez O, Ardila M, Lizarazo P. Bioprospecting of indigenous yeasts involved in cocoa fermentation using sensory and chemical strategies for selecting a starter inoculum. Food Microbiol. 2022;101:103896. doi:10.1016/j.fm.2021.103896

ANEXAR LA CARTA DE ACEPTACIÓN

ISSN 3091-1796
publicaciones@ecuacientífica.com

Carta de aceptación de manuscrito.

15 de agosto de 2026

LA REVISTA MULTIDISCIPLINARIA ECUACIENTÍFICA
hace constar que:

El artículo:

"APLICACIÓN DE *Saccharomyces cerevisiae* Y EXTRACTOS FRUTALES EN LA POSCOSECHA DEL CACAO (*Theobroma Cacao L.*) COMO ESTRATEGIA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL GRANO Y EL PERFIL SENSORIAL DE LA PASTA DE CACAO"

De autoría:

LUIS HUMBERTO VÁSQUEZ CORTEZ, SANYI LORENA RODRÍGUEZ CEVALLOS, FALCONI NOVILLO JOSÉ FRANCISCO

Cumpliendo con todos los criterios de editoriales establecidos por la **Revista Multidisciplinaria Ecuacientífica**, el artículo ha sido ***evaluado de manera favorable y aceptado para su publicación*** en la Edición Vol.4 Núm.10, año (2026). Edición Especial. Fecha de publicación: 25 de agosto de 2026.

Atentamente;

Ing. Jorge Armando Zula Cujano PhD.
Editor en Jefe

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador