

**Impacto de la Fermentación y Secado sobre el Contenido de Polifenoles Totales en el
Genotipo de Cacao Imperial College Selections 39**

Yeimi Carolina Orozco Ortiz

Asesor

MSc. Lucas Fernando Quintana Fuentes

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería ECBTI

Programa Maestría en Biotecnología Alimentaria

2025

Dedicatoria

A Dios, por la vida, la salud y las innumerables bendiciones que me ha concedido. Gracias por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino.

A mis queridos padres, por su constante motivación y apoyo incondicional. Su amor sacrificio y ejemplo han sido la fuerza impulsora detrás de cada uno de mis logros. Les dedico este trabajo con gratitud y admiración eterna.

Agradecimientos

En primera instancia, quiero expresar mi agradecimiento a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, especialmente al programa de Maestría en Biotecnología Alimentaria, por brindarme la oportunidad de formar parte de esta comunidad académica. Gracias por la excelente formación que nos proveen y por instruirnos para convertirnos en profesionales autónomos, competentes y comprometidos.

A cada docente del programa, por su dedicación y enseñanza, las cuales han sido fundamentales para mi crecimiento personal y profesional. De cada uno de ustedes he aprendido valiosas lecciones que hoy se reflejan en este logro.

A mi director, Ms.C Lucas Fernando Quintana, por su valiosa orientación y por compartir su amplia experiencia de cacao a lo largo de este proceso. Su apoyo y guía han sido esenciales para la realización de este trabajo. Finalmente, a mis jurados de trabajo de grado por sus valiosos aportes.

Resumen

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es un cultivo de gran importancia económica y cultural, reconocido por sus propiedades organolépticas y nutricionales. Entre sus compuestos bioactivos, los polifenoles destacan por su potencial antioxidante y efectos benéficos para la salud humana, sin embargo; estos compuestos durante el beneficio y secado del grano suponen una pérdida sustancial de los componentes polifenólicos que favorecen la calidad sensorial del cacao. El presente estudio determina el impacto de la fermentación estandarizada y el secado sobre el contenido de polifenoles totales en el genotipo de cacao ICS 39 (Imperial College Selections). Se plantea la hipótesis de que la fermentación estandarizada y el proceso de secado, reducen el contenido de polifenoles, mejorando la calidad del grano seco. El beneficio del genotipo ICS 39 se realizó incluyendo seguimiento a la variable temperatura durante toda la etapa (144 horas) y se realizaron volteos estandarizados a partir de las 48 horas de fermentación con frecuencia cada 24 horas; el secado se llevó a cabo mediante uso de marquesina con luz solar. Los polifenoles totales fueron cuantificados con el método Folin-Ciocalteu, los muestreos siguieron un diseño experimental de 5 muestras por prueba de fermentación y secado a las 0, 48, 96 y 144 horas de fermentación y al obtener el grano seco; se realizaron tres replicas al proceso de beneficio con un total de 15 muestras. La etapa de fermentación anaeróbica alcanzó temperatura de 36,9°C, la etapa de fermentación aeróbica registró temperaturas de 47,9 °C posterior a realizar los volteos a la masa de fermentación. Las diferencias significativas en el contenido de polifenoles a través de las etapas evaluadas fueron establecidas mediante análisis de varianza. Los polifenoles totales variaron significativamente durante la fermentación y el secado registrando valores entre 50,2mgEAG/gMS a 24,02mgEAG/gMS, se estableció que la fermentación estandarizada y el

secado en el genotipo ICS 39 representa disminución significativa en el contenido de polifenoles totales, aportando a la obtención de granos de cacao de alta calidad con mayor valor agregado.

Palabras clave: beneficio de cacao, fermentación, polifenoles totales, secado.

Abstract

Cacao (*Theobroma cacao* L.) is a crop of great economic and cultural significance, recognized for its organoleptic and nutritional properties. Among its bioactive compounds, polyphenols stand out due to their antioxidant potential and beneficial effects on human health. However, during the post-harvest processing and drying of cacao beans, there is a substantial loss of polyphenolic compounds that contribute to the sensory quality of cacao. This study determines the impact of standardized fermentation and drying on the total polyphenol content in the ICS 39 cacao genotype (Imperial College Selections). It is hypothesized that standardized fermentation and the drying process reduce polyphenol content, thereby improving the quality of the dried beans. The processing of the ICS 39 genotype included monitoring temperature throughout the entire stage (144 hours), with standardized turning of the fermentation mass starting at 48 hours with a frequency of every 24 hours. The drying was carried out using a solar dryer. Total polyphenols were quantified using the Folin-Ciocalteu method, and samples followed an experimental design of 5 samples per fermentation and drying test at 0, 48, 96, and 144 hours of fermentation and upon obtaining the dried beans. Three replicates of the processing were conducted, totaling 15 samples. The anaerobic fermentation stage reached a temperature of 36.9°C, while the aerobic fermentation stage recorded temperatures of 47.9°C after turning the fermentation mass. Significant differences in polyphenol content across the evaluated stages were established through variance analysis. Total polyphenols varied significantly during fermentation and drying, with values ranging from 50.2 mgGAE/gDM to 24.02 mgGAE/gDM. It was established that standardized fermentation and drying in the ICS 39 genotype result in a significant decrease in total polyphenol content, contributing to the production of high quality cacao beans with greater added value.

Keywords: cacao post-harvest, fermentation, total polyphenols, drying.

Tabla de Contenido

Resumen.....	4
Abstract.....	6
Introducción	14
Marco Teórico y Contextual	16
Generalidades del Cacao.....	16
Producción Nacional e Internacional	18
Cosecha y Poscosecha del Cacao.....	22
Cosecha.....	22
Fermentación.....	22
Polifenoles en el cacao.....	24
Antocianinas	25
Procianidinas.....	25
Polifenoles en la Fermentación.....	27
Secado	29
Objetivos.....	31
Objetivo general.....	31
Objetivos específicos	31
Materiales y Métodos.....	32
Diseño experimental	32

Material vegetal	33
Genotipo ICS 39 (Imperial College Selections)	33
Localización y acceso	37
Instrumentos y equipos	37
Cajón de fermentación	37
Equipo de monitoreo de temperatura	39
Cosecha y beneficio del cacao	40
Cosecha de cacao	40
Partido de cacao y desgranado	41
Fermentación.....	42
Frecuencia de volteos en la etapa de fermentación.....	44
Secado del cacao	45
Muestreo de cacao para análisis.....	46
Técnica de análisis polifenoles totales.....	48
Determinación del contenido de humedad.....	50
Homogenización de la muestra.....	51
Preparación del extracto.....	51
Extracción de polifenoles.....	51
Ensayo Folin-Ciocalteu.....	52
Resultados y Discusión	54

Monitoreo del proceso de fermentación	54
Evaluación de los cambios en el contenido de polifenoles totales	57
Análisis del impacto del contenido de polifenoles totales sobre la calidad del grano seco.....	64
Conclusiones	67
Recomendaciones	69
Referencias Bibliográficas	71

Lista de Tablas

Tabla 1 Producción Nacional de Cacao Año 2023 principales Departamentos	21
Tabla 2 Características genotipo ICS 39	34
Tabla 3 Resultados Polifenoles Totales	58
Tabla 4 Diferencias Significativas Durante la Fermentación y Secado	61

Lista de Figuras

Figura 1 Distribución geográfica de las principales variedades de cacao.....	17
Figura 2 Departamentos productores de cacao	20
Figura 3 Principales polifenoles en Cacao.....	26
Figura 4 Catequinas presentes en cacao	27
Figura 5 Evolución de los Polifenoles Totales Durante la Fermentación.....	28
Figura 6 Evolución de las Procianidinas Durante la Fermentación.....	29
Figura 7 Fruto de cacao genotipo ICS 39	33
Figura 8 Ubicación geográfica vereda Casiano – Municipio Floridablanca	37
Figura 9 Cajón de fermentación usado en la investigación	38
Figura 10 Termómetro TA612C monitoreo en la fermentación.....	39
Figura 11 Cosecha de cacao.....	41
Figura 12 Partido de fruto de cacao y desgranado.....	42
Figura 13 Fermentación cacao ICS 39 con uso de malla e instalación de termómetro para monitoreo de temperatura de la etapa	43
Figura 14 Frecuencia de volteos durante la fermentación	44
Figura 15 Secado del grano de cacao.....	45
Figura 16 Puntos de muestreo.....	47
Figura 17 Muestras de grano para análisis.....	48
Figura 18 Curva de calibración ácido gálico	49
Figura 19 Procedimiento de ensayo para Polifenoles Totales	52
Figura 20 Temperatura de Fermentación y Ambiente.....	54
Figura 21 Análisis de Varianza	59

Figura 22 Prueba de Tukey HDS	60
Figura 23 Evolución de los polifenoles totales	62

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao L.*) ha sido un cultivo fundamental tanto en términos económicos como culturales para diversas regiones tropicales del mundo. Su fruto, utilizado principalmente para la elaboración de chocolate, contiene una amplia gama de compuestos bioactivos, entre los que destacan los polifenoles. Estos compuestos fenólicos han sido ampliamente estudiados por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, cardioprotectoras y anticancerígenas; no obstante, autores como (Orbe et al., 2024) afirman que estos compuestos contribuyen al sabor amargo y astringente que constituyen el perfil de sabor del chocolate y que su presencia excesiva puede ser organolépticamente indeseable y se asocia a una fermentación insuficiente.

El mercado mundial del cacao ha experimentado un notable crecimiento y diversificación en los últimos años, con una creciente demanda de cacao de calidad superior. Sin embargo, el sector del cacao se enfrenta desde hace tiempo a importantes retos debido a la ausencia de estandarización en los procesos de beneficio y especificaciones consensuadas para evaluar la calidad del grano. Estas deficiencias dificultan la comunicación eficaz entre productores y compradores, y afectan especialmente a los agricultores de los países en desarrollo que se esfuerzan por vender un cacao de calidad superior merecedor de precios superiores. Para resolver estos problemas y satisfacer las necesidades cambiantes de los consumidores, es fundamental establecer métodos fiables y normalizados para los procesos de poscosecha del cacao, así como de evaluación de la calidad y el sabor del cacao. (Cacao de Excelencia., 2023)

Para AGROSAVIA (2023), la calidad del cacao en Colombia se está perdiendo en el proceso de cosecha y beneficio en la mayoría de los casos, los días siguientes a la recolección son fundamentales para mantener o acabar con la calidad que tiene el producto, un mal beneficio,

mala fermentación, el secado, almacenamiento y transporte en condiciones no adecuadas, exposición del cacao a cualquier tipo de contaminación; hacen perder la calidad y el aroma que ha logrado construir el árbol en campo como respuesta a las condiciones en las que esté establecido.

El contenido de polifenoles en el cacao varía significativamente dependiendo de diversos factores, incluyendo la variedad genética, las condiciones de cultivo, las prácticas poscosecha y los procesos de transformación. La fermentación y el secado son etapas cruciales en la poscosecha del cacao, que influyen en el desarrollo del sabor y aroma característicos del chocolate, así como en la concentración de compuestos bioactivos.

El genotipo de cacao ICS 39 (Imperial College Selections) ha sido identificado como una variedad promisoría por su alto potencial productivo y calidad sensorial, pero existe poca información detallada sobre el efecto de las prácticas de fermentación y secado en su contenido de polifenoles totales dada la creciente demanda de cacaos finos y de aroma. En este contexto, la investigación evaluó el efecto del tiempo de fermentación y el proceso de secado sobre el contenido de polifenoles totales en el cacao ICS 39, con el objetivo de contribuir a la optimización de las prácticas poscosecha y la obtención de granos de alta calidad con valor agregado.

Marco Teórico y Contextual

Generalidades del Cacao

El cacao, según la Organización Internacional del Cacao (ICCO, 2024a), su origen se remonta a millones de años en América del Sur, al este de los Andes. Dentro del género *Theobroma*, que incluye veintidós especies, *T. cacao* es la más conocida y valorada. Evidencias arqueológicas recientes halladas en el sur de Ecuador sugieren que los granos de cacao ya se utilizaban hace más de 5,300 años por las poblaciones nativas, mucho antes de que el árbol fuera domesticado. Desde entonces, las semillas de *T. cacao* han sido empleadas por varias civilizaciones precolombinas, como los mayas, los incas y los aztecas, quienes habitaron las regiones que hoy corresponden a México, Guatemala, Honduras, Perú, Ecuador, Colombia, Bolivia y el sur de México. Estas civilizaciones utilizaban los granos de cacao no solo como ingrediente alimentario (en bebidas, mezclado con harina de maíz y especias), sino también como moneda de cambio y en rituales.

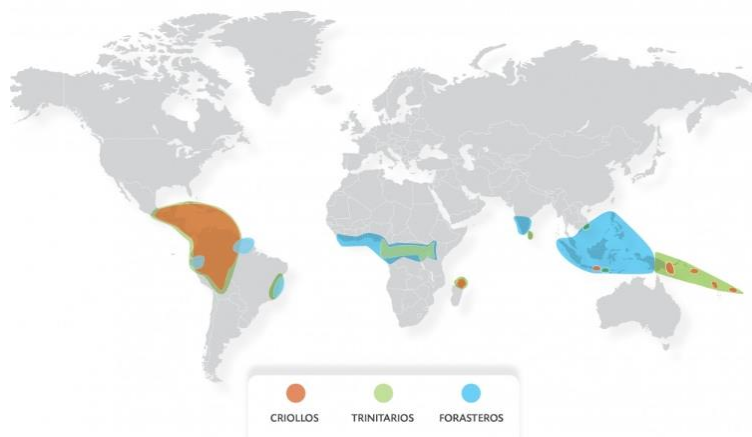
El primer europeo en probar el chocolate fue Cristóbal Colón, quien llegó a Nicaragua en 1502 en busca de una ruta marítima hacia las especias del Oriente. Sin embargo, fue Hernán Cortés, líder de una expedición al imperio azteca en 1519, quien llevó la receta del *xocoatl* (bebida de chocolate) a España en 1528. Inicialmente, la bebida no fue bien recibida, pero con la adición de azúcar, se convirtió en una bebida popular en las cortes españolas y, gradualmente, en otras cortes europeas. Para satisfacer la creciente demanda europea, el cultivo del cacao se extendió lentamente durante el período de colonización a las tres principales regiones productoras de cacao que conocemos hoy en día: Asia, África y América Latina y el Caribe.

La clasificación histórica del cacao distingue tres tipos principales: Forastero, Criollo y Trinitario. Sin embargo, investigaciones recientes han propuesto una clasificación más precisa

que agrupa el cacao en diez categorías: Amelonado, Cacao Criollo, Nacional, Contamana, Curaray, Cacao Guiana, Iquitos, Marañón, Nanay y Purús, considerando mejor sus diferencias y similitudes morfo-geográficas y genómicas. El Criollo dominó el mercado hasta mediados del siglo XVIII, aunque hoy en día quedan pocos árboles puros de esta variedad. El Forastero, que incluye poblaciones cultivadas, semi-salvajes y salvajes, es la variedad más extendida, con el Amelonado como su subgrupo más plantado en Brasil y África Occidental. Dentro del Amelonado se encuentran variedades como Comum en Brasil, West African Amelonado en África, Cacao Nacional en Ecuador, y Matina o Ceylan en Costa Rica y México. Recientemente, se han utilizado híbridos del Alto Amazonas en grandes plantaciones alrededor del mundo. El Trinitario, considerado parte del grupo Forastero pero descendiente de un cruce entre Criollo y Forastero, se originó en Trinidad y se ha extendido a países como Venezuela, Ecuador, Camerún, Samoa, Sri Lanka, Java y Papúa Nueva Guinea.

Figura 1

Distribución geográfica de las principales variedades de cacao en el mundo



Fuente. (ICCO, 2024a)

Producción Nacional e Internacional

Existe una diferencia entre el cacao ordinario, que representa el 95% de la producción mundial, el cual proviene de las variedades forastero, cultivado principalmente en África y Asia y el cacao fino y de aroma que proviene de las variedades criollo o trinitario que representa un 5% de la producción mundial. Según el último reporte de la Organización Internacional del Cacao, la producción mundial de cacao se encuentra distribuida así: África provee el 70%, Américas 23, 6%, Asia y Oceanía 5,7%. (ICCO, 2024b)

La producción de cacao en Colombia ha tenido diversas etapas, subidas y declives en diferentes regiones. A comienzos del siglo XVI se establecieron cultivos en regiones que hoy corresponden al centro oriente y la parte norte del Valle y en el norte del departamento del Cauca, la producción de estos cultivares de cacaos criollos, se consideró de muy buena calidad y excelente aroma. Estos cultivares fueron el primer paso para que en Colombia se diera prioridad a los cacaos criollos y trinitarios, posteriormente se daría el cruce de criollos caribeños con forasteros amazónicos. Desafortunadamente después de superar muchas dificultades los cultivares de esta región del país, en el segundo tercio del siglo XX, no pudieron superar dos grandes problemas sanitarios, el hongo *Ceratocystis fimbriata* y la escoba de bruja, estos cultivos quedaron reducidos a su mínima expresión. Desde hace unos 25 años aproximadamente se empezó a promover el establecimiento de nuevos cultivares de cacao, utilizando la injertación o lo que se conoce como árboles clonados, procurando copiar la alta productividad de árboles con estas características y la resistencia de los patrones que han evidenciado dicha condición. Con estas mejoras tecnológicas incluidas recomendaciones de cultivo como: podas, manejo arquitectónico del árbol, reducción significativa de tamaño, establecimiento de riego, un buen plan de fertilización, uso adecuado del sombrero y manejo cultural para control de algunas

enfermedades e insectos, se pretende mejorar el promedio productivo del país que históricamente es de menos de 400 kilos por hectárea año, resultado que han logrado algunos pocos productores pero el promedio sigue siendo bajo comparado con otros países de la región. Algunos productores por otra parte están incursionando en hacer el manejo adecuado para salir al mercado con cacaos finos de sabor y aroma; existe un mercado específico que permite pagar precios justos por producto con estas condiciones (AGROSAVIA, 2023).

Según (Fedecacao, 2013b), en Colombia el cultivo de cacao se desarrolla en las zonas de Valles Interandinos Secos, la Zona Marginal Baja Cafetera, La Montaña Santandereana y el Bosque Húmedo Tropical. Cada una de estas zonas cuenta con condiciones de clima, topografía y suelos que las hace en mayor o menor medida aptas para el desarrollo del cultivo del cacao generando así algunas ventajas o desventajas frente a otras desde el punto de vista del potencial productivo y algunas prácticas de manejo.

Valles Interandinos Secos: áreas con topografía plana y altura inferior a 900 m.s.n.m comprende las áreas ubicadas en los departamentos de Huila, Valle de Cauca, Cauca, el sur del departamento del Tolima, Magdalena, Cesar, Guajira y Valle del Zulia. El cultivo requiere de riego y el desarrollo del fruto puede tomar 5 a 6 meses desde su floración a la cosecha.

Región Andina o Zona Marginal Baja Cafetera: comprende principalmente al Eje Cafetero, Suroeste antioqueño, Caldas y Risaralda. Áreas de topografía quebrada de las cordilleras con altitudes que varían entre 900 y 1200 m.s.n.m. temperaturas bajas y humedad hace que la formación de los frutos sea más lenta entre 6 a 7 meses.

Montaña Santandereana: incluye principalmente los departamentos de Santander y Norte de Santander, áreas cacaoteras de los municipios de San Vicente de Chucurí, Landázuri, El Playón y Rionegro, área de topografía quebrada, altura de zona entre 500 y 1000 m.s.n.m., el

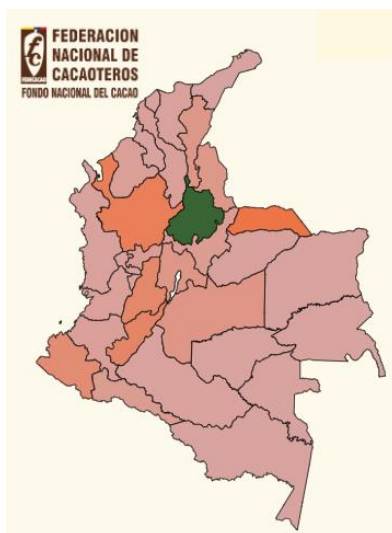
desarrollo del fruto toma entre 5 a 6 meses. Esta es la zona donde se encuentra la mayor área cacaotera del país.

Bosque Húmedo Tropical: comprende municipios de Arauquita, Tame Saravena y Fortul al igual a que a la región costera de Tumaco y parte de los departamentos de Guaviare y Meta, estas zonas se caracterizan por su alta precipitación y altura que no sobrepasa 500 m.s.n.m con suelos de topografía plana, la formación y maduración del fruto puede tomar entre 4 a 5 meses.

La producción de cacao en Colombia en el año 2023 reportó 59.831 toneladas, Santander se ubica en el primer lugar representando el 34% de la producción nacional como se representa en la figura 2 y tabla 1

Figura 2

Departamentos productores de cacao



Nota. Santander representa el primer productor de cacao en el país seguido Arauca, Antioquia y Huila. *Fuente* adaptado de Fedecacao (2024).

Tabla 1*Producción Nacional de Cacao Año 2023 principales Departamentos*

Departamento	Producción (t) 2023	% Participación nacional
Santander	20.603	34
Arauca	9.695	16
Antioquia	5.200	9
Huila	5.137	9
Nariño	3.874	6
Tolima	3.451	6
Meta	2.305	4
Cesar	1.822	3
Putumayo	1.685	3

Nota. Producción de cacao discriminada por departamentos que representan el 80% de la producción de cacao en Colombia 2023. *Fuente* adaptado de Fedecacao (2024).

La producción de cacao en Colombia se ha visto afectada por consecuencias climáticas, Fedecacao (2023), señala que la producción cacaotera presentó una reducción del 10% en 2022 (62.158 toneladas), con respecto a lo registrado en 2021 (69.040 toneladas) por motivo de lluvias en el territorio, no obstante; a pesar de la reducción interanual afirma que el subsector cacaotero mantiene su tendencia al alza en los últimos diez años al pasar de 41.670 toneladas en 2012 a 62.158 toneladas en 2022 (+49,1%).

El cacao de colombiano se ha caracterizado por su calidad, el pasado 8 de febrero de 2024; Colombia fue galardonado como el mejor cacao del mundo en el evento desarrollado en

Ámsterdam, en el concurso internacional Cacao of Excellence, otorgando la categoría ORO obtenido por en el departamento del Meta por cooperativa WORKAKAO. (Fedecacao, 2024).

Cosecha y Poscosecha del Cacao

Proceso que por algunos autores es denominado también como beneficio del cacao y que corresponde al conjunto de prácticas interrelacionadas que tienen que ver con la transformación biológica que deben sufrir las almendras una vez cosechadas y que permiten la expresión de su potencial de calidad. Sólo así serán aceptadas y valoradas por los procesadores de la industria chocolatera. El beneficio comprende: cosecha, fermentación, secado, clasificación y almacenamiento. Los objetivos del beneficio se pueden resumir así: descomponer y remover el mucílago, acondicionar y facilitar las transformaciones bioquímicas que sufre el grano para desarrollar el sabor y aroma del chocolate y reducir el contenido de humedad para facilitar su almacenamiento.(Fedecacao, 2013a)

Cosecha

(Quintana & García, 2021) lo definen como la tarea de retirar los frutos del árbol cuando los mismos presentan cambios de color verde a distintas gamas de amarillo, hasta purpuras y rojos de acuerdo con el fenotipo cultivado. (Pérez & Contreras, 2017) recomiendan realizar la cosecha con tijeras de podar, desinfectadas y bien afiladas, haciendo el corte en el pedúnculo hacia la parte más cercana posible del fruto. En caso de que los frutos se encuentren muy altos se puede usar una horquilla o podón, teniendo siempre cuidados con el cojín floral.

Fermentación

Etapa que consiste en una vez realizada la extracción de los granos del fruto, se colocan en diversos recipientes que van desde canastas a cajones de madera, en condiciones apropiadas

para que se den transformaciones físicas y químicas que se generan por los subproductos de la fermentación y que ingresan al grano de cacao para el mejoramiento de sus características sensoriales.(Quintana & García, 2021)

(Nazaré et al., 2017), destacan la fermentación del cacao como un paso muy importante en el desarrollo de los precursores del sabor del cacao. Mencionan que, durante la fermentación, los granos de cacao están expuestos a la acción de varios microorganismos y enzimas que actúan sobre los carbohidratos, proteínas, lípidos y compuestos fenólicos, lo que puede determinar la calidad del chocolate y los productos a base de cacao.

Las levaduras y las bacterias del ácido láctico inician el proceso de fermentación degradando los azúcares de la pulpa y convirtiéndolos principalmente en etanol. Este proceso exotérmico aumenta la temperatura de la masa de cacao y la tensión de oxígeno, produciendo ácido acético a partir del etanol. Durante este proceso, el pH disminuye y la acidez titulable aumenta, además, genera la muerte del embrión y la ruptura de la pared celular por el efecto del etanol y el ácido acético. También hay una disminución del amargor y la astringencia de los granos de cacao causada por una disminución del contenido fenólico debido a la actividad de la fenoloxidasa. (Cortez et al., 2023).

(Castro-alayo et al., 2023), coinciden afirmando que la interacción entre levaduras, bacterias y enzimas endógenas regula el amargor y la astringencia del grano de cacao fermentado y definen las fases de la fermentación con el crecimiento de las levaduras al inicio de la fermentación, transformando los azúcares fermentables en etanol y ácido láctico junto con las bacterias del ácido láctico (LAB). Posteriormente, la aireación y la tensión de oxígeno aumentan, y las bacterias productoras de ácido acético (AAB) crean un ambiente cálido y ácido para la proteólisis y la formación de precursores del sabor, Además, se producen cambios fisicoquímicos

como el aumento de la temperatura y la variación del pH, así como la difusión de metabolitos a los granos como la difusión de etanol y ácidos orgánicos al cotiledón. Este etanol y ácidos orgánicos son los principales productos de la actividad microbiana que son responsables de generar metabolitos y fracciones volátiles de aroma durante la fermentación. El mismo autor afirma que el aroma está regulado por la difusión de compuestos como el ácido acético y el ácido láctico y el etanol que degradan los flavonoides y por el proceso espontáneo de actividades microbianas y bioquímicas que produce metabolitos determinantes de la calidad y compuestos aromáticos.

La fermentación tarda de 4 a 7 días, dependiendo de la variedad de cacao. Este proceso se denomina convencionalmente fermentación espontánea y lo llevan a cabo los productores de cacao como un bioproceso no controlado y no industrializado que, si se prolonga, puede producir sabores desagradables debido al aumento de bacilos y hongos filamentosos que afectaran la calidad de los subproductos obtenidos.

Polifenoles en el Cacao

Los polifenoles son productos del metabolismo secundario de las plantas, se caracterizan por su capacidad antioxidante. Sus anillos aromáticos con sustituyentes hidroxilos les brindan una estructura especialmente adecuada para ejercer una acción antioxidante al poder actuar como donadores de hidrógenos o electrones o servir como atrapadores de radicales libres. Los polifenoles en los granos de cacao se almacenan en las células pigmentarias de los cotiledones. Dependiendo de la cantidad de antocianinas, esas células pigmentarias, también llamadas células de almacenamiento de polifenoles, son de color blanco a púrpura intenso. Esta característica hace que el cacao y sus derivados llamen la atención de los consumidores ya que se han relacionado sus efectos beneficiosos en la salud como la disminución del riesgo de enfermedades

cardiovasculares por su capacidad de controlar reacciones clave implicadas en la oxidación de las LDL o de daños oxidativos del ADN.

La concentración de polifenoles en las semillas de cacao secas y libres de grasa oscila entre el 15-20% (p/p). Se distinguen tres grupos de polifenoles: las antocianinas (aprox. 4%), catequinas o flaván-3-oles (aprox. 37%) y procianidinas (aprox. 58%).

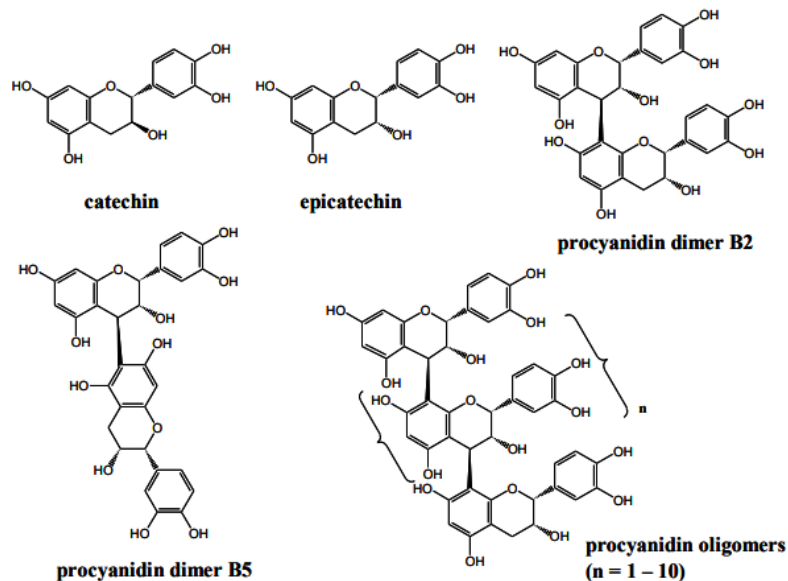
Antocianinas

Son pigmentos hidrosolubles con características de glicósidos, están constituidas por una molécula de antocianidina, que es la aglicona, a la que se le une un azúcar por medio de un enlace β -glicosídico, y en algunos casos por un enlace α -glicosídico. El color de las antocianinas está distribuido en una gama de tonalidades que va desde el rojo hasta el azul dependiendo de la estructura de la molécula y el pH del medio.

Procianidinas

Son en su mayoría flavan-3,4-dioles, que forman dímeros, trímeros condensados u oligómeros de epicatequina como la extensión principal. Se caracteriza por ser sustancias capaces de dar combinaciones estables con las proteínas y con otros polímeros como polisacáridos.

Para (Andruszkiewicz et al., 2019) los polifenoles en cacao consisten principalmente en los flavan-3-oles epicatequina, catequina y procianidinas oligoméricas y poliméricas. La figura 3 representa la estructura de los principales polifenoles encontrados en *Theobroma cacao*.

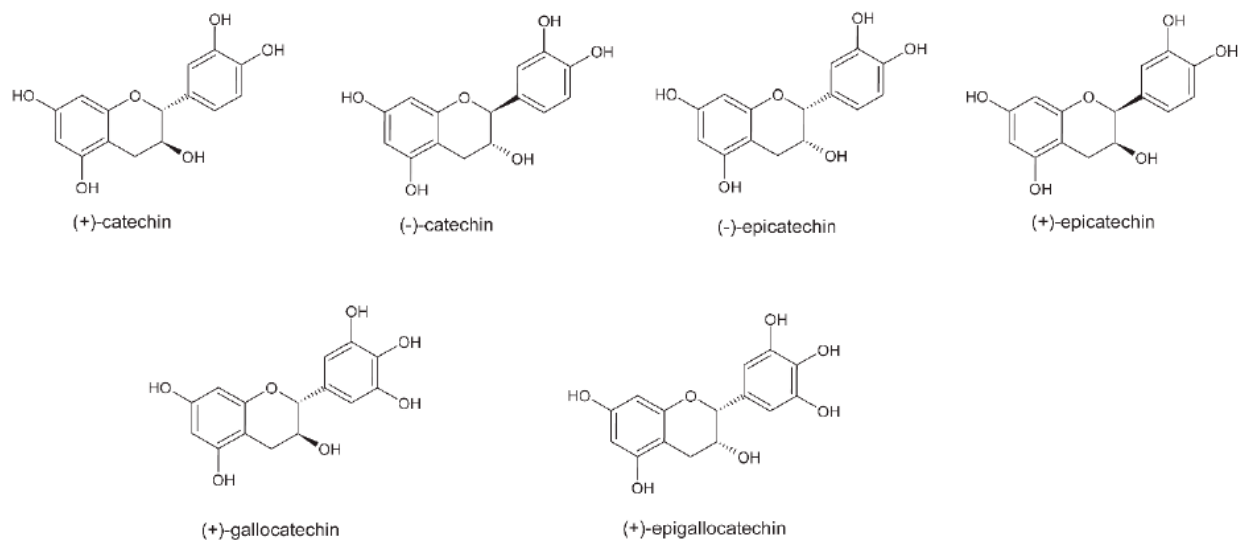
Figura 3*Principales polifenoles en Cacao*

Fuente (Barišic et al., 2019)

El cacao es conocido por ser rico en polifenoles, los granos de cacao sin fermentar contienen entre un 12% y un 18% de polifenoles del peso seco de los granos en promedio. Los polifenoles del cacao consisten aproximadamente en un 37% de flavonoles, un 4% de antocianinas y un 58% de proantocianidinas. Estos compuestos se almacenan en células polifenólicas en los granos sin fermentar. En esta forma, confieren un color blanco a morado profundo a los granos sin fermentar. Las catequinas constituyen aproximadamente entre un 29% y un 38% del total de polifenoles. En el cacao y el chocolate, están representadas por (-)-epicatequina, (+)-catequina, (+)-galocatequina y (-)-epigalocatequina. La (-)-epicatequina representa hasta un 35% del total de polifenoles. Son esenciales para el sabor y el desarrollo del color de los granos. (Barišic et al., 2019)

Figura 4

Catequinas presentes en cacao



Fuente (Barišić et al., 2019)

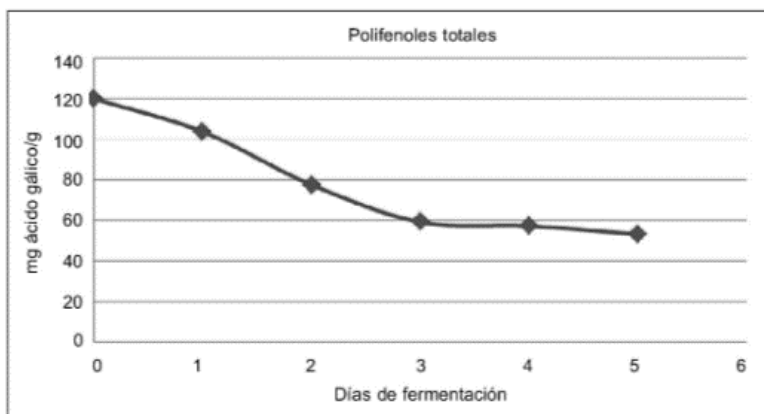
Polifenoles en la Fermentación

Durante la fermentación, las células polifenólicas se destruyen y los polifenoles exudan de las células. Durante la fermentación, ocurre una oxidación aeróbica de los polifenoles. Esta reacción es llevada a cabo por la polifenoloxidas que se libera debido a cambios en los cotiledones afectados por la fermentación. Los resultados de este proceso son la reducción de sabor amargo, la astringencia y el aumento del color marrón. Durante la oxidación los polifenoles reaccionan con proteínas y se convierten en formas insolubles. El contenido de catequina disminuye principalmente durante la fermentación (más del 90% del contenido inicial). Dada la disminución del contenido de antocianinas durante la fermentación es significativa se considera como un buen índice de fermentación.

En un proceso de fermentación correctamente realizado (Teneda Llerena & Teneda Espín, 2020) afirman que la concentración de polifenoles totales en los granos de cacao se reduce en un 40% o más.

Figura 5

Evolución de los Polifenoles Totales Durante la Fermentación



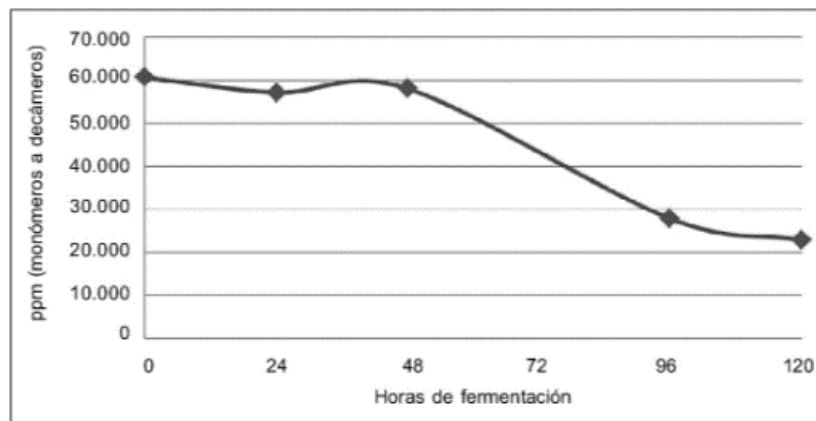
Fuente: (Teneda Llerena & Teneda Espín, 2020)

Las procianidinas, desde las formas monómeras hasta los decámeros, disminuyen durante la fermentación; su mayor decrecimiento se produce a partir del segundo día de fermentación y llegan a disminuir en un 54% hasta el cuarto día de fermentación.

Las antocianinas suelen desaparecer rápidamente durante el proceso de fermentación que se evidencia con la pérdida del color púrpura, el cual disminuye en un 93% después de 4 días de fermentación.

Figura 6

Evolución de las Procianidinas Durante la Fermentación



Fuente: (Teneda Llerena & Teneda Espín, 2020)

Para (Gil et al., 2021), el contenido de polifenoles en cacao fresco, depende de la ubicación geográfica incluso si las mismas variedades se cultivan en diferentes regiones, la variedad genética, la región de cultivo, el nivel de madurez en la cosecha, las condiciones climáticas durante el crecimiento.

Secado

Consiste en la reducción de humedad mediante secado natural o artificial. El cacao recién sacado del cajón puede tener una humedad cercana al 65%, la cual debe ser disminuida hasta un rango del 6,5 a 7,0 %. De este modo, los microorganismos no encuentran un medio en el cual desarrollarse y las distintas enzimas existentes en el interior del grano se desactivan, con lo cual el cacao ya seco puede almacenarse de manera segura. (Pérez & Contreras, 2017)

En el secado también disminuye en contenido de polifenoles en los granos. Esta reducción es catalizada por la enzima polifenoloxidasas después del cual surgen nuevos

compuestos aromáticos junto con la formación del color marrón y se reduce la amargura y astringencia del grano.

(Alean et al., 2016) afirman que, durante el proceso de secado, continúan las reacciones de oxidación que se iniciaron en la fermentación. Además, se producen reacciones que degradan los polifenoles; así como el ácido acético se evapora, se forman pigmentos debido a la condensación de quinonas y se presenta la síntesis de aldehídos. Establecen también que, para favorecer las reacciones responsables del sabor y aroma, el proceso de secado debe llevarse a cabo lentamente a una temperatura controlada. Cuando hay temperaturas por debajo de 60 °C, se obtiene buena calidad en el cacao.

Objetivos

Objetivo General

Determinar el impacto de la fermentación estandarizada y proceso de secado sobre el contenido de polifenoles totales en el genotipo de cacao ICS 39.

Objetivos Específicos

Monitorear el proceso de fermentación de la variedad de cacao ICS 39 mediante el seguimiento del parámetro temperatura de fermentación y estandarización de los volteos de la masa de fermentación.

Evaluar los cambios en el contenido de polifenoles totales durante la etapa de fermentación hasta la obtención del grano seco.

Analizar el impacto del contenido de polifenoles sobre la calidad del grano seco.

Materiales y Métodos

La investigación realizada es de tipo descriptiva según lo define Bernal (2016), es el tipo de investigación en la cual se reseñan las características o rasgos de la situación o fenómeno objeto de estudio y su función principal es la capacidad de seleccionar las características fundamentales del objeto de estudio y su descripción detallada de las partes, categorías o clases de ese objeto. El desarrollo metodológico inició desde la cosecha de los frutos de cacao en la unidad de producción, proceso de beneficio incluyendo la etapa de fermentación en cajón de madera, en la cual se realizó seguimiento al parámetro temperatura de la masa de fermentación y estandarización de los volteos para el favorecimiento de la fermentación aerobia, finalizando con el secado del grano con método al sol mediante uso de marquesina. Durante la etapa de fermentación y hasta la obtención de grano seco, se realizó muestreo del grano en los puntos definidos según la figura 16 para análisis y cuantificación de polifenoles totales.

Diseño Experimental

La cuantificación de polifenoles totales mediante análisis de ensayo se realizó durante las horas de fermentación 0, 48, 72, 144 y cacao seco mediante el método colorimétrico Folin-Ciocalteu. Los resultados cuantitativos obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico de varianza por ANOVA de un factor a fin de comparar el contenido de polifenoles entre las diferentes etapas de fermentación y secado y prueba de comparación múltiple de TUKEY para la evaluación de las diferencias significativas nivel $\alpha = 0.05$. El análisis de los datos obtenidos en el monitoreo de temperatura de fermentación y contenido de polifenoles totales se procesaron usando el software Excel con la instalación del paquete estadístico complementario Real Statistics Excel, versión Microsoft 365.

Material Vegetal

La variedad de cacao objeto de investigación corresponde al genotipo ICS 39 (Imperial College Selctions), producto agrícola cosechado entre los meses noviembre de 2023 y mayo de 2024.

Las características del material vegetal ICS 39 referente a su origen, características del fruto, características químicas del grano, contenido de ácidos grasos, características de las hojas del árbol de cacao, características de la flor, sustancias funcionales y perfil sensorial se definen en la tabla 2. La figura 7 presenta la imagen del fruto de cacao en su cultivo.

Genotipo ICS 39 (Imperial College Selections)

Figura 7

Fruto de cacao genotipo ICS 39



Nota. La imagen representa el cultivo de cacao y su fruto en estado óptimo de maduración (amarilla) y otros frutos en estado verde. *Fuente.* El autor (2025).

Tabla 2*Características genotipo ICS 39*

Características generales	
Origen	Trinidad
Seleccionado por (año)	J.F. Pound (1931)
Pedigrí	Híbrido de Trinitario x Criollo
Rendimiento (kg/ha/año)	1.598
Índice de mazorca (IM)	12
índice de grano (IG)	2,3
Compatibilidad	AI
% Intercompatibilidad (♀)	75
Reacción artificial a Monilia	S
Características del fruto	
Color inmaduro	Verde intermedio
Color maduro	Amarillo
Forma	Obolongo
Forma del ápice	Agudo
Rugosidad	Intermedia
Longitud (cm)	23,9 ± 0,38
Diámetro (cm)	10,6 ± 0,22
Relación L/D	2,3 ± 0,03
Peso (g)	914,4 ± 52,31
Características Químicas	

% Grasa	58,5 ± 0,23
% Fibra	4,3 ± 0,02
% Proteína	11,7 ± 0,16

Características de las semillas

Color Predominante	Morado
Peso húmedo/Fruto (g)	218,5 ± 11,35
Semilla/Fruto	39,1 ± 1,75
Longitud (mm)	28,2 ± 0,29
Diámetro (mm)	17,2 ± 0,16
Grosor (mm)	12,0 ± 0,18
% cascarilla	11,5 ± 0,63

Contenido de ácidos grasos

% Esteárico	35,5 ± 0,05
% oleico	32,9 ± 0,06
% Palmítico	26,0 ± 0,12
% Linoleíco	3,1 ± 0,00

Características de las hojas

Longitud (cm)	37,5 ± 1,48
Ancho (cm)	13,3 ± 0,43
Relación Largo/Ancho	2,8 ± 0,07
Longitud de base al punto más ancho	20,0 ± 0,99
Forma	Ovada
Forma del ápice	Acuminado corto

Forma de la base	Obtuso
Color del brote terminal	Rojo brillante

Características de la flor

Longitud del estaminodio (mm)	6,5 ± 0,30
Longitud del ovario (mm)	1,7 ± 0,10
Longitud del estilo (mm)	1,7 ± 0,10
Número de óvulos por ovario	40,8 ± 1,66
Color de la flor	Crema
Antocianina en sépalos	Ligera
Color del pedúnculo	Rojizo
Antocianina en el limbo del pétalo	Ausente

Sustancias funcionales

Polifenoles totales (mg EAG/g muestra seca)	74,5 ± 2,66
Cafeína (mg/g muestra seca)	4,2 ± 0,44
Teobromina (mg/g muestra seca)	11,8 ± 0,88
Relación Teobromina/cafeína	3,0 ± 0,36

Características organolépticas

El perfil sensorial ICS 39, aroma ácido, color café medio, sabor de fruta
ácida que perdura hasta el final y sabor bajo a cacao, pero sostenido.

Presenta notas bajas de caramelo y nuez

Nota. Se describen características del genotipo de cacao ICS 39 como su origen, características del fruto, características químicas del grano, contenido de ácidos grasos, características de las

hojas del árbol de cacao, características de la flor, sustancias funcionales y perfil sensorial.

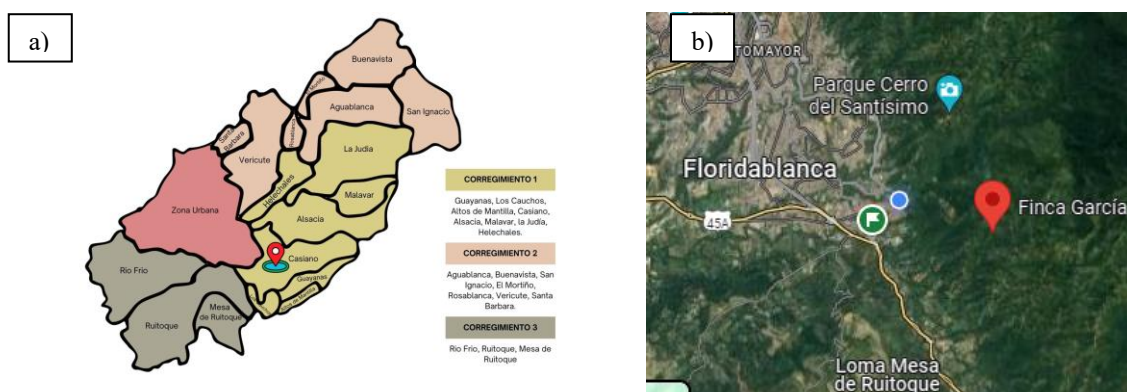
Fuente. Adaptado de (A. Perea et al., 2013).

Localización y Acceso

Las pruebas de fermentación y secado del cacao se realizaron en la unidad de producción de la finca García ubicada en la vereda Casiano del municipio de Floridablanca, departamento de Santander; Colombia. En la figura 8 se presenta su ubicación geográfica, Latitud: 7°03'34.1"N, longitud: 73°03'33.8"W, metros sobre el nivel del mar: 1.367 msnm.

Figura 8

Ubicación geográfica vereda Casiano – Municipio Floridablanca



Nota. a). Mapa municipio Floridablanca zona urbana y veredas b). Ubicación finca García.

Fuente. El autor, adaptado de (Alcaldía de Floridablanca, 2003), (*Google Maps*, n.d.)

Instrumentos y equipos

Cajón de Fermentación

La fermentación del cacao fue realizada con el método de cajón de madera construido con madera de pardillo incluyendo su tapa, su estructura cuenta con dos compartimientos internos para facilitar el volteo manual del grano durante su fermentación y con dimensiones;

alto 0,55m, largo 0,52 m, ancho 0,72 m, capacidad de fermentación para 180 kg de cacao fresco para obtener 68 kg de cacao seco aproximadamente. La Figura 9 representa el método de fermentación empleado en esta investigación. La selección del método se basó en el tipo de fermentación utilizado por el productor y en lo reportado por (Quitana Fuentes, 2018) donde se menciona que en el año 2016 en el desarrollo del proyecto SANCACAO ejecutado entre la cámara de comercio de Bucaramanga y Fedecacao se estableció en una población de 500 familias productoras de cinco municipios de Santander (San Vicente de Chucuri, El Carmen de Chucuri, El Playón, Landázuri y Rionegro) que la técnica de fermentación más utilizada es el cajón fermentador con un 77% en promedio, seguido del uso de costales con un 21% y el uso de barril con un 1,7%.

Figura 9

Cajón de fermentación usado en la investigación



Nota. a). Cajón de madera de fermentación b). Interior cajón de madera, orificios de apertura para la extracción de mucílago c). Dimensiones cajón de fermentación *Fuente.* El autor (2025).

Equipo de Monitoreo de Temperatura

El seguimiento a la temperatura durante la etapa de fermentación se realizó con el dispositivo termómetro modelo TA612C que cuenta con 4 canales para sensores de temperatura para su ubicación en diferentes puntos de la masa de fermentación, cuenta con características de rango de temperatura entre -200°C a 1372°C , almacenamiento de datos hasta 5000 tomas, carga y descarga de datos y medición en tiempo real mediante la función de conexión a PC a través del programa *EnvironmentalTester* en el cual se visualizan las hojas de datos y gráfico de datos, permite así mismo la programación de la frecuencia en la toma de datos, la cual fue definida para su registro cada minuto durante la etapa de fermentación. Los datos de temperatura son visualizados en tiempo real en la pantalla del equipo y para su funcionamiento requiere de la instalación de baterías AA (LR06) 1.5V que permiten autonomía del equipo hasta por 8 días con funcionamiento las 24 horas. En la figura 10 se presenta el equipo termómetro utilizado en el monitoreo de la temperatura de fermentación del cacao.

Figura 10

Termómetro TA612C monitoreo en la fermentación



Nota. Termómetro digital para monitoreo de temperatura, cuatro sensores de medición. *Fuente.*

El autor (2025).

Cosecha y Beneficio del Cacao

La cosecha del cacao es la actividad de retirar los frutos del árbol una vez alcanzan su estado óptimo de maduración, el beneficio del cacao comprende aquellas operaciones que se realizan al grano después de su cosecha. Para el desarrollo de la investigación se adoptó la metodología reportada por los autores (Compañía Nacional de Chocolates, 2019; Quintana & García, 2021).

Cosecha de Cacao

Se realizó la cosecha de los frutos de cacao siguiendo los aspectos para la cosecha de los frutos, los cuales se deben cosechar cuando han llegado a su madurez fisiológica, entre los 5 a 6 meses después de su floración, la maduración óptima para variedades con frutos verdes como es el material ICS 39, se torna de color amarillo como se ilustra en la figura 11 y los frutos rojos o vino tinto se tornan rojo intenso o anaranjados; esta característica influye en la calidad final del grano toda vez que cosechar frutos verdes o inmaduros producen sabores astringentes y amargos no deseados afectando las sus características sensoriales. La cosecha se realiza con uso de la herramienta tijera podadora manual, cortando adecuadamente en la base del péndulo sin afectar los cojines florales del árbol.

Es preciso mencionar que la unidad de producción en la cual se realizó la investigación produce dos variedades de cacao, ICS 39 y CCN 51, la cosecha y poscosecha se realizó incluyendo los dos materiales como es realizado cotidianamente por su productor y para efectos del análisis al genotipo ICS 39 se realizó mediante el uso de fermentación aislada en malla como se describe el apartado de fermentación.

La figura 11 evidencia la cosecha de los frutos de cacao dispuestas en el área de beneficio para su proceso poscosecha.

Figura 11*Cosecha de cacao*

Nota. Frutos de cacao variedades ICS 39 de color amarillo y variedad CCN 51 de color naranja.

Fuente. El autor.

Partido de Cacao y Desgranado

El cacao cosechado se dispuso en el área de beneficio y al día siguiente a su cosecha, se realizó la selección de los frutos sanos y en estado óptimo de maduración, realizando corte longitudinal con uso de machete, evitando daños por corte a las almendras, esta actividad permite eliminar parte de la cáscara que permita extraer las almendras de manera manual sin incluir la placenta o vena central. La figura 12 ilustra la actividad de partido del fruto para obtener las almendras frescas de cacao.

Figura 12*Partido de fruto de cacao y desgranado*

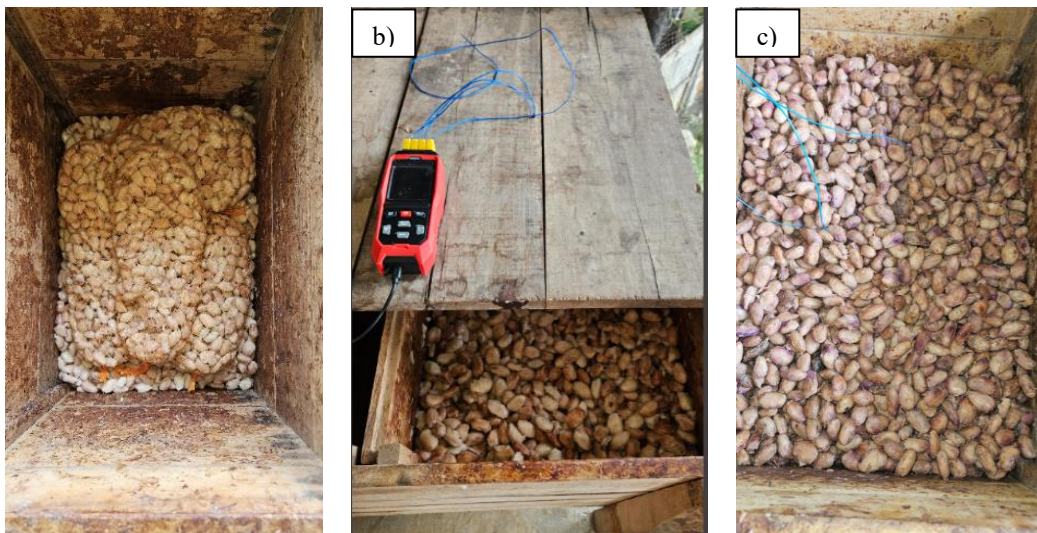
Fuente. El autor (2025).

Fermentación

Las almendras de cacao fresco fueron dispuestas en el cajón fermentador de madera. Para cada replica de fermentación, se realizó la selección de 10 kg de granos de cacao fresco de la variedad ICS 39 y se asignaron en mallas plásticas de polipropileno, lo que permitió aislar el genotipo de estudio para su posterior muestreo y análisis, conservando las condiciones de fermentación del total del lote en fermentación que correspondía a la mezcla del genotipo ICS 39 y CCN 51 como se realiza cotidianamente por el productor. La figura 13 representa la fermentación del grano con el uso de mallas plásticas para su aislamiento, así como la instalación del equipo de monitoreo de temperatura en la masa de fermentación.

Figura 13

Fermentación cacao ICS 39 con uso de malla e instalación de termómetro para monitoreo de temperatura de la etapa



Nota. a) Masa de fermentación con uso de malla para aislamiento de granos de cacao del genotipo ICS 39 b) Instalación equipo de monitoreo de temperatura de fermentación c) inicio etapa de fermentación. Fuente. El autor (2025).

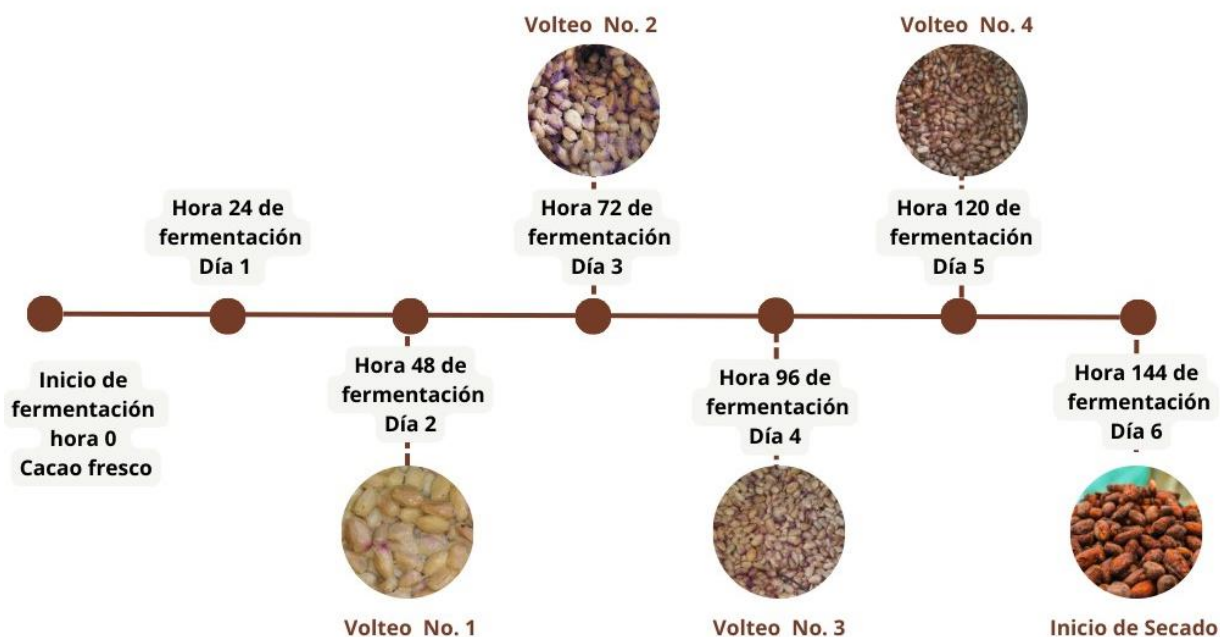
Para el seguimiento y monitoreo de la temperatura durante la fermentación se ubicaron tres (3) sensores de temperatura del equipo termómetro TA612C dentro de la masa de fermentación en la zona central y áreas cercanas a las paredes del cajón fermentador, al realizar los volteos se retiraban los sensores para ejecutar la actividad y posteriormente se ubicaban en las mismas zonas de la masa de fermentación. El cuarto sensor se ubicó en el ambiente como control adicional. El monitoreo se mantuvo durante los 6 días de fermentación (144 horas), para los tres procesos (replicas) de fermentación.

Frecuencia de Volteos en la Etapa de Fermentación

La frecuencia de volteos en la etapa de fermentación, se realizaron siguiendo la metodología reportada por los autores (Cubillos et al., 2008; Laura et al., 2021) realizando el primer volteo a las 48 horas y después cada 24 horas hasta terminar el proceso de fermentación que comprende 6 días (144 horas). La figura 14 ilustra la metodología usada para los volteos del cacao durante su fermentación, el primero al cumplirse la 48 horas de fermentación, y continuando cada 24 horas, es decir, a las 72, 96 y 120 horas, representando en total 4 volteos de la masa de fermentación la cual se realizó de manera manual haciendo uso de una pala de madera, esta actividad tomaba alrededor de 10 minutos en cada volteo.

Figura 14

Frecuencia de volteos durante la fermentación



Nota. Representación de los volteos en la línea de tiempo de la etapa de fermentación Fuente. El autor (2025).

Secado del Cacao

Al finalizar el día 6 de fermentación (144 horas), se realizó el traslado de los granos a la marquesina para el secado del grano con método natural al sol, realizando una capa menor a 2 cm para asegurar la uniformidad del secado del grano y realizando remoción con rastrillos de madera 2 veces al día, la etapa de secado tomó 7 días. Los granos fermentados ICS 39 aislados fueron secados en el mismo sistema de marquesina al sol cuidando de no mezclar con la variedad CCN 51, en un área alejada.

El punto óptimo para el secado de grano se realizó atendiendo la experiencia de productor en el cual se tomaba un puñado del grano seco generando presión se debe generar un sonido quebradizo al interior de los granos. Posteriormente se evaluó la humedad del grano en el laboratorio mediante el método de horno. La figura 15 muestra el método usado para el secado de grano en la investigación.

Figura 15

Secado del grano de cacao



Nota. Marquesina con base cemento y estructura plástica. *Fuente.* El autor (2025)

Muestreo de Cacao para Análisis

Las muestras para análisis fisicoquímico del grano correspondientes a determinación del contenido de humedad y al contenido de polifenoles totales se realizó durante la fase de fermentación del grano y al obtener el cacao seco.

La muestra numero 1 se realizó al cacao fresco, al obtener las almendras desgranadas a partir de los 10 kg seleccionados del genotipo ICS 39 se tomaron 300 g divididos en dos bolsas con 150g cada una correspondiente a la muestra y contramuestra de producto. La muestra 2 se obtuvo al completar 48 horas de fermentación en el momento de realizar el primer volteo se realizó el muestreo de 300 gramos de muestra divididos en dos bolsas, este procedimiento se realizó extrayendo granos de las 5 mallas (60 gramos de cada una) de fermentación aislada hasta completar la muestra y se cerraban nuevamente para la continuidad del proceso de fermentación. La muestra 3 y 4 se realizaron usando la misma técnica descrita para la muestra numero 2 con obtención al momento de los volteos. La muestra numero 5 se tomó del cacao seco correspondiente a la variedad ICS 39 tomando 300 g de grano divididos en dos bolsas con 150 g cada una correspondiente a la muestra y contramuestra. Este muestreo se realizó por triplicado en cada una de las réplicas de cosecha y poscosecha del grano.

La figura 16 representa los puntos de muestreo definidos para el análisis de humedad y polifenoles totales del grano de cacao.

Figura 16

Puntos de muestreo



Nota. Representación del muestreo en la línea de tiempo de fermentación y secado de grano

Fuente. El autor

Las muestras recolectadas de grano fresco, etapas de fermentación y grano seco fueron conservadas en bolsas de polietileno de baja densidad con sello hermético, en condiciones de congelación a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ buscando detener el proceso de fermentación de los granos hasta ser transportadas con gel packs en una cava isotérmica al laboratorio para el análisis de contenido de polifenoles totales. La figura 17 evidencia las muestras de grano dispuestas para análisis.

Figura 17

Muestras de grano para análisis



Nota. Muestras para análisis de las etapas definidas en la metodología: a) cacao fresco, b) 48 horas de fermentación, c) 96 horas de fermentación, d) 144 horas de fermentación y e) cacao seco. *Fuente.* El autor (2025).

Técnica de Análisis Polifenoles Totales

El análisis de polifenoles totales se realizó siguiendo la metodología de cuantificación colorimétrica Folin-Ciocalteu a 760 nm reportada por (Wollgast & Anklam, 2000), en el cual definen que es ampliamente utilizada para la cuantificación de *PT* por su simplicidad y alta sensibilidad.

Esta metodología, ha sido adoptada ampliamente para el análisis de polifenoles totales en cacao, (J. Perea et al., 2009), evaluó el contenido de polifenoles totales usando el método Folin-

Ciocalteu en derivados del cacao obtenidos bajo diferentes condiciones de procesamiento. Así mismo, (Penagos, 2019), evaluó el efecto de la relación masa de grano de cacao y volumen del cajón de fermentación sobre los cambios químicos dentro del grano de cacao relacionados con su calidad, incluyendo el análisis de polifenoles totales con esta metodología.

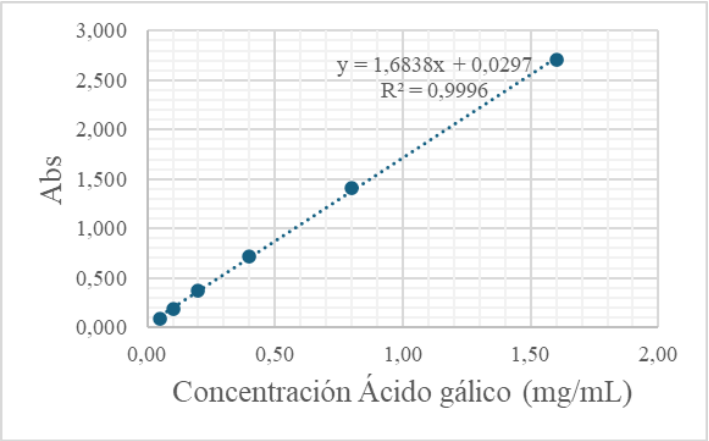
Los resultados de ensayo se expresan en mg de ácido gálico equivalente en mg por gramo de muestra seca, la curva de calibración se realizó obteniendo la absorbancia a 760 nm de diferentes concentraciones expresados en mg/mL con un blanco de reactivos (0,05; 0,10; 0,20; 0,40; 0,80; 1,60) de ácido gálico y se determinó la ecuación de la curva para estimar la concentración de las muestras a partir de la absorbancia ($y = 1,6838x + 0,0297$) y $R^2 = 0,9996$.

Figura 18

Curva de calibración ácido gálico

Ácido gálico (mg/mL)	Abs
0,00	0,000
0,05	0,093
0,10	0,187
0,20	0,372
0,40	0,718
0,80	1,406
1,60	2,706

Curva de calibración	
Pendiente (mg/mL)	1,6838
Intersección (Abs)	0,0297



Nota: Curva de calibración para estimar la absorbancia de diferentes concentraciones de ácido gálico. *Fuente:* El autor (2025).

La técnica de análisis se desarrolló siguiendo la metodología descrita por los autores (Arango, 2017; Camino, 2014; Chica, 2022; Cortez et al., 2023; Daza, 2023; Horta et al., 2019; Pallares et al., 2017; Penagos, 2019; J. Perea et al., 2009; Santacruz & Mantuano, 2021; Solarte, 2021; Wollgast & Anklam, 2000) y adaptada a las muestras de análisis como se describe:

Determinación del Contenido de Humedad

Con el fin de calcular el peso en base seca de las muestras analizadas, se realizaron las mediciones de humedad a los granos de cacao correspondientes a cada muestra. El contenido de humedad de los granos de cacao es convencionalmente, la pérdida de masa determinada por el método de horno se expresa como porcentaje de masa, el procedimiento se llevó a cabo siguiendo lo descrito por (Icontec, 2021).

Después de moler una fracción de la muestra de referencia con un molino formando partículas que no excedan los 5 mm y evitando que se forme una pasta, pesar en la cápsula una fracción de 10 g y llevar al horno ventilado a temperatura controlada de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante $16\text{ h} \pm 1$. Al finalizar el periodo se retira la capsula y se coloca en el desecador a temperatura ambiente durante 30 min a 40 min. Se realizan dos determinaciones.

El contenido de humedad de la muestra de referencia, expresado como fracción de masa se calcula con la formula

$$H = \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{m_1 - m_0}$$

Donde:

- H es el contenido de humedad, en %
- m_0 es la masa de la cápsula vacía con tapa, en g;
- m_1 es la masa de la cápsula con tapa y la fracción de muestra de ensayo antes del secado, en g;
- m_2 es la masa de la cápsula con tapa y la fracción de muestra de ensayo después del secado, en g.

Homogenización de la Muestra

Se tomaron 10 g de granos de cacao, se retiró la cascarilla y se realizó reducción de tamaño de partícula en mortero hasta lograr muestra molida o triturada.

Preparación del Extracto

Las muestras de cacao previamente homogenizadas se desengrasaron con *n*-hexano en baño ultrasónico, 10 g de cacao en 100 mL de *n*-hexano en un baño ultrasónico (LC 30H, Elma Ultrasonics, Singen, Alemania) por 15min a 30°C, a fin de separar las grasas debido a que los métodos espectrofotométricos para la determinación de polifenoles se ven afectados por estos compuestos que actúan como interferencias durante la medición.

Extracción de Polifenoles

La preparación del extracto se centrifugó (equipo Heraeus Megafuge 16R, Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachusetts, USA) a 3500rpm durante 15min a 25°C. Posteriormente se extrajeron sus polifenoles usando etanol/agua 80:20 a 60°C y agitación constante durante 15 minutos. Luego fue centrifugada y el sobrenadante se pasó a través de papel filtro de 10 µm.

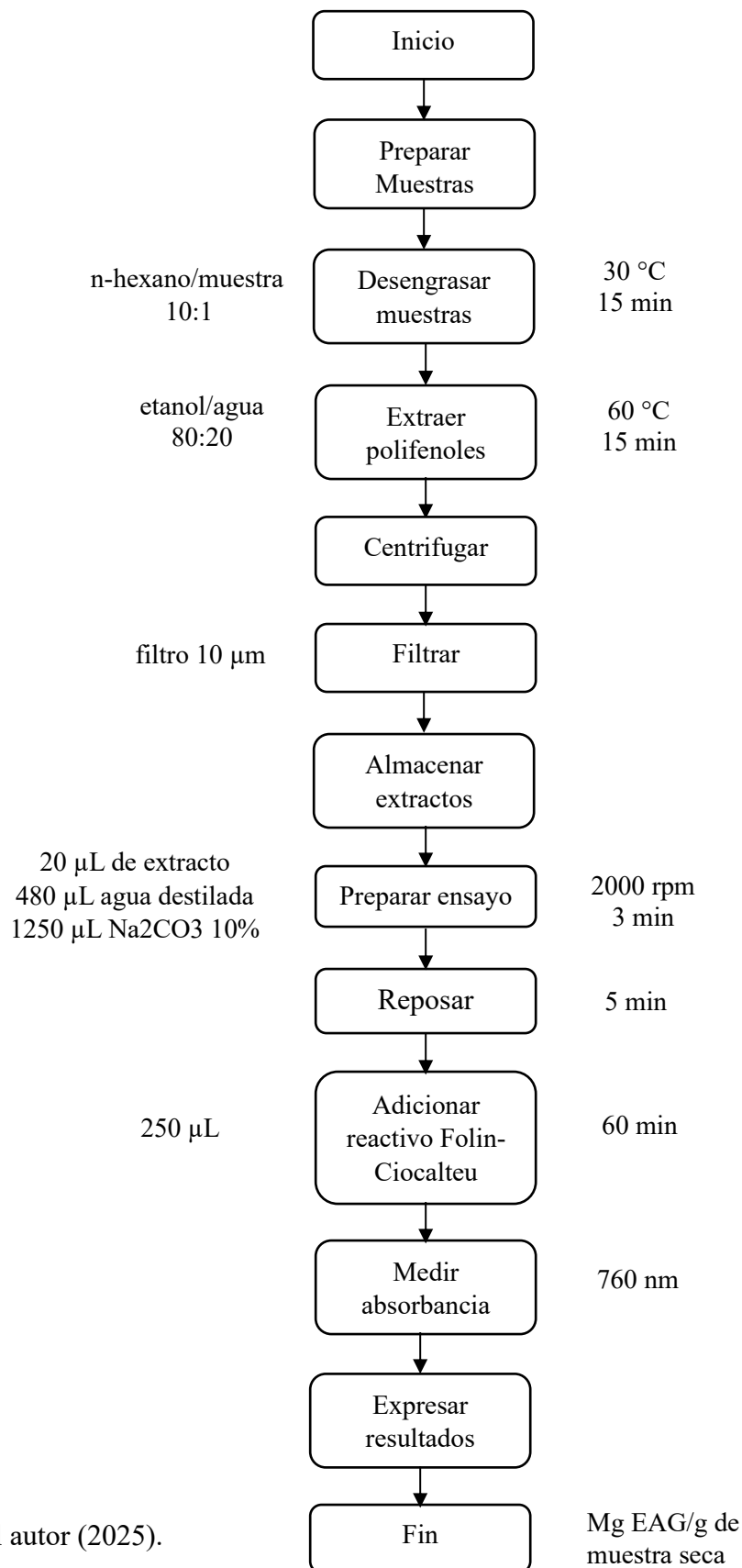
Los extractos obtenidos se almacenaron en frascos ámbar bajo refrigeración por un tiempo no superior a 5 días.

Ensayo Folin-Ciocalteu

El contenido de polifenoles totales de los extractos etanólicos se determinó mediante el ensayo de Folin-Ciocalteu, la reacción colorimétrica se desarrolló mezclando en tubo de ensayo 20 μL del extracto, 480 μL de agua destilada y 1250 μL de Na_2CO_3 en solución acuosa al 10% p/v; se agitó en vortex a 2000 rpm durante 3 min y posteriormente en reposo durante 5 min; luego se adicionaron 250 μL del reactivo Folin- Ciocalteu diluido 1:1 en agua destilada y se conservó en la oscuridad durante 60 min, en estas condiciones de reacción, los fenoles reducen el reactivo de Folin hasta una mezcla de óxidos azules de wolframio y molibdeno, cuya absorbancia es proporcional a la concentración de compuestos fenólicos. La solución se llevó a un espectrofotómetro UV-Vis (GENESYS 20, Thermo Spectronic, Waltham, Massachusetts, USA) y se leyó la absorbancia en la longitud de onda de 760 nm. El contenido de polifenoles fue expresado como equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra seca (mg ÁG/g muestra). La figura 19 describe el procedimiento de análisis de polifenoles totales para los granos de cacao.

Figura 19

Procedimiento de ensayo para Polifenoles Totales



Fuente: El autor (2025).

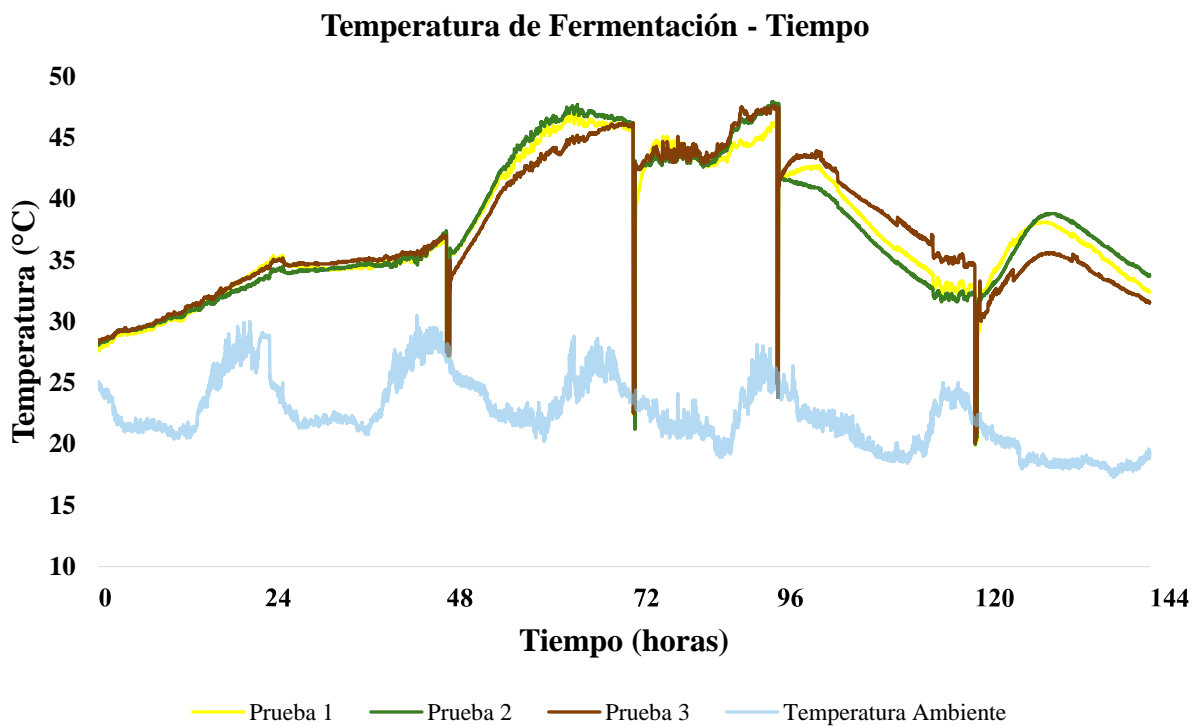
Resultados y Discusión

Monitoreo del Proceso de Fermentación

A partir de los datos obtenidos en el monitoreo de temperatura durante el proceso de fermentación del grano (144 horas, correspondientes a 8.640 minutos y datos respectivamente), se realizó su tratamiento para cada lote de fermentación o prueba en la aplicación Excel versión Microsoft 365, obteniendo la curva de temperatura de la masa de fermentación y temperatura ambiente. La figura 20 representa el tiempo en horas de fermentación y la curva de temperatura para las tres pruebas de fermentación, así como la temperatura ambiente como monitoreo adicional en la investigación.

Figura 20

Temperatura de Fermentación y Ambiente



Fuente: El autor (2025).

La disminución abrupta de temperatura que representa la gráfica en las horas 48, 72, 96 y 120 corresponden al proceso estandarizado de volteos definido en la metodología de la investigación como resultado del retiro de los sensores de la masa fermentante para la realización de los volteos manuales.

La fermentación anaeróbica del grano comprendida en sus primeras 48 horas, inició en 28,0°C y alcanzó como temperatura máxima 37,0 ° C con un comportamiento exponencial.

Una vez realizado el primero volteo a las 48 horas de fermentación, inició la fermentación aeróbica; como resultado de incorporar oxígeno a la masa de fermentación inicialmente se observa disminución de temperatura hasta de 10°C, sin embargo, al cabo de dos horas del proceso de volteo se recupera la temperatura inicial (37°C) e inicia su aumento exponencial alcanzando temperatura de 47,7 °C después de las 15 horas de realizar el volteo.

Se realizaron 4 volteos según metodología establecida en la figura 14, tras cada volteo los resultados de la curva de temperatura relacionados con la oxigenación de la masa demuestran que esta práctica acelera el aumento de la temperatura por acción de las bacterias ácido lácticas como lo describe (Castro-alayo et al., 2023) en su investigación sobre la fermentación espontánea del cacao. El máximo de temperatura se alcanza entre las 12 y 15 horas después del volteo y posteriormente inicia su descenso. Los resultados obtenidos confirman lo reportado por (Santander Muñoz et al., 2020) quien afirma aumento de la temperatura en la fase anaeróbica por efecto de las levaduras pectinolíticas (*Saccharomyces cerevisiae*, *Hanseniaspora spp.*, *Pichia* y *Kluyveromyces*) las cuales generan etanol y ácido láctico, y son responsables de licuar la pulpa, generando exudados que salen del sistema y permiten la entrada de aire en la masa de fermentación. Durante esta fase, el valor del pH en la pulpa es inicialmente inferior a 4 debido al contenido de ácido cítrico. Posteriormente, cuando comienza la actividad de los

microorganismos, el pH aumenta lentamente junto con la temperatura, creando así las condiciones ideales de crecimiento para el desarrollo de otros microorganismos que siguen a las levaduras, como las bacterias ácido-lácticas. (*Lactobacillus plantarum* y *Lactobacillus fermentum*) convierten el ácido cítrico y los carbohidratos residuales de la pulpa, principalmente en ácido láctico, ácido acético y/o manitol. Seguidamente, la fase de fermentación aeróbica. Los microorganismos predominantes son las bacterias del ácido acético (AAB), como *Acetobacter pasteurianus* y *Gluconobacter frateurii*, que participan en la oxidación del etanol producido por las levaduras y el ácido láctico generado por las bacterias lácticas (LAB) para producir ácido acético. El crecimiento de las AAB se ve facilitado por el proceso de licuación de la pulpa, lo que permite la transferencia de oxígeno en las semillas de cacao. Durante esta fase, el contenido de ácido acético aumenta, con la consiguiente difusión de etanol y ácido acético en las semillas de cacao, causando una disminución del pH de 7 a 4–4.5 dentro de las semillas. Además, ocurren reacciones exotérmicas que alcanzan temperaturas entre 40 °C y 50 °C, lo que favorece la transferencia de calor a la masa de fermentación, esencial para el desarrollo del sabor. Este rango corresponde al valor óptimo de temperatura que promueve la destrucción de estructuras subcelulares y la actividad biocatalítica de las enzimas endógenas involucradas en los precursores de la formación del sabor. La combinación de la acidificación y el efecto del calor lleva a la interacción entre enzimas (proteasas: endoproteasas y carboxipeptidasas, invertasas, PPO y glicosidasas) y sustratos (proteínas de reserva, carbohidratos, flavanoles y antocianinas), que inicialmente están separados en células o compartimentos especializados, debido a la pérdida de selectividad en la permeabilidad de las membranas de las vacuolas de almacenamiento. De esta manera, se produce una rápida degradación de proteínas y carbohidratos, llevada a cabo por las enzimas de las semillas, generando péptidos, aminoácidos libres y azúcares reductores, que se

consideran precursores del sabor. La degradación de las antocianinas y la oxidación y condensación de los compuestos fenólicos resultan en reacciones de pardeamiento, lo que produce el color marrón característico del cacao correctamente fermentado.

El resultado de la investigación confirma la variable temperatura como un indicador en la etapa de fermentación. El resultado de la investigación realizada por (Cortez et al., 2023) encontró que durante el proceso exotérmico de fermentación de la variedad CCN- 51 y criollo, se alcanzaron temperaturas de 41°C temperatura que consideraron adecuada ya que fue suficiente para inactivar el poder de germinación de las semillas mientras se generan los precursores del aroma y sabor del chocolate. Estudio similar realizado por (Nazaré et al., 2017) en su investigación sobre el efecto de la fermentación en los compuestos fenólicos del cacao reportando que la temperatura fermentación aumentó desde 22°C al inicio de la fermentación, alcanzando un máximo de 41°C en el quinto día de fermentación y luego disminuye a 34 °C al final del proceso. Este incremento de temperatura está relacionado con las reacciones bioquímicas que ocurren durante la fermentación, impulsadas por la actividad de microorganismos osmo- y acidotolerantes presentes en los granos de cacao. La disponibilidad de oxígeno y el aumento de la temperatura favorecen el crecimiento de bacterias del ácido acético, las cuales metabolizan el etanol en ácido acético a través de un proceso altamente exotérmico.

Evaluación de los Cambios en el Contenido de Polifenoles Totales

A partir del análisis de contenido de polifenoles totales en las fases de fermentación y secado se encontró que contenido de polifenoles totales en el cacao presenta cambios significativos. Inicialmente, en el cacao fresco, se registró un valor de 50,20 mg EAG/g. Durante las primeras 48 horas de fermentación, se observó un leve aumento a 51,47 mg EAG/g, sin embargo, a las 96 horas, el contenido disminuyó ligeramente a 49,57 mg EAG/g, indicando que

la actividad microbiana y enzimática comienza a degradar o polimerizar estos compuestos. Esta reducción se acentuó a las 144 horas, alcanzando 39,47 mg EAG/g, reflejando el efecto de la fermentación en la degradación oxidativa de los polifenoles. Finalmente, en la fase de secado, el contenido de polifenoles se redujo drásticamente a 24,02 mg EAG/g. El contenido de polifenoles totales para las muestras analizadas se describe en la tabla 3.

Tabla 3

Resultados Polifenoles Totales

Análisis de Polifenoles Totales mg EAG/g					
	Muestra 1.	Muestra 2. 48	Muestra 3. 96	Muestra 4.	Muestra 5.
	Cacao	horas de	horas de	144 horas de	Cacao Seco
	Fresco	fermentación	fermentación	fermentación	
Prueba 1	49,54	51,59	49,68	38,77	23,96
Prueba 2	51,08	52,67	50,12	39,46	23,48
Prueba 3	49,97	50,16	48,91	40,17	24,62
Promedio	50,20	51,47	49,57	39,47	24,02

Nota. Resultados de análisis de Polifenoles Totales desde el grano fresco hasta el grano seco *Fuente:* El autor (2025).

El análisis de varianza ANOVA define la existencia de diferencias significativas entre las diferentes etapas analizadas como se describe en la figura 21.

Figura 21*Análisis de Varianza*

ANOVA: Single Factor

DESCRIPTION		Alpha		0,05				
Group	Count	Sum	Mean	Variance	SS	Std Err	Lower	Upper
Muestra 1	3	150,59	50,19666667	0,631433333	1,262866667	0,476752906	49,13439499	51,25893834
Muestra 2	3	154,42	51,47333333	1,585233333	3,170466667	0,476752906	50,41106166	52,53560501
Muestra 3	3	148,71	49,57	0,3751	0,7502	0,476752906	48,50772833	50,63227167
Muestra 4	3	118,4	39,46666667	0,490033333	0,980066667	0,476752906	38,40439499	40,52893834
Muestra 5	3	72,06	24,02	0,3276	0,6552	0,476752906	22,95772833	25,08227167

ANOVA

Sources	SS	df	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE	Omega Sq
Between Groups	1618,392573	4	404,5981433	593,3568125	7,77357E-12	0,995804361	14,06362699	0,993709181
Within Groups	6,8188	10	0,68188					
Total	1625,211373	14	116,0865267					

Nota. El valor *alpha 0,05* es comparado *p-value*, si el valor alpha es mayor al valor *p-value* existe diferencia significativa *Fuente:* El Autor (2025).

Las diferencias significativas entre los datos obtenidos para cada muestra fueron determinadas mediante la prueba de Tukey HDS, empleando el software Excel complemento Real Statistics versión Microsoft 365. El resultado obtenido permitió identificar las diferencias significativas entre medidas con un nivel de confianza $p < 0,05$. La figura 22 describe el resultado de la prueba de Tukey HDS como herramienta para definir las diferencias significativas entre las medidas obtenidas.

Figura 22

Prueba de Tukey HDS

TUKEY HSD/KRAMER			alpha	0,05		
group	mean	n	ss	df	q-crit	
Muestra 1	50,19666667	3	1,262866667			
Muestra 2	51,47333333	3	3,170466667			
Muestra 3	49,57	3	0,7502			
Muestra 4	39,46666667	3	0,980066667			
Muestra 5	24,02	3	0,6552			
		15	6,8188	10	4,654	

Q TEST									
group 1	group 2	mean	std err	q-stat	lower	upper	p-value	mean-crit	Cohen d
Muestra 1	Muestra 2	1,2767	0,4768	2,6778	-0,9421	3,4955	0,378940359	2,2188	1,5461
Muestra 1	Muestra 3	0,6267	0,4768	1,3144	-1,5921	2,8455	0,879149937	2,2188	0,7589
Muestra 1	Muestra 4	10,7300	0,4768	22,5064	8,5112	12,9488	1,54696E-07	2,2188	12,9941
Muestra 1	Muestra 5	26,1767	0,4768	54,9062	23,9579	28,3955	2,49721E-11	2,2188	31,7001
Muestra 2	Muestra 3	1,9033	0,4768	3,9923	-0,3155	4,1221	0,102803291	2,2188	2,3049
Muestra 2	Muestra 4	12,0067	0,4768	25,1843	9,7879	14,2255	5,25299E-08	2,2188	14,5401
Muestra 2	Muestra 5	27,4533	0,4768	57,5840	25,2345	29,6721	1,92951E-11	2,2188	33,2461
Muestra 3	Muestra 4	10,1033	0,4768	21,1920	7,8845	12,3221	2,76477E-07	2,2188	12,2352
Muestra 3	Muestra 5	25,5500	0,4768	53,5917	23,3312	27,7688	2,84058E-11	2,2188	30,9412
Muestra 4	Muestra 5	15,4467	0,4768	32,3997	13,2279	17,6655	4,86251E-09	2,2188	18,7060

Nota. El valor *alpha* 0,05 es comparado con cada *p-value* obtenido entre grupos, si el valor *alpha* es mayor al valor *p-value* existe diferencia significativa *Fuente:* El Autor (2025).

El contenido de polifenoles totales (expresados en miligramos equivalentes de ácido gálico (EAG)/gramo, de muestra seca), los cuales variaron significativamente durante la fermentación y secado se describen en la tabla 4

Tabla 4*Diferencias Significativas Durante la Fermentación y Secado*

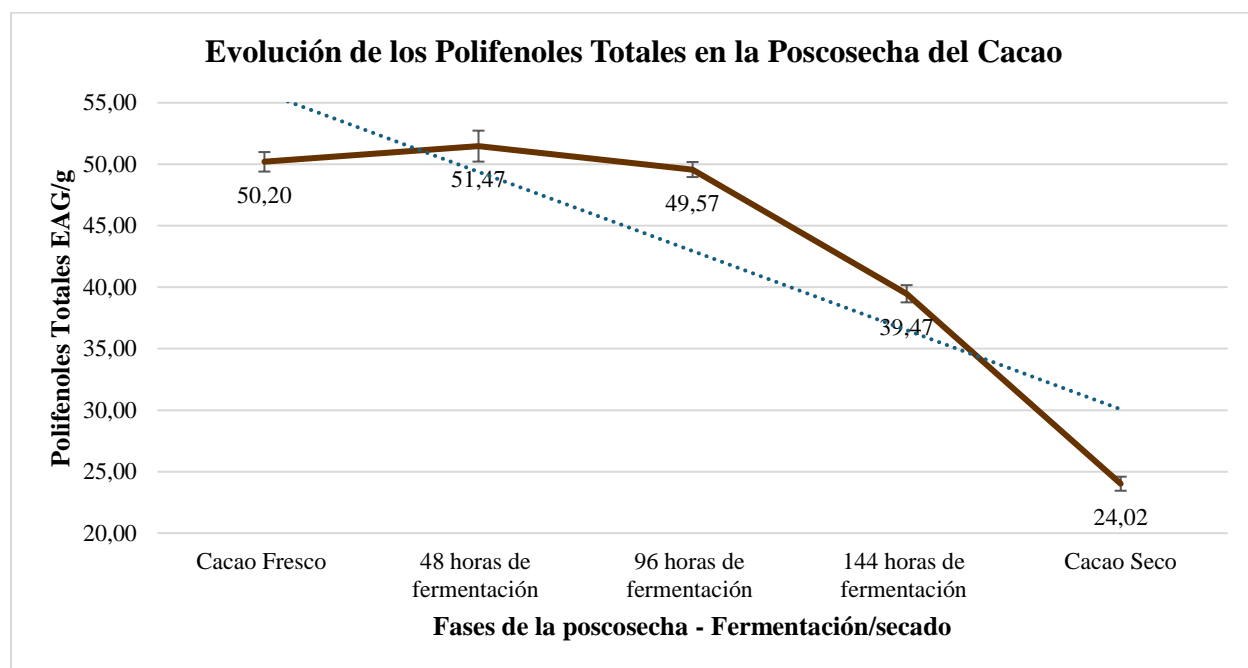
Grupo 1	Grupo 2	Diferencia Significativa
Muestra 1. Cacao Fresco	Muestra 2. 48 horas de fermentación	No hay diferencia significativa entre las etapas evaluadas
Muestra 1. Cacao Fresco	Muestra 3. 96 horas de fermentación	No hay diferencia significativa entre las etapas evaluadas
Muestra 1. Cacao Fresco	Muestra 4. 144 horas de fermentación	Si hay diferencia significativa entre las etapas evaluadas
Muestra 1. Cacao Fresco	Muestra 5. Cacao Seco	Si hay diferencia significativa entre las etapas evaluadas
Muestra 2. 48 horas de fermentación	Muestra 3. 96 horas de fermentación	No hay diferencia significativa entre las etapas evaluadas
Muestra 2. 48 horas de fermentación	Muestra 4. 144 horas de fermentación	Si hay diferencia significativa entre las etapas evaluadas
Muestra 2. 48 horas de fermentación	Muestra 5. Cacao Seco	Si hay diferencia significativa entre las etapas evaluadas
Muestra 3. 96 horas de fermentación	Muestra 4. 144 horas de fermentación	Si hay diferencia significativa entre las etapas evaluadas
Muestra 3. 96 horas de fermentación	Muestra 5. Cacao Seco	Si hay diferencia significativa entre las etapas evaluadas
Muestra 4. 144 horas de fermentación	Muestra 5. Cacao Seco	Si hay diferencia significativa entre las etapas evaluadas

Nota. Identificación de diferencias significativas entre las fases analizadas *Fuente:* El Autor (2025).

La evolución de los polifenoles totales durante las etapas del proceso poscosecha del grano cacao se representan en la figura 23 en el cual se evidencia reducción del 52% de polifenoles desde el grano de cacao fresco hasta obtener el grano seco.

Figura 23

Evolución de los polifenoles totales



Nota. Tendencia de la evolución de polifenoles totales durante la poscosecha desde el grano fresco hasta grano seco. *Fuente.* El Autor (2025).

El comportamiento de los polifenoles totales durante la etapa de fermentación y secado evidencian una dinámica compleja a lo largo del proceso. En la Muestra 1 (Cacao Fresco), el contenido inicial de polifenoles fue de 50,20 mg EAG/g, proporcionando una línea base antes de iniciar cualquier tratamiento. Este valor es consistente con estudios previos que han documentado resultados en contenido de polifenoles totales similares mediante el mismo análisis seleccionado en la investigación, Folin-Ciocalteu; como lo reporta (Santacruz & Mantuano,

2021) en estudio donde evaluó el efecto del procesamiento del cacao en el contenido y actividad antioxidante en el cual obtuvo como resultado para semilla en baba o cacao fresco 52, 88 mg EAG/g. Otro estudio similar como el realizado por (Nazaré et al., 2017) en el cual para la variedad cacao amazónico Forastero híbrido se identificó un contenido de 71,31 mg EAG/g.

Durante las primeras 48 horas de fermentación (Muestra 2), se observó un incremento en el contenido de polifenoles totales, alcanzando 51,47 mg EAG/g. Este aumento inicial puede estar relacionado con la ruptura de las estructuras celulares del cacao, lo que facilita la liberación de compuestos fenólicos. Este comportamiento coincide con la investigación de (Pallares et al., 2017), en el cual se analizó mediante la técnica de Folin-Ciocalteu el contenido de polifenoles totales del genotipo CCN-51 encontrando aumento del resultado entre primer y segundo día de fermentación, por lo cual el autor menciona que este resultado obedece a las primeras reacciones tanto químicas como enzimáticas del proceso fermentativo convierten algunos de los polifenoles a formas más reductoras y activas al ensayo de Folin-Ciocalteu por lo cual sugiere la realización de análisis más específicos a las muestras obtenidas en los primeros días de fermentación como HPLC con el fin de establecer con total certeza el contenido de polifenoles totales.

A las 96 horas de fermentación (Muestra 3), el contenido de polifenoles totales mostró una ligera disminución a 49,57 mg/g. Este patrón indica que, aunque la fermentación puede liberar compuestos fenólicos inicialmente, la actividad microbiana y enzimática posterior comienza a degradarlos o polimerizarlos, lo que reduce su contenido. Esta tendencia es confirmada por estudios que han documentado que la fermentación prolongada puede llevar a la degradación oxidativa de los polifenoles, reduciendo su concentración. La disminución se vuelve más pronunciada tras 144 horas de fermentación (Muestra 4), donde el contenido de polifenoles desciende significativamente a 39,47 mg EAG/g. Este resultado representa el efecto que la

fermentación estandarizada y recomendada por la literatura y las diversas entidades que promueven las prácticas de poscosecha de cacao para asegurar la calidad de los subproductos obtenidos.

En la fase de secado representado por la Muestra 5, resultó en una reducción drástica del contenido de polifenoles totales, con un valor final de 24,02 mg EAG/g. El secado es un proceso crítico que no solo disminuye la humedad de los granos de cacao, sino que también expone los polifenoles a condiciones que favorecen su degradación. La reducción observada es consistente con la literatura existente, que indica que el calor y la exposición al oxígeno durante el secado aceleran la oxidación de los polifenoles, disminuyendo significativamente su concentración.

El análisis estadístico mediante ANOVA confirmó que existen diferencias significativas entre las etapas de fermentación y secado en relación con el contenido de polifenoles ($p < 0,05$). Las pruebas de Tukey revelaron que las diferencias más significativas ocurren entre las muestras de cacao fresco y las sometidas a 144 horas de fermentación, así como entre las muestras de cacao fresco y el cacao seco. Estos hallazgos respaldan la hipótesis inicial de que la fermentación estandarizada y el secado reducen la concentración de polifenoles totales.

Análisis del Impacto del Contenido de Polifenoles Totales sobre la Calidad del Grano Seco

Autores como (Cardona, 2016), coinciden con que la fermentación representa una reducción significativa de los polifenoles totales. Dicha pérdida ocurre a través de la eliminación de líquidos drenados producto de la fermentación o por la acción de la enzima polifenol oxidasa que se encarga de oxidar los polifenoles simples y solubles a polifenoles condensados insolubles de alto peso molecular conocidos como taninos. Para (Nazaré et al., 2017), la fermentación de los granos de cacao es un proceso crucial que no solo afecta la composición de compuestos bioactivos como es el caso de los polifenoles totales, afirma que durante la fermentación pueden

permanecer o formarse otros compuestos bioactivos con capacidad antioxidante como las aminas bioactivas. En su estudio demostró que el contenido total de compuestos fenólicos disminuyó en un 31% después de 7 días de fermentación asegurando que estos cambios influyen significativamente en la calidad del sabor del chocolate, sin embargo, hace una afirmación muy interesante en la cual menciona que a pesar de la pérdida de capacidad antioxidante por la reducción de dichos compuestos durante la fermentación del cacao, la actividad restante sigue siendo significativa y puede ser responsable del alto potencial antioxidante informado para los productos de cacao fermentados. Estos cambios en la composición química son fundamentales para el desarrollo de sabores y aromas deseables en el chocolate, lo que subraya la importancia de la fermentación en la producción de cacao de alta calidad . La investigación realizada por (Castro-alayo et al., 2023) analiza el comportamiento de los polifenoles totales durante el proceso de fermentación del cacao. En particular, menciona que la actividad antioxidante del cacao está condicionada por el contenido de polifenoles, los cuales disminuyen a lo largo del proceso de fermentación. Se indica que los niveles de epicatequina, uno de los principales flavonoides, disminuyen entre un 84% y 90% al final del proceso de fermentación. Esto es atribuible a la acción de la polifenol oxidasa (PPO), que degrada los polifenoles, así como a la difusión de los polifenoles fuera del cotiledón, donde son oxidados, reduciendo significativamente la astringencia y amargor del cacao. Este proceso de degradación es crucial para obtener un grano de cacao con características de sabor más suaves y menos astringentes, lo que es fundamental para el desarrollo de un chocolate de alta calidad. Además, la fermentación adecuada también contribuye a la formación de precursores de sabor y aroma que mejoran la calidad sensorial del producto final.

La etapa de secado ha sido identificada como crucial en la reducción de polifenoles, (Alean et al., 2016) en su investigación evaluó la degradación de polifenoles durante el proceso de secado del cacao; los resultados clave sobre la reducción de polifenoles indicaron que la temperatura es un factor determinante. A una temperatura de 40 °C, la concentración de polifenoles fue de 3329,76 mg de ácido gálico por cada 100 g de cacao seco, lo que representa una reducción del 45% en comparación con los niveles iniciales. Se observó que a mayor temperatura (60 °C), la degradación de polifenoles fue aún más alta, confirmando que la temperatura, junto con la humedad y el tiempo de secado, influyen significativamente en los procesos oxidativos que resultan en la pérdida irreversible de polifenoles. En esta misma línea (Barrientos et al., 2019), investigó sobre el proceso de secado en las características sensoriales del cacao cultivado en Antioquia Colombia en el cual el contenido total de polifenoles en el cacao mostró una reducción significativa. Al inicio del proceso, se cuantificó un valor de 18,279.1 mg GAE/100 g (equivalentes de ácido gálico), mientras que al final del secado, este valor disminuyó a 13,081.2 mg GAE/100 g, lo que representa una disminución del 28.4% en los polifenoles totales. Este descenso se atribuye principalmente a la oxidación de polifenoles y su difusión fuera de los granos durante el secado el autor afirma que la disminución de los polifenoles durante el secado tiene un impacto directo en la calidad del cacao. La reducción de estos compuestos, debido a su oxidación y difusión durante el proceso de secado, afecta no solo el valor antioxidante del grano, sino también sus propiedades sensoriales, como el sabor y el aroma. La pérdida de polifenoles está asociada a una menor intensidad en ciertos atributos sensoriales como el sabor amargo, lo cual puede influir en la percepción final de la calidad del grano.

Conclusiones

La investigación demostró que la fermentación estandarizada y el proceso de secado del cacao genotipo ICS 39 generan impacto en la variación del contenido de polifenoles totales. Durante la etapa de fermentación, la reducción de estos compuestos fue considerable, pasando de 50,2 mg EAG/g de muestra seca a 39,4 mg EAG/g de muestra seca significando disminución de 21,5% en el contenido de *PT*. Al finalizar el proceso de secado se obtuvo como resultado 24,02 mg EAG/g de muestra seca representando disminución del 52.2% en el contenido de *PT* desde el grano fresco hasta su etapa de secado. El resultado del estudio concluye que la etapa de poscosecha de cacao incluyendo la fermentación y secado son de importancia para mejorar las propiedades sensoriales del cacao, como el sabor y el aroma, que son factores críticos para su aceptación en el mercado de cacaos especiales para la producción de chocolatería fina, lo anterior, teniendo en cuenta que los polifenoles, especialmente las catequinas y procianidinas, son responsables de la astringencia y amargor del cacao. Durante la fermentación, la actividad enzimática y microbiana promueve la oxidación y polimerización de estos compuestos, transformándolos en formas menos solubles, lo que disminuye su percepción sensorial negativa. Además, la degradación parcial de polifenoles favorece la formación de precursores de sabor como aminoácidos y azúcares reductores, esenciales para las reacciones de Maillard durante procesos posteriores como el tostado, las cuales generan compuestos aromáticos especiales en el chocolate.

La fermentación estandarizada evidenció la relevancia en el proceso confirmando la importancia de aplicar el tiempo requerido para permitir que reacciones fisicoquímicas dentro del grano se puedan dar sin interrupción garantizando la calidad del grano. La fase anaeróbica alcanzó temperaturas de 36.9°C, mientras que la fase aeróbica, tras los volteos, llegó a 47.9°C.

Estos aumentos de temperatura confirman la actividad de microorganismos que favorecen la transformación de compuestos químicos en precursores de sabor y aroma, a la vez que reducen la concentración de polifenoles, disminuyendo la astringencia y sabor amargo del cacao.

El manejo de los volteos, realizados cada 24 horas a partir de las 48 horas de fermentación, permitió mantener la oxigenación y controlar el proceso aeróbico, optimizando la calidad del grano. Los resultados demuestran que los procesos de fermentación y secado controlados aportan significativamente a la producción de granos de cacao de alta calidad y mayor valor agregado, confirmando que la optimización de los procesos poscosecha aseguran la calidad del grano, especialmente en el segmento de cacaos finos y de aroma, donde el perfil sensorial es altamente valorado.

Recomendaciones

Ampliación de la investigación en procesos posteriores. Se recomienda continuar la investigación evaluando el impacto del contenido de polifenoles totales en las etapas posteriores de procesamiento, como el tostado y la obtención del licor de cacao. Es clave expandir el análisis a la caracterización detallada de los compuestos fenólicos específicos de mayor prevalencia, tales como catequina, epicatequina, procianidinas B1, B2, G1 y G2, así como su capacidad antioxidante mediante técnicas avanzadas como cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (LC-MS). Estas investigaciones permitirán entender mejor cómo cada etapa del procesamiento influye en la bioactividad y estabilidad de estos compuestos, proporcionando certeza en el contenido real de polifenoles.

Aprovechamiento de subproductos del cacao. Se recomiendan nuevas investigaciones hacia el aprovechamiento integral de los subproductos generados durante el proceso poscosecha del cacao. Dado que la variedad ICS 39 representó un 70% de cáscara o cacota del fruto.

respecto al grano fresco obtenido. Así mismo, es de gran importancia investigar posibles aplicaciones del mucílago lixiviado, subproductos que actualmente se desechan sin aprovechamiento. Esto podría incluir la valorización del mucílago a través de su uso en la producción de bioproductos como alimentos funcionales, cosméticos, o incluso biocombustibles. Además, se sugiere estudiar el potencial antioxidante y el perfil fenólico de estos subproductos, para evaluar su viabilidad como ingredientes de alto valor agregado.

Colaboración interdisciplinaria y uso de tecnologías en la poscosecha del cacao. Se recomienda fomentar la colaboración con otros programas de formación y semilleros de investigación para ampliar el monitoreo de variables críticas durante los procesos de fermentación y secado del cacao. Esto incluye variables como pH, sólidos solubles (°Brix),

humedad relativa del grano, y condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente de secado. El uso de tecnologías avanzadas, como sensores en tiempo real, sistemas de control automatizado y técnicas de modelado predictivo, puede facilitar la estandarización y mejora de los procesos poscosecha, beneficiando tanto a los pequeños productores como a la industria en general.

Divulgación de buenas prácticas agrícolas y cumplimiento normativo. Se recomienda realizar divulgación de las buenas prácticas agrícolas, protocolos de procesamiento y métodos de monitoreo esenciales para la producción de cacao en grano seco de alta calidad. Es fundamental que estas prácticas sean adoptadas por pequeños y medianos productores, quienes deben ser informados sobre las normativas técnicas vigentes y las ventajas competitivas que el cumplimiento de estas normativas puede ofrecer. Además, se sugiere en articulación con importantes instituciones como FEDECACAO y AGROSAVIA, la creación de programas de capacitación y asistencia técnica a pequeños productores, enfocados en la implementación de estas prácticas, con el objetivo de mejorar la calidad del cacao y, consecuentemente, aumentar el valor agregado de los productos derivados.

Referencias Bibliográficas

- Alcaldía de Floridablanca (2003). Rostros y raíces de Floridablanca, Cartilla para la construcción de la identidad cultural, pp.15.
- Alean, J., Chejne, F., & Rojano, B. (2016). *Degradation of polyphenols during the cocoa drying process*. 189, 99–105. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.026>
- Andruszkiewicz, P. J., D'Souza, R. N., Corno, M., & Kuhnert, N. (2019). Chemistry of Cocoa Bean Roasting. *Food Research International*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109164>
- Arango, J. (2017). *Evaluación del efecto de técnicas de fermentación en el sabor y aroma de cacao CCN-51 (Theobroma cacao L.) en la zona de Tumaco - Nariño*. Universidad Nacional de Colombia.
- Barišic, V., Kopjar, M., Jozinovic, A., Flanjak, I., Ackar, Đ., Milicevic, B., Šubaric, D., Stela, J., & Babic, J. (2019). The Chemistry behind Chocolate Production. *MDPI*, 13.
- Barrientos, L. D. P., Oquendo, J. D. T., Garzón, M. A. G., & Álvarez, O. L. M. (2019). Effect of the solar drying process on the sensory and chemical quality of cocoa (*Theobroma cacao L.*) cultivated in Antioquia, Colombia. *Food Research International*, 115(52), 259–267. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.084>
- Bernal Torres, C. A. (2016). Metodología de la investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales. Pearson Educación. <https://www.ebooks7-24.com:443/?il=4326>
- Cacao de Excelencia. (2023). *Guía para la Evaluación de la Calidad y el Sabor del Cacao*.

Camino, C. (2014). *Estudio del contenido de grasa, alcaloides y polifenoles totales en almendras de cacao nacional fino de aroma en zonas del litoral ecuatoriano para comparar su calidad y facilitar su comercialización*. 1–136.

Cardona, L. M. (2016). *Influencia del proceso de fermentación sobre las características de calidad del grano de cacao (Theobroma cacao)*.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59884>

Castro-alayo, E. M., Cayo-colca, I. S., Mu, L. D., & Idrogo-v, G. (2023). *Metabolomics during the spontaneous fermentation in cocoa (Theobroma cacao L.): An exploraty review*.

163(November 2022). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112190>

Chica, V. (2022). *Secado de granos de cacao (variedad TCS01) y su efecto sobre la concentración de compuestos fenólicos, azúcares y ácidos orgánicos* [Universidad Nacional de Caolombia].

<http://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/83378/1086109084.2022.pdf?isAllowed=y&sequence=3>

Compañía Nacional de Chocolates. (2019). *Cosecha, beneficio y calidad del grano de cacao (Theobroma cacao L.)*. [https://www.chocolates.com.co/wp-](https://www.chocolates.com.co/wp-content/uploads/2019/09/Cartilla-Cosecha-Benef-Calidad-SEP-2019.pdf)

[content/uploads/2019/09/Cartilla-Cosecha-Benef-Calidad-SEP-2019.pdf](https://www.chocolates.com.co/wp-content/uploads/2019/09/Cartilla-Cosecha-Benef-Calidad-SEP-2019.pdf)

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia (2023). El cacao una historia que se esta escribiendo. Recuperado de <https://www.agrosavia.co/noticias/el-cacao-una-historia-que-se-est%C3%A1-escribiendo>

Cortez, D., Quispe, L., Mestanza, M., Oliva, M., Yoplac, I., Torres, C., & Chavez, S. (2023).

Changes in bioactive compounds during fermentation of cocoa (Theobroma cacao)

harvested in Amazonas-Peru. *Current Research in Food Science*, 6(January), 100494.

<https://doi.org/10.1016/j.crf.2023.100494>

Cubillos, G., Merizalde, G., & Correa, E. (2008). *Manual de beneficio del cacao. Para: técnicos, profesionales del sector agropecuario y productores*. 29.

https://www.chocolates.com.co/wp-content/uploads/2018/05/manual_beneficio_cacao.pdf

Daza, A. (2023). Influencia de la fermentación y la temperatura de deshidratado en la capacidad antioxidante, polifenoles y ácidos grasos del cacao crudo. In *Universidad Nacional Del Centro del Perú*. Universidad Nacional Del Centro del Perú.

Fedecacao. (2013a). *Cosecha, Fermentación y Secado del Grano de Cacao*.

http://www.fedecacao.com.co/portal/images/Cartilla/Fichas_Calidad_y_Beneficio.pdf

Fedecacao, F. N. D. C. (2013b). *Guía ambiental para el cultivo del cacao*. 1–126.

Federación Nacional de Cacaoteros - Fedecacao (2023). Producción cacaotera presentó una reducción del 10% en 2022 por lluvias. Recuperado de

<https://www.fedecacao.com.co/post/producci%C3%B3n-cacaotera-present%C3%B3-una-reducci%C3%B3n-del-10-en-2022-por-lluvias>

Federación Nacional de Cacaoteros - Fedecacao (2023). Cacao Colombiano gana oro en

Ámsterdam. Recuperado de <https://www.fedecacao.com.co/post/cacao-colombiano-gana-oro-en-%C3%A1msterdam>

Federación Nacional de Cacaoteros - Fedecacao (2024). Economía Nacional - Producción

Nacional de Cacao. Recuperado de <https://www.fedecacao.com.co/economianacional>

- Gil, M., Uribe, D., Gallego, V., Bedoya, C., & Arango-Varela, S. (2021). Traceability of polyphenols in cocoa during the postharvest and industrialization processes and their biological antioxidant potential. *Heliyon*, 7(8), e07738. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07738>
- Google Maps. (n.d.). Retrieved August 23, 2021, from <https://www.google.com/maps/@7.060022,-73.057769,15.88z/data=!5m1!1e2?hl=es>
- Horta, H., Sandoval, A., Garcia, M., & Cerón, X. (2019). Evaluation of the fermentation process and final quality of five cacao clones from the department of Huila, Colombia. *DYNA (Colombia)*, 86(210), 7. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n210.75814>
- ICCO. (2024a). *Growing Cocoa - International Cocoa Organization*. <https://www.icco.org/growing-cocoa/>
- ICCO. (2024b). *PRODUCTION OF COCOA BEANS*. https://www.icco.org/wp-content/uploads/Production_QBCS-L-No.-2.pdf
- Icontec. (2021, March 17). *NTC 1252: 2021 Cacao en grano. Especificaciones y requisitos de calidad*. <https://e-collection-icontec-org.bdigital.sena.edu.co/normavw.aspx?ID=79971>
- Laura, R., Schubert, J.-M., Rodríguez, C., Villar, G., Zavaleta, D., Ramírez, M., & Thomas, E. (2021). *Beneficio del Cacao: Cosecha y Poscosecha* (Issue March).
- Nazaré, B. De, Campos, R., Pena, S., Beatriz, M., Gloria, A., & Santos, A. (2017). *Bioactive amines and phenolic compounds in cocoa beans are affected by fermentation*. 228, 484–490. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.004>
- Orbe, M., Manosalvas-quiroz, L.-A., Pinto-Mosquera, N., & Samaniego, I. (2024). *Effect of*

- fermentation parameters on the antioxidant activity of Ecuadorian cocoa (Theobroma cacao L .). 9(June), 872–886. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2024047>*
- Pallares, A., Estupiñán, M., Perea, J., & López, L. (2017). Impacto de la fermentación y secado sobre el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante del clon de cacao CCN-51. *Revista ION, 29(2)*, 7–21. <https://doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016001>
- Penagos, A. (2019). *Estandarización del proceso de fermentación de cacao (Theobroma cacao L.) en función de la relación entre la masa de grano y el volumen del cajón fermentador*. 1–74. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/76069/TESIS_ALEJANDRO_PENAGOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Perea, A., Martínez, N., Aranzazu, F., & Cadena, T. (2013). *Características de calidad del cacao de Colombia, catálogo de 26 cultivares*. <https://ediciones.uis.edu.co/index.php/publicacionesuis/catalog/book/19>
- Perea, J., Cadena, T., & Herrera, J. (2009). El cacao y sus productos como fuente de antioxidantes: Efecto del procesamiento. *Salud UIS, 41*, 128–134.
- Pérez, M., & Contreras, J. (2017). Guía de buenas prácticas de cosecha, fermentación y secado para la producción de cacaos especiales. *Coexca Cacao Fino y de Aroma, 22–41*. https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Colombia/Documents/Guia_de_buenas_practicas_de_poscosecha.pdf
- Quintana, L., & García, A. (2021). *Evaluación integral de la calidad sensorial del cacao*.
- Quitana Fuentes, L. F. (2018). *INFLUENCIA DEL TIEMPO DE FERMENTACIÓN E ÍNDICE DE GRANO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y SENSORIALES DE TRES*

CLONES REGIONALES DE CACAO, (FLE3, FTA2 y FSA12) PRODUCIDOS EN SAN VICENTE DE CHUCURI SANTANDER.

Santacruz, S., & Mantuano, W. (2021). Efecto del procesamiento de cacao en el contenido y actividad antioxidante de compuestos fenólicos. *Revista ESPAMCIENCIA*, 12(1), 41–45. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i1.221

Santander Muñoz, M., Rodríguez Cortina, J., Vaillant, F. E., & Escobar Parra, S. (2020). An overview of the physical and biochemical transformation of cocoa seeds to beans and to chocolate: Flavor formation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(10), 1593–1613. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1581726>

Solarte, M. (2021). *Caracterización de algunos compuestos de interés en los procesos de fermentación y tostado de dos especies de cacao Amazónico* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79691/1053793216.2021.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Teneda Llerena, W. F., & Teneda Espín, Á. J. (2020). *Cacao (Theobroma cacao L.) Impacto en la tecnología y en la innovación*. <https://www-alphaeditorialcloud-com.bdigital.sena.edu.co/reader/cacao-theobroma-cacao-1?location=1>

Wollgast, J., & Anklam, E. (2000). Review on polyphenols in *Theobroma cacao*: Changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identification and quantification. *Food Research International*, 33(6), 423–447. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00068-5](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00068-5)