

**Análisis de los Principales Compuestos Volátiles Presentes en la Etapa de Fermentación del
Grano de Cacao y su Influencia en los Atributos Sensoriales**

Autor:

Martha Patricia Aparicio

Universidad Nacional Abierta y a Distancia
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería
Programa Maestría en Biotecnología Alimentaria

2024

**Análisis de los Principales Compuestos Volátiles Presentes en la Etapa de Fermentación del
Grano de Cacao y su Influencia en los Atributos Sensoriales**

Autor:

Martha Patricia Aparicio

Trabajo de grado para optar el título de MSc, en Biotecnología Alimentaria

Directora

Ing. M.Sc. Martha Barrera Hernández

Asesor

Ing. M.Sc. Lucas Fernando Quintana Fuentes

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Programa Maestría en Biotecnología Alimentaria

2024

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Declaratoria de Derechos de Propiedad Intelectual

Los creadores de esta propuesta reconocen su familiaridad con las disposiciones del Acuerdo 06 de 2008, Estatuto de la Propiedad Intelectual de la UNAD, Artículo 39 sobre la terminación voluntaria y sin restricciones de los derechos de propiedad intelectual de cualquier producto que resulte de esta propuesta. Asimismo, conocemos el contenido del artículo 40 del mismo Acuerdo, relacionado con la autorización de uso de la obra para fines de consulta y mención en los catálogos bibliográficos de la UNAD.

Martha Patricia Aparicio

Martha Patricia Aparicio

Dedicatoria

A Dios por permitirme culminar otra etapa y un nuevo logro en mi vida profesional.

A mi padre por ser mi motor fundamental en este proceso, apoyo y amor incondicional.

En memoria de mi abuela por enseñarme a ser una guerrera de la vida.

Martha Patricia Aparicio.

Agradecimientos

Gracias a la directora del proyecto, Ing. Martha Barrera Hernández, por su apoyo y conocimientos para desarrollar efectivamente este proyecto.

Gracias a cada uno de los tutores de los cursos de maestría por su apoyo y orientación oportuna en la adquisición de conocimientos.

Agradecimiento al Ingeniero Cristian Giovanny Palencia Blanco, por sus conocimientos brindados, apoyo y guía durante este proceso.

Resumen

La calidad del chocolate depende de una serie de factores, incluyendo aspectos genéticos, climáticos y las condiciones durante las etapas de manejo poscosecha, tales como el proceso de fermentación, secado y tostado; esenciales para transformar el grano fresco en una variedad de productos, el resultado de estos procesos define una cadena de transformaciones físicas, químicas y bioquímicas que experimenta el grano determinando así el desarrollo de su composición volátil.

Por consiguiente, esta investigación se centró en una revisión bibliográfica sobre el análisis de los principales compuestos volátiles presentes en la etapa de fermentación del cacao y su influencia en los atributos sensoriales. Los resultados obtenidos revelaron hallazgos significativos que fundamenta que la fermentación del cacao es uno de los procesos más importantes para el desarrollo de compuestos volátiles como aldehídos, cetonas, alcoholes, ésteres, ácidos y pirazinas esenciales para los atributos sensoriales del cacao y sus derivados; se han identificado aproximadamente 600 compuestos volátiles responsables del sabor y el aroma, y una correlación de perfiles sensoriales que definen la calidad del cacao. Conforme a ello los alcoholes, ésteres y ácidos carboxílicos son los responsables del aroma del cacao, indicando que en la etapa de secado se desarrollan fracciones volátiles como ácidos y alcoholes, en la etapa de tostado adoptan las propiedades organolépticas más importantes donde se genera la presencia de pirazinas y furanonas; donde finalmente se producen las notas aromáticas como chocolate, nuez y tostado, que definen el aroma final del cacao.

Se han implementado métodos de extracción, identificación y cuantificación de compuestos volátiles en el cacao con el fin de determinar específicamente cuáles contribuyen en mayor proporción al sabor y aroma en las diferentes matrices de cacao. Esto ha permitido obtener la caracterización sensorial del licor de diversas variedades de cacao mediante la aplicación de

diferentes métodos de fermentación y el uso de prototipos que ha llevado a una mejor comprensión de los factores que influyen en el sabor y aroma del cacao.

Gracias a estos avances los productores y procesadores pueden optimizar los procesos de fermentación y tostado para lograr cacao de calidad con el perfil sensorial deseado.

Palabras claves: Cacao, calidad, perfil sensorial.

Abstract

The quality of chocolate depends on a number of factors, including genetic aspects, climate and the conditions during the post-harvest handling stages, such as fermentation, drying and roasting, essential to transform the fresh bean into a variety of products, the result of these processes defines a chain of physical, chemical and biochemical transformations that the bean undergoes, thus determining the development of its volatile composition.

Therefore, this research focused on a literature review on the analysis of the main volatile compounds present in the fermentation stage of cocoa and their influence on sensory attributes. The results obtained revealed significant findings that cocoa fermentation is one of the most important processes for the development of volatile compounds such as aldehydes, ketones, alcohols, esters, acids and pyrazines essential for the sensory attributes of cocoa and its derivatives; approximately 600 volatile compounds responsible for flavour and aroma, and a correlation of sensory profiles that define the quality of cocoa have been identified. Accordingly, alcohols, esters and carboxylic acids are responsible for the aroma of cocoa, indicating that in the drying stage volatile fractions such as acids and alcohols are developed, in the roasting stage they adopt the most important organoleptic properties where the presence of pyrazines and furanones is generated; where finally aromatic notes such as chocolate, nutty and roasted are produced, which define the final aroma of cocoa.

Methods of extraction, identification and quantification of volatile compounds in cocoa have been implemented in order to determine specifically which ones contribute most to flavour and aroma in the different cocoa matrices. This has led to the sensory characterisation of liquor from different cocoa varieties through the application of different fermentation methods and the

use of prototypes, which has led to a better understanding of the factors that influence cocoa flavour and aroma.

Thanks to these advances, producers and processors can optimise the fermentation and roasting processes to achieve quality cocoa with the desired sensory profile.

Keywords: Cocoa, quality, sensory profile.

Tabla de contenido

| | |
|--|-----------|
| Introducción..... | 16 |
| Planteamiento de problema..... | 19 |
| Justificación..... | 20 |
| Objetivo general..... | 22 |
| Objetivos específicos..... | 22 |
| Marco referencial | 23 |
| Cacao | 23 |
| Estructura de la semilla de cacao..... | 23 |
| Factores determinantes en la calidad de cacao..... | 24 |
| Especies del género <i>Theobroma cacao L</i>..... | 25 |
| Cacao fino y de aroma..... | 26 |
| Poscosecha del cacao | 27 |
| Fermentación | 27 |
| Indicadores de fermentación en el grano de cacao..... | 29 |
| Secado | 29 |
| Tostado | 30 |
| Descascarillado | 31 |
| Molienda..... | 31 |
| Almacenamiento | 31 |
| Características de los tipos de grano de cacao..... | 31 |
| Métodos de fermentación..... | 33 |
| Indicadores de la calidad física del cacao..... | 34 |

| | |
|---|-----------|
| Norma Técnica Colombiana NTC 1252 | 34 |
| Composición química del cacao | 35 |
| Ácidos orgánicos | 36 |
| Compuestos volátiles | 36 |
| Aldehídos..... | 36 |
| Cetonas | 37 |
| Alcoholes..... | 38 |
| Esteres..... | 38 |
| Ácidos carboxílicos | 39 |
| Pirazinas | 39 |
| Furanonas..... | 40 |
| Perfil sensorial del grano de cacao..... | 41 |
| Atributos sensoriales | 42 |
| Identificación de sabores y aromas en los granos del cacao | 43 |
| Sabores básicos | 43 |
| Sabores específicos..... | 44 |
| Sabores adquiridos | 45 |
| Matriz de la sistematización de la información | 46 |
| Operadores booleanos | 47 |
| Diseño metodológico..... | 48 |
| Diseño de la investigación | 50 |
| Tipo de estudio..... | 50 |
| Análisis y discusión de Resultados | 52 |

| | |
|--|-----------|
| Etapa 1. Búsqueda de información a partir de una revisión de la literatura científica y estado de arte. | 52 |
| Etapa 2. Énfasis investigativo para determinar el desarrollo de los compuestos volátiles presentes en la etapa de fermentación del cacao y su influencia en los atributos sensoriales. | 66 |
| Etapa 3. Elaboración de la matriz de la sistematización de la información | 77 |
| Conclusiones..... | 88 |
| Recomendaciones..... | 90 |
| Bibliografía..... | 91 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. <i>Corte anatómico del Grano de Cacao L.....</i> | 24 |
| Figura 2. <i>Especies del Género Theobroma cacao L.....</i> | 26 |
| Figura 3. <i>Fermentación del Grano de Cacao.....</i> | 27 |
| Figura 4. <i>Prueba de Corte en los Granos de Cacao.....</i> | 32 |
| Figura 5. <i>Ficha de Catación de las Características Sensoriales de Granos y Licor de Cacao por un Panel de Jueces.....</i> | 41 |
| Figura 6. <i>Rueda de Aromas Propuesta para Cacaos.....</i> | 42 |
| Figura 7. <i>Diagrama de la Extracción de los Compuestos Volátiles Presentes en la Etapa de Fermentación del Grano de Cacao.....</i> | 48 |
| Figura 8. <i>Diagrama de Flujo Metodología de Investigación.....</i> | 50 |
| Figura 9. <i>Investigaciones Relacionadas en la Determinación de Compuestos Volátiles en Granos de Cacao.....</i> | 54 |
| Figura 10. <i>Evolución de los Compuestos No Volátiles Azúcares.....</i> | 67 |
| Figura 11. <i>Evolución de los Compuestos Ácidos No Volátiles.....</i> | 67 |
| Figura 12. <i>Compuestos Volátiles Presentes en el Cacao Fresco y Fermentado.....</i> | 72 |
| Figura 13. <i>Compuestos Volátiles que se Desarrollan Durante el Proceso de Secado.....</i> | 73 |
| Figura 14. <i>Compuestos Volátiles más Identificados.....</i> | 74 |
| Figura 15. <i>Matriz de Búsqueda y Sistematización de la Información.....</i> | 78 |
| Figura 16. <i>Resultados Ecuaciones de Búsqueda</i> | 80 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. <i>Factores Determinantes en la Calidad de Cacao</i> | 25 |
| Tabla 2 <i>Parámetros de Calidad del Grano de Cacao.</i> | 35 |
| Tabla 3 <i>Clasificación de los Aldehídos</i> | 37 |
| Tabla 4 <i>Clasificación de las Cetonas</i> | 37 |
| Tabla 5 <i>Clasificación de Alcoholes.</i> | 38 |
| Tabla 6 <i>Clasificación de los Esteres</i> | 38 |
| Tabla 7 <i>Clasificación de Acidos Carboxílicos</i> | 39 |
| Tabla 8 <i>Clasificación de Pirazinas</i> | 40 |
| Tabla 9 <i>Clasificación de Furanonas</i> | 40 |
| Tabla 10 <i>Documentos arrojados de las diferentes fuentes bibliográficas</i> | 53 |
| Tabla 11 <i>Propiedades Físicas del Cacao en Grano según Distintos Métodos de Fermentación.</i> | 57 |
| Tabla 12. <i>Propiedades Químicas y Bromatológicas de los Granos de Cacao Aplicando varios Métodos de Fermentación.</i> | 59 |
| Tabla 13 <i>Ventajas y Desventajas del Uso de los dos Métodos de Secado.</i> | 61 |
| Tabla 14 <i>Características Sensoriales del Grano de Cacao con la Aplicación de Diferentes Métodos de Fermentación y Secado.</i> | 63 |
| Tabla 15 <i>Compuestos Volátiles Identificados del Cacao y las Notas Odoríficas Producidas.</i> | 68 |
| Tabla 16 <i>Ecuaciones de Búsqueda Operadores Booleanos.</i> | 79 |
| Tabla 17 <i>Matriz de la Información.</i> | 82 |

Introducción

El cacao es un alimento altamente nutritivo, su producción se deriva prácticamente de las necesidades de la industria de transformación que sustenta la industria mundial de productos del cacao y sus derivados (Meza, 2017). *Theobroma cacao L.*, es el nombre científico que se menciona al árbol del cacao con una gran variedad de especies del género clasificadas en tres grupos genéticos (forastero, criollo y trinitario), nativo de regiones tropicales subtropicales de América del Sur y tropical (Quevedo, 2018). Colombia es el décimo país con la mayor producción de cacao mundial, generando 69 mil toneladas de cacao en el 2021 (FEDECACAO, 2021). Actualmente se destaca que el 95% del cacao producido en Colombia es clasificado como fino, de aroma y sabor por el comité ICCO (Organización Internacional del Cacao) siendo el departamento de Santander el principal productor a nivel nacional, con una participación del 42% de la producción total (Minagricultura, 2021). El cacao en grano es la materia prima principal para la producción de licor de cacao y una amplia variedad de chocolates, clasificándose según su composición en amargos, semiamargos, blancos y otros tipos (Ramos, 2013). Es importante destacar que el cacao y sus derivados pueden ser caracterizados física, química y organolépticamente, siendo la evaluación sensorial el factor determinante para reconocer un cacao de calidad (García *et al* 2021). La calidad del cacao se desarrolla a lo largo de las diferentes etapas de transformación, como la fermentación, secado y tostado, con el fin de obtener productos que presenten buenas características organolépticas (Wacher, 2011). El proceso de cata se utiliza en todo el mundo para la caracterización sensorial del grano de cacao, que permite identificar atributos sensoriales característicos de un cacao y estudiar la correlación de los compuestos volátiles que determinan su color, aroma y sabor, definiendo su calidad (Palencia, 2020).

Los granos de cacao se distinguen por estar cubiertos de una pulpa dulce y mucilaginosa que contiene aproximadamente un 80% de agua. Esta agua es esencial para el desarrollo de los precursores del sabor durante el proceso de fermentación (Mestanza *et al.*, 2021). La fermentación es una de las etapas más importantes en el proceso de transformación del cacao en grano. Durante esta fase, ocurren una serie de reacciones bioquímicas, enzimáticas y microbiológicas que son fundamentales para el desarrollo de compuestos volátiles. La primera etapa implica la fermentación anaeróbica de los azúcares del mucílago en un medio donde las levaduras presentes, como *S. cerevisiae*, *K. marxianus* y *C. castelli*, se propagan fácilmente, y transforman el mucílago azucarado en alcohol y dióxido de carbono, cuando aumenta la temperatura la capa de pulpa disminuye y genera penetración de aire (Racine *et al.*, 2019). La segunda etapa genera una fermentación aeróbica que favorece la oxidación del alcohol a ácido acético y con la intervención de bacterias acéticas *Gluconobacter oxydans*, *Acetobacter aceti*, *Acetobacter pasteurianus*, *Acetobacter syzygii* y *Acetobacter fabarum*, *Acetobacter syzygii* y *Acetobacter fabarum* causan la muerte del embrión al penetrar en el tejido cotiledonario, que al entrar en contacto con los polifenoles y las proteínas, generan reacciones hidrolíticas que dan lugar a cambios en los pigmentos cianurilucósidos de los granos de cacao (García *et al.* 2021). Cuando el oxígeno tiene entrada a los cotiledones durante la fase de condensación oxidativa, el color de la superficie de los granos se torna marrón oscuro provocando el inicio de la formación de precursores del sabor a chocolate y el desarrollo de perfiles sensoriales específicos como floral, afrutado, nuez, malta, que enriquecen las a los cacaos finos de aroma (Quevedo, 2018). Existe un gran potencial genético biodiverso en el cacao, con aproximadamente 600 compuestos volátiles identificados como responsables del sabor y aroma. Entre estos compuestos se encuentran las pirazinas, aminas, amidas, ácidos carboxílicos, ésteres, aldehídos, polifenoles,

nitrilos, compuestos azufrados, furanos, oxazoles, cetonas y alcoholes, que son únicos y complejos, definiendo los principales atributos de los perfiles sensoriales (Palencia, 2020).

Este trabajo, se centró en el análisis de investigaciones que exploran la influencia del proceso de fermentación en el grano de cacao, así como en el desarrollo de los principales compuestos volátiles durante este proceso y su influencia en los perfiles sensoriales.

Planteamiento de problema

El perfil sensorial no apto en la calidad del cacao puede tener un impacto significativo en la percepción del producto final (Ramos, 2013). La presencia de atributos sensoriales no deseables, como amargor excesivo, astringencia pronunciada o sabores indeseados, puede afectar negativamente la experiencia sensorial del consumidor y la aceptación del chocolate (Morales, 2020). Estudios han demostrado que factores como el proceso de fermentación, tostado y manejo postcosecha influyen en el perfil sensorial del cacao y por ende, en la calidad del producto final (Teneda, 2016). La falta de control en estos procesos puede llevar a la presencia de sabores no característicos, texturas inadecuadas o aromas indeseables que afectan la percepción sensorial del chocolate (Morales, 2020). Por lo que la complejidad radica en determinar qué compuestos volátiles específicos contribuyen de manera significativa al sabor y aroma del cacao en sus diferentes matrices (Murcia *et al.*, 2022). Esto implica analizar cómo las variaciones en el proceso de fermentación afectan la composición de compuestos volátiles y la relación de los atributos sensoriales del cacao a través de la implementación de prototipos y técnicas innovadoras (Aldave, 2016).

Conforme a lo anterior, esta investigación se centró en realizar la recopilación de información en base a los resultados obtenidos por diferentes autores en relación con investigaciones de principales compuestos volátiles que se desarrollan durante la etapa de fermentación del grano de cacao y su influencia en el perfil sensorial; generando la siguiente pregunta: ¿cuáles son los compuestos volátiles realmente importantes y cuáles no son significativos para definir la calidad del grano de cacao y su influencia en el perfil sensorial?

Justificación

Existe un potencial genético del cacao (*Theobroma cacao L.*); identificando una amplia variedad de compuestos volátiles que definen el perfil sensorial del cacao a lo largo de la etapa de procesamiento, donde se consideran importantes aspectos de calidad en cuanto al valor comercial del cacao, obteniendo sabores y aromas únicos y complejos del chocolate. (Mori *et al.*, 2021). El grano de cacao crudo tiene un desagradable sabor astringente, por lo que debe ser tratado mediante un proceso en el que los microorganismos, a través de la fermentación modifican sus componentes y son esenciales en el desarrollo de los precursores del sabor y el aroma del chocolate (Fadel *et al.*, 2006). No se conoce en detalle qué compuestos determinan el sabor del chocolate, sin embargo, se ha encontrado a partir de investigaciones una correlación de perfiles sensoriales basados en atributos sensoriales como el cacao, floral, afrutado, a nuez, caramelo, acidez, amargor, astringencia y verdor (Kongor *et al.*, 2016). La intensidad y la interacción de los componentes del sabor del cacao alimentan las particularidades de los perfiles sensoriales de los distintos orígenes y variedades de cacao (Reed, 2010). Además, las buenas prácticas para el control de estos procesos contribuyen al desarrollo de la expresión sensorial buscada en los productos finales, permitiendo la identificación del perfil sensorial del chocolate, como el sabor, el olor, el brillo, el sonido al masticar y la textura (Bonvehí, 2005).

Por lo anterior el presente trabajo se enfocó en el análisis de investigaciones relacionadas en la Influencia del proceso de fermentación en el grano de cacao y el desarrollo de los principales compuestos volátiles para definir perfiles sensoriales (Wacher, 2011). Y se fundamenta que esta investigación tendría un impacto significativo e informativo para diversos actores como productores de cacao la cual permitiría comprender mejor cómo la fermentación afecta la calidad sensorial del cacao, lo que podría mejorar sus prácticas de fermentación para

producir granos de mayor calidad y con perfiles sensoriales deseables (Mori *et al.*, 2021). En la industria chocolatera podría utilizar esta información para seleccionar cacaos con perfiles sensoriales específicos que se ajusten a las preferencias del consumidor, lo que podría resultar en la creación de chocolates con sabores y aromas únicos y complejos así como investigaciones que contribuiría al avance del conocimiento científico en el campo de la química del cacao, proporcionando datos valiosos sobre los compuestos volátiles responsables de los perfiles sensoriales del cacao y el chocolate (Morales, 2020).

Objetivos

Objetivo general

Analizar los principales compuestos volátiles presentes en la fase de fermentación del cacao y su influencia en los atributos sensoriales del grano a partir de una revisión bibliográfica.

Objetivos específicos

Establecer mediante una metodología de revisión bibliográfica la información del estado del arte del objeto de estudio.

Comparar los métodos de fermentación y su influencia en el desarrollo de compuestos volátiles en el perfil sensorial del grano de cacao.

Identificar a través de sistematización de la información los principales compuestos volátiles que favorecen la calidad sensorial del grano de cacao durante la etapa de fermentación y su influencia en el perfil sensorial.

Marco referencial

El referente teórico se aborda desde la revisión de los elementos conceptuales como marco de interpretación de los elementos de investigación para una mejor comprensión, y un referente contextual que permita entender el entorno y aspectos relacionados con los estudios del desarrollo de los principales compuestos volátiles presentes en la etapa de fermentación del cacao y su influencia en los atributos sensoriales del grano.

Cacao

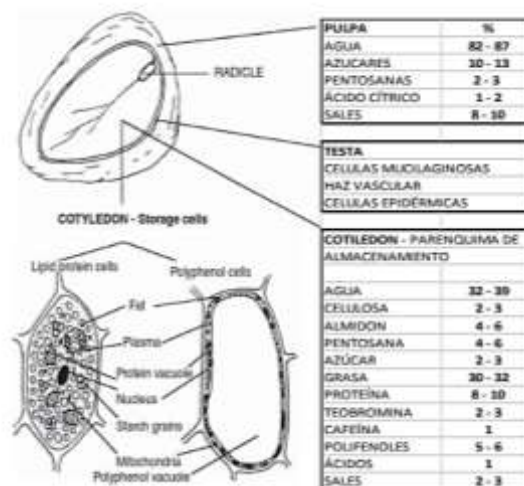
El nombre científico que recibe el árbol del cacao *Theobroma cacao L.*, perteneciente a la familia Malvaceae nativo de regiones tropicales y subtropicales de América del sur, comprende un gran número de variedades y una enorme diversidad genética el fruto puede alcanzar una longitud de 15 a 25 cm y un peso aproximado entre 200 g y 1000g además cada fruto contiene entre 30 y 40 semillas, cotiledones de color blanco, púrpura o marrón rojizo dependiendo del genotipo (Ramos, 2013). Se caracteriza por ser la principal materia prima para las industrias de confitería y producción de chocolate; antiguamente se utilizaba en algunas tribus indígenas de América Central y del Sur, lo que le daba una gran variedad de usos y debido a su alto valor, era utilizado como moneda por algunas tribus chichimecas, toltecas y aztecas (Solórzano et al., 2018).

Estructura de la semilla de cacao

Las semillas de cacao son elipsoides y ovoides compuestas por dos cotiledones y un pequeño embrión que incluye radícula y plúmula (Erazo, 2019). Este último elemento toma la forma de un cilindro corto de color blanquecino, precursor del tallo y la raíz de la planta. Las semillas contienen un endospermo el cual forma una fina membrana conocida como cascarilla que recubre los cotiledones en su superficie, poseen células mucilaginosas que dan lugar a la

pulpa. Estas semillas albergan sustancias de reserva tales como lípidos, almidón, proteínas y polifenoles (Solarte, 2021). El mucílago, de color blanco amarillento, contiene agua, azúcares, pentosas, ácido cítrico y pectina como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Corte anatómico del Grano de Cacao.



Nota: La figura describe el Corte anatómico del grano de cacao, y los componentes anatómicos. Tomado de “diseño de un fermentador y secador solar piloto, para dos variedades de cacao (*Theobroma cacao L*), en el cantón el empalme Provincia Guayas”. Fuente: (Erazo, 2019).

Factores determinantes en la calidad de cacao

El sabor del cacao presenta un perfil sensorial distintivo con notas específicas dependiendo del genotipo de cacao. El potencial del sabor único a chocolate puede ser atribuido por el contenido de hidratos de carbono, proteínas, grasas y polifenoles, así como el beneficio del proceso de transformación como la fermentación, secado y tostado. En la tabla 1, se describen los factores que son determinantes para garantizar las condiciones óptimas para el desarrollo de compuestos aromáticos deseados (Solarte, 2021).

Tabla 1.*Factores Determinantes en la Calidad de Cacao.*

| Factores | Descripción |
|-----------------------------------|---|
| Genotipo de cacao | El genotipo es un factor crucial para conocer un cacao de calidad (Palencia, 2020). |
| Condiciones agroecológicas | Las condiciones climáticas favorecen la producción de cacao en términos de productividad y calidad (Solarte, 2021). |
| Poscosecha | El objetivo del proceso poscosecha es adaptar el cacao a unas condiciones que le permitan expresar sus cualidades y mejorar su aceptación (Leal <i>et al.</i> , 2008) |

Fuente: Autoría propia. (2024)

Especies del género *Theobroma cacao L.*,

El potencial de sabor del cacao depende en cierta medida de la variedad que se recolecte, por lo que se ha identificado una gran variabilidad de especies del género *Theobroma cacao L.*, que pueden clasificarse en tres grupos genéticos: forastero, criollo y trinitario, como se muestra en la figura 2 (Salous, 2019).

- **Criollo:** Típicamente tiene vainas rojas o amarillas algunas pueden ser verdes o blancas, varían de púrpura claro a blanco, son redondas y llenas, se caracterizan por tener un sabor más fino que otras variedades de cacao; el cacao resultante de esta variedad contiene un sabor complejo a diversas frutas y especias consideradas como granos de sabor (Morales, 2020).
- **Forastero:** Es un cacao de origen amazónico cuya mazorca está protegida por una cáscara gruesa, que salvaguarda las semillas en su interior. La superficie de la mazorca es relativamente lisa, adoptando una forma bulbosa, y presenta colores que varían entre rojo, amarillo, naranja y púrpura. Sus granos, de un distintivo color púrpura oscuro, son

relativamente planos en comparación con los de la variedad Criollo. Esta variedad se destaca por su intenso sabor a chocolate y generalmente, los granos se clasifican dentro de la categoría de "granos a granel" (Morales, 2020).

- **Trinitario:** originario de la isla de Trinidad, es la fuente de los aromas utilizados para realzar el sabor del chocolate, contiene granos planos y de color púrpura se caracteriza ser de sabor más fino, es muy utilizada en la industria chocolatera por su fino sabor y creada para crear chocolates de primera calidad (Steinau, 2019).

Figura 2. *Especies del Género Theobroma cacao L.*



Nota: La figura muestra especies del género *Theobroma cacao L.*,

Fuente: (Steinau, 2019).

Cacao fino y de aroma

Un cacao fino y aromatizado es una clasificación según la Organización Internacional del Cacao (ICCO), lo define por aromas y sabores afrutados, florales, a nuez y a malta, procedentes en su mayoría de granos de cacao criollo y trinitario, que difieren en aroma y sabor de los granos de cacao forastero. La variabilidad genética del cacao influye en las características del grano, el sabor, el color, el tamaño, el contenido de manteca y, principalmente, en el perfil sensorial generado a partir de la fase de fermentación (Steinau, 2019).

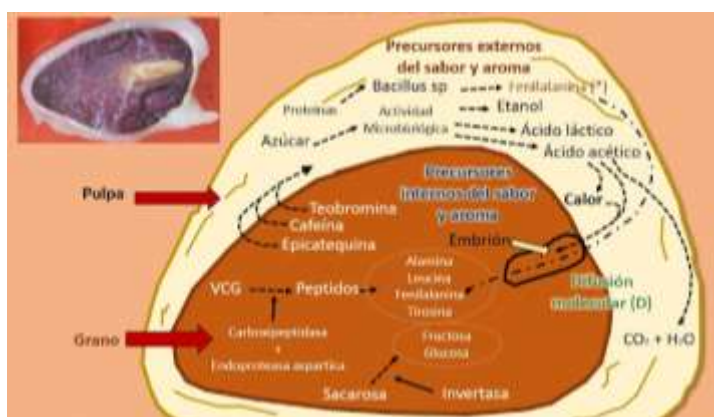
Poscosecha del cacao

La postcosecha tiene como finalidad adaptar el cacao a condiciones que le permitan expresar sus cualidades y mejorar su aceptación en el mercado, se caracteriza por ser la etapa de transformación más importantes (Leal *et al.*, 2008). Este proceso modifica las condiciones físicas, químicas y organolépticas para el desarrollo de compuestos aromáticos que definen la calidad y su respectiva transformación (Solarte, 2021). Las etapas que comprende el beneficio del cacao es la fermentación, secado, tostado, descascarillado, molienda y almacenamiento (Palencia, 2020).

Fermentación

Este proceso es una parte esencial de la transformación del cacao crudo en chocolate, la fermentación en el cacao implica dos fenómenos distintos no independientes, el microbiano que contribuye a la eliminación de la pulpa mucilaginosa presente en los granos de cacao; y las reacciones bioquímicas internas en los cotiledones que conducen a la modificación de la composición química de los granos y en particular a la formación de los precursores del aroma en los granos de cacao como se muestra en la figura 3 (Steinau, 2019).

Figura 3. Fermentación del Grano de Cacao.



Nota: La figura describe las reacciones bioquímicas de Fermentación del grano de cacao.

Fuente: (Beckett, 2009).

La fermentación del grano comienza con levaduras de diferentes especies, como *Pichia kudriavzevii*, *Candida silvae*, *Candida zemplinina*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida krusei* y *Hanseniaspora guilliermondii*; estas levaduras están encargadas de transformar los azúcares simples de la pulpa en etanol durante este proceso, también degradan la pectina, lo que modifica la textura del grano, y eliminan el ácido cítrico, reduciendo la acidez (Beckett., 2009). A medida que las levaduras consumen oxígeno, crean un ambiente anaeróbico propicio para el desarrollo de bacterias lácticas, como *Lactobacillus collonides*, *Lactobacillus mali*, *Leuconostoc pseudoficulneum*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus fermentum*, *Leuconostoc pseudomesenteroides* y *Pediococcus acidilactici* estas bacterias fermentan los carbohidratos residuales y continúan el consumo de ácido cítrico (Rodríguez *et al.*, 2012). Las bacterias acéticas *Acetobacter pasteurianus*, *Gluconobacter oxydans*, *Acetobacter aceti*, *Acetobacter syzygii* y *Acetobacter fabarum* son las principales especies involucradas en la transformación del etanol producido por las levaduras en ácido acético durante la fermentación del cacao (Steinau, 2019). Esta reacción exotérmica produce calor y lleva a la concentración del etanol y del ácido acético en el interior de los granos, lo que a su vez matan al embrión y favorecen el desarrollo de bacterias del género *Bacillus*, como *B. licheniformis*, *B. megaterium*, *B. pumilus* y un grupo pequeño de *B. subtilis*, *B. megaterium* y *B. pumilus*. Estas bacterias producen numerosas enzimas que catalizan reacciones que dan lugar a sabores y olores desagradables en el cacao, por lo que la fermentación es clave ya que, si no se controla y se prolonga demasiado, se produce un crecimiento de bacterias consideradas de deterioro como *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Escherichia*, así como mohos *Aspergillus A. glaucus*, *A. flavus*, *A. niger*, *A. tamarisii* y especies de *Penicillium* y *Mucor*, que darían lugar a pH 7 y producir olores pútridos que afectan directamente la calidad del grano de cacao (Wacher, 2011).

Indicadores de fermentación en el grano de cacao.

Los indicadores de la fermentación del grano de cacao comprenden varias etapas. La primera etapa, conocida como fermentación alcohólica, involucra la liberación de agua y CO₂, lo que resulta en un aumento de la temperatura de aproximadamente hasta 45°C el pH inicial de la pulpa es de alrededor de 4,5, lo que generalmente favorece la proliferación de levaduras. (Rojas *et al.*, 2021). En la segunda etapa se produce la fermentación acética, al formarse el alcohol por la fermentación del azúcar, la temperatura aumenta entre 42 - 52° C y el pH sube 5 - 6, en esta etapa se volatiliza parte del ácido acético y produce el sabor característico del cacao (Peña *et al.*, 2021). En la tercera etapa el ácido acético comienza a salir del interior del grano, por lo que su pH interno aumenta a un valor de 7, la temperatura oscila entre 48°C y 51°C, en este proceso se termina de volatilizar el ácido acético y muere el embrión y mejora el sabor y predomina el color café de los granos debido a la oxidación de los polifenoles y la disminución de las antocianinas (Steinau, 2017) .

Secado

En los granos de cacao su proceso de secado se lleva a cabo hasta que el contenido de humedad se reduce del 60% al 7% aproximadamente, permitiendo las reacciones bioquímicas en los granos fermentados; en esta fase sucede la degradación de polifenoles y ácido acético, permitiendo el desarrollo de los nuevos componentes de sabor, y a la pérdida de integridad de la membrana, obteniendo la formación de color marrón (Bach, 2022). En este proceso, los azúcares reductores participan en reacciones de pardeamiento no enzimáticas conocidas como reacciones de Maillard donde se forma las fracciones volátiles de pirazina (Moreno, 2012).

Tostado

El proceso implica elevar la temperatura de los granos de cacao para iniciar una serie de procesos químicos en su interior, lo cual garantiza las propiedades aromáticas y el sabor adecuados (Celi *et al.*, 2020). El tiempo y la temperatura del proceso de tostado dependen de varios factores, como las características físicas y químicas de los granos, el genotipo y el producto final deseado (Brito *et al.*, 2001). Existen varios métodos para realizar el proceso de tostado: el convencional y el tostado previo, pero también hay métodos innovadores como el calentamiento por infrarrojos (IR) o diseños de prototipos (Palacios, 2016). El proceso de tostado convencional, el más comúnmente utilizado, implica tostar las semillas aún con cáscara en hornos industriales a temperaturas que oscilan entre 100 y 150 °C durante 15 o 45 minutos, respectivamente (Bach, 2022). El tostado previo implica someter las semillas a un tratamiento térmico a temperaturas inferiores a 100 °C durante breves periodos de tiempo (Rodríguez *et al.*, 2012). Los granos fermentados y secos desarrollan precursores químicos que, mediante el tostado, se transforman en el sabor y el aroma característicos del cacao. Este proceso favorece la reducción parcial del ácido acético y la astringencia del grano, lo que permite disminuir las concentraciones de ácidos volátiles y la oxidación de los polifenoles, respectivamente (Mori *et al.*, 2021; Solarte, 2021). Los principales cambios en el grano se derivan de las reacciones de Maillard, un complejo conjunto de reacciones químicas que tienen lugar entre los azúcares y los aminoácidos libres en el cacao en grano, siendo crucial para el desarrollo de la calidad organoléptica (Zapata *et al.*, 2015). Esta reacción genera una variedad de compuestos, tales como alcoholes, ácidos carboxílicos, cetonas, ésteres, aldehídos, aminas y pirazinas, que son responsables del sabor y el aroma del chocolate (Palacios, 2016).

Descascarillado

El descascarillado es el proceso en el que se elimina la cáscara del grano de cacao después de ser tostado. Esta cáscara es la cubierta exterior del grano y es esencial para el proceso de transformación en licor de cacao (Rodríguez *et al.*, 2012). En este proceso existen dos variantes importantes: una es el tostado previo del grano junto con su cáscara a bajas temperaturas, y la otra es la variante que se realiza en el descascarillado previo, hasta alcanzar el punto deseado (Rijel, 2005).

Molienda

Para producir licor de cacao se muelen las almendras de cacao, luego las partículas son suspendidas en manteca fundida (Fernández *et al.*, 2022). La temperatura y la intensidad de la molienda varían en función del tipo de cacao en grano utilizado y de las especificaciones del producto final (Imbaquingo & Ávila, 2012).

Almacenamiento

El licor de cacao debe ser protegido de la contaminación por sabores y olores extraños. Se recomienda almacenarlo refrigerado, a una temperatura inferior a 4°C, y envasarlo al vacío para prevenir el contacto con la humedad y los contaminantes (Palencia, 2020).

Características de los tipos de grano de cacao

La presentación externa del grano es fundamental para definir su calidad. El aspecto físico e interno es crucial para los fabricantes de chocolate, ya que seleccionan los granos en función de las características que presentan, como su variedad o genotipo (Erazo, 2019).

El método utilizado para evaluar la calidad del grano se conoce como la prueba del corte consiste en cortar longitudinalmente cada grano y examinar la mitad para evaluar el grado de fermentación (Cano, 2008), como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Prueba de Corte en los Granos de Cacao.



Nota: La figura muestra la prueba de corte en granos de cacao para determinar su estado de madurez. Fuente: (Cano, 2008),

- **Granos de cacao fermentado:** Granos con cotiledones de color marrón o marrón rojizo y estrías profundas.
- **Granos de cacao violeta:** Granos que muestran color violeta en al menos la mitad de la superficie expuesta de los cotiledones.
- **Granos de cacao pizarrosos:** Granos sin fermentar de color gris negruzco o verdoso y aspecto compacto en la mitad o más de la superficie expuesta.
- **Granos de cacao mohosos:** Granos que han sufrido un deterioro parcial o total de su estructura interna debido a la acción de mohos.

- **Granos de cacao con defecto:** son aquellos que presentan algún daño por insectos o deterioro en su estructura por algún tipo de perforación, que han sufrido un deterioro por el proceso de germinación, las almendras que se producen por enfermedades o por una mala manipulación post-cosecha, las almendras cuyos cotiledones se han atrofiado hasta tal punto que al cortar la semilla y no es posible obtener una superficie completa de los cotiledones (González, 2016).

Métodos de fermentación

La fermentación del cacao puede realizarse de forma natural o artificial, los métodos más utilizados son en cajones de madera, sacos de fibra y en pilas; sin embargo, para buscar mejores rendimientos de fermentación se han innovado nuevos métodos o prototipos como la caja giratoria o la fermentación mediante contenedores de madera escalonados, métodos que permiten un rápido aumento de la temperatura durante la fermentación (Gonzales, 2021).

- **Fermentación en material de lona:** consiste en colocar los granos de cacao sobre lonas de fibra, plástico u otro material, cubiertas con hojas de plástico o de plátano para preservar la temperatura generada en el interior de los granos y permitir así el drenaje del mucílago (Peña, 2021).
- **Fermentación en montón:** Consiste en aglomerar los granos de cacao en baba en un tendedero hecho con hojas de plátano o palés de madera con espacio suficiente para verter el mucílago (Gonzales, 2021).
- **Fermentación en cajas:** Se trata de un método de fermentación en el que las habas de cacao se colocan en una caja de madera con aberturas de entre 5 y 10 mm para permitir la entrada de aire en la masa de las almendras de cacao.

- **Fermentación en tambor rotatorio de madera:** La fermentación en tambor rotatorio de madera es un método utilizado en el procesamiento del cacao, esencial para desarrollar los precursores del sabor y aroma característicos del chocolate. Durante este proceso, las semillas de cacao recién extraídas de las mazorcas se colocan en tambores o barriles fabricados de madera, que luego se rotan mecánicamente a intervalos regulares (Gonzales, 2021).
- **Fermentación en tambor rotatorio acero inoxidable:** los fermentadores rotativos de acero inoxidable disponen de un sistema de autocontrol que realiza por sí solo las operaciones de agitación, control de la temperatura, aireación y control del pH (Peña, 2021).

Indicadores de la calidad física del cacao

Los indicadores de la calidad física del grano de cacao son determinantes para su aceptación, siguiendo las normas establecidas que regulan su proceso de comercialización. En Colombia, este proceso está estandarizado en la NTC 1252 de 2021, una norma voluntaria que se considera fundamental para regular la calidad del grano de cacao (Fernando *et al.*, 2021).

Norma Técnica Colombiana NTC 1252

La NTC 1252:2021 se enfoca principalmente en la calidad del grano de cacao y define los indicadores de calidad física de manera general. Esta norma establece parámetros como el porcentaje de humedad, índice de fermentación, índice de grano y porcentaje de cascarilla, junto con los métodos analíticos más utilizados y los desarrollos que promueven mejoras en la calidad, como se detalla en la tabla 2 (Norma Técnica Colombiana NTC- 1252, 2021).

Tabla 2*Parámetros de Calidad del Grano de Cacao.*

| Requisitos físicos y químicos | Clasificación del grano de cacao | | |
|---|---|----------|-----------|
| | Premium especial | Estandar | Corriente |
| Granos bien fermentados, un 70% | 70 | 65 | 55 |
| Granos insuficientemente fermentados, presentación color violeta (%) | 30 | 35 | 45 |
| Masa en peso, en gramos de 100 gramos | >120 | 95 – 120 | <95 |
| Contenido de humedad en % fracción de masa, max. | 7,0 | 7,5 | 7,5 |

Nota: La tabla describe los parámetros de calidad del grano de cacao fundamentando requisitos fisicoquímicos y clasificación del grano de cacao. Fuente: NTC 1252 (2021).

Composición química del cacao

El cacao se compone principalmente de grasa, agua, nitrógeno proteico, teobromina, cafeína, glucosa, sacarosa, polifenoles, alto contenido en grasa (Fernando *et al.*, 2021). Tras la fermentación, tostado y secado de los granos, el 60% de la grasa del cacao es saturada, rica en ácidos grasos como el ácido esteárico 34% o el ácido palmítico 28%, también contiene ácidos grasos insaturados como el ácido oleico 35% (Alarcón *et al.*, 2019).

Además, los granos de cacao contienen cantidades significativas de polifenoles, especialmente flavonoides como catequinas (37 % p/p), antocianinas (4 % p/p) y proantocianidinas (58 % p/p). Estas sustancias poseen un alto potencial y contienen procianidinas, que son precursores de sabores como tiazoles, oxisoles, terpenos, furanos, aldehídos, ácidos, entre otros. Asimismo, los granos de cacao contienen azúcares reductores como fructosa y glucosa, así como aminoácidos como leucina, fenilalanina, valina, alanina e

isoleucina, que pueden dar lugar a la producción de pirazinas, un grupo de compuestos aromáticos heterocíclicos. Las diferentes variedades de cacao presentan variaciones en el contenido de procianidinas y pirazinas (Jiménez, 2020). Estos compuestos desempeñan un papel muy importante en la calidad del cacao, especialmente en los perfiles sensoriales: aroma, color y astringencia (Jiménez, 2020).

Ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos representan entre el 1 y 2 % del peso del grano de cacao y se dividen en volátiles y no volátiles. Los ácidos volátiles comprenden los ácidos grasos de cadena corta, compuestos de bajo peso molecular que son fácilmente vaporizables, como los ácidos acético, propiónico, butírico, isobutírico e isovalérico. Por otro lado, los ácidos no volátiles incluyen el ácido oxálico, málico, succínico, cítrico y tartárico (Jiménez, 2020).

Compuestos volátiles

A través de los años e investigaciones se han identificado diferentes compuestos volátiles que desarrollan las principales características de un cacao de calidad (Bonvehí, 2005). La fracción volátil del aroma del cacao procede de precursores formados durante la fermentación y el secado (Bonvehí, 2005). En el cacao tostado se han aislado entre 500 y 600 compuestos volátiles, como aldehídos, ésteres, fenoles, compuestos azufrados, nitrilos, pirazinas, furanos, cetonas, alcoholes, oxazoles y ésteres (Ducki *et al.*, 2008).

Aldehídos

Los aldehídos son compuestos orgánicos con la fórmula general RCHO, R representa una cadena alifática o aromática entre C carbono, Oxígeno y H hidrógeno, se encuentran en fuentes naturales (Montoya, 2002). Estos compuestos se obtienen en bajas cantidades en la fermentación del cacao por oxidación de alcoholes, y en mayores cantidades por degradación Strecker de

aminoácidos libres en la etapa de tostado del cacao (Rodríguez *et al.*, 2012) como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Clasificación de los aldehídos.

| Nombre aldehídos |
|------------------|
| Metanal |
| Etanal |
| Propanal |
| Butanal |

Nota: La tabla muestra los principales compuestos clasificados como aldehídos.

Fuente: (Alvarado et al., 2014).

Cetonas

Las cetonas son compuestos orgánicos y forman parte de grupos funcionales como base de su estructura química contienen átomos de Carbono e Hidrogeno, son hidrocarburos alifáticos y aromáticos (Ortega, 2015). las cetonas ofrecen en el cacao olores importantes como dulces y florales son la acetofenona encontrada en granos de cacao tostados y la acetoína obtenida por la acción de las levaduras en la fermentación y ofrece notas a almendra y mantequilla como se muestra en la tabla 4 (Frauendorfer & Schieberle, 2008).

Tabla 4

Clasificación de las Cetonas.

| Nombre cetonas |
|----------------|
| Propanona |
| Butanona |
| Acetona |
| Etanona |

Nota: La tabla muestra los volátiles clasificados como cetonas. Fuente: (Ortega, 2015).

Alcoholes

Los alcoholes son compuestos orgánicos formados a partir de los hidrocarburos (Pinzón, 2010). En el grano de cacao estos compuestos son obtenidos mayoritariamente en la fermentación por la acción microbiológica y la degradación por calor de los aminoácidos como se muestra en la tabla 5 (Pallares et al., 2016).

Tabla 5

Clasificación de Alcoholes.

| Nombre alcoholes |
|------------------|
| Butanol |
| Hexanol |
| isobutanol |

Nota: La tabla muestra los principales compuestos volátiles clasificados como alcoholes.

Fuente: (Pinzón, 2010).

Esteres

Son compuestos formados por la unión de ácidos con alcoholes generando agua como subproducto (Ramos *et al* 2013). Se caracterizan por ser sustancias orgánicas que se encuentran en muchos productos naturales de origen animal y vegetal; generan olores agradables y son responsables de los aromas de frutas, flores y aceites esenciales (Pinzón, 2010). Son el segundo grupo más importante de los compuestos volátiles después de las pirazinas al final del tostado del cacao, como se muestra en la Tabla 6 (Pallares *et al.*, 2016).

Tabla 6

Clasificación de los Esteres.

| Nombre esterres |
|-------------------|
| Acetato de metilo |
| Acetato de etilo |

Benzoato de metilo

Nota: La tabla muestra los principales volátiles clasificados como ésteres.

Fuente: (Pinzón, 2010).

Ácidos carboxílicos

Los ácidos carboxílicos contienen el grupo carboxilo $-COOH$ (RCO_2H); en la industria, los ácidos orgánicos se utilizan como materia prima en la producción de ésteres como aromatizantes ácidos acéticos (Pinzón, 2010). Los ácidos del cacao son compuestos que se obtienen durante la fase de fermentación; el principal que se obtiene es el ácido acético, que da un fuerte e indeseable olor y sabor a vinagre, como se muestra en la Tabla 7 (Luna *et al.*, 2002).

Tabla 7

Clasificación de Ácidos Carboxílicos.

| Nombre ácidos carboxílicos |
|----------------------------|
| Ácido acético |
| Ácido propanoico |
| Ácido butanoico |
| Ácido pentanoico |
| Ácido bencenoacetico |

Nota: La tabla muestra los principales volátiles clasificados como Ácidos carboxílicos.

Fuente (Montoya, 2002).

Pirazinas

Las pirazinas son un tipo de compuesto orgánico aromático heterocíclico con un gran potencial y muchas de ellas están presentes como agentes aromatizantes en productos naturales y procesados (Vargas, 2012). Son los volátiles más importantes en el desarrollo del sabor y el

aroma del cacao, ofreciendo notas de frutos secos, avellanas, almendras, frutos secos y cacao tostado, como se muestra en la siguiente tabla 8 (Misnawi & Sari, 2011).

Tabla 8

Clasificación de Pirazinas.

| Nombre pirazinas |
|----------------------|
| Metil de pirazina |
| 2,5 dimetil pirazina |
| 2,6 dimetil pirazina |
| Tetrametil pirazina |

Nota: La tabla muestra los principales volátiles clasificados como pirazinas.

Fuente: (Vargas, 2012).

Furanonas

Son compuestos orgánicos heterocíclicos aromáticos de cinco miembros, que incluye un átomo de oxígeno, presente de forma natural en los volátiles de frutas y verduras (Ortega, 2015). Algunas furanonas son compuestos responsables de las notas aromáticas características del cacao, como se muestra en la Tabla 9 (Vega, 2016).

Tabla 9

Clasificación de Furanonas.

| Nombre Furanonas |
|-----------------------|
| 2- Furaldehido |
| 2- Acetilfurano |
| 5-metil-2-Furaldehido |

Nota: La tabla muestra los principales volátiles clasificados como Furanonas.

Fuente: (Alvarado *et al.*, 2014.)

Perfil sensorial del grano de cacao

En el proceso de fabricación, las industrias alimentarias a nivel mundial consideran crucial la evaluación sensorial para tomar decisiones científicas sobre un producto alimentario antes de su lanzamiento al consumidor final (Fernando *et al.*, 2021). En el caso del cacao, esta evaluación permite medir, analizar e interpretar las reacciones a sus propiedades tal y como son percibidas a través de los sentidos (Flórez *et al.*, 2020). En el ámbito del catado, es fundamental considerar que el licor de cacao se evalúa en función de su intensidad y calidad, como se ilustra en la figura 5, que ejemplifica una ficha de cata.

Figura 5. Ficha de Catación de las Características Sensoriales de Granos y Licor de Cacao por un Panel de Jueces.

| CATEGORÍA | INTENSIDAD | DESCRIPCIÓN | ESCALA DE PUNTAJE | PUNTAJE |
|----------------------|------------|------------------------|---------------------|---------|
| Aroma | 0-10 | | | x1= |
| Acidez | 0-10 | | | x1= |
| Amargor | 0-10 | Intensidad del amargor | | x1= |
| Astringencia | 0-10 | Grado de astringencia | | x1= |
| Defectos | 0-10 | | | x2= |
| Sabor | 0-10 | Equilibrio | [Gráfico de barras] | x2= |
| | 0-10 | Dulce | | |
| | 0-10 | Marzo | | |
| | 0-10 | Frutos secos | | |
| | 0-10 | Frutos rojos | | |
| | 0-10 | Flor | | |
| | 0-10 | Otros | | |
| Pos gusto | 0-10 | | | x1= |
| PUNTAJE DE CATEGORÍA | | | | x1= |
| PUNTAJE FINAL | | | | |

| | |
|---------------------------------|------------------------------|
| ESCALA DE INTENSIDAD | ESCALA DE PUNTAJE |
|---------------------------------|------------------------------|

| | |
|-------------------------------|----------------------------|
| ESCALA DE DEFECTOS | ESCALA DE SABOR |
|-------------------------------|----------------------------|

| | |
|------------------------------|-------------------------------|
| ESCALA DE CALIDAD | ESCALA DE DEFECTOS |
|------------------------------|-------------------------------|

Nota: La figura describe una ficha de catación de cacao para evaluar características sensoriales de granos y licor de cacao dirigidos a un panel de jueces diseñada con tecnología APPCACAO. Fuente: (Vera *et al.*, 2020).

Nota: La figura muestra una rueda de aromas para cacaos. Fuente: (Gózales, 2013).

Identificación de sabores y aromas en los granos del cacao

A medida que se identifica la intensidad de cualquier nota sensorial, se cuantifica para determinar su calidad (Ramos, 2013).

Sabores básicos

Los sabores básicos del cacao, especialmente son aquellos que se desarrollan durante el proceso de fermentación, secado y tostado, son fundamentales para la complejidad del chocolate. Es importante destacar que la experiencia de sabor del cacao también puede incluir una amplia gama de notas aromáticas y sabores secundarios, como frutales, florales, herbales, nueces, de madera, y muchos otros, que contribuyen a la riqueza y complejidad del chocolate. Estos sabores son el resultado de la interacción de numerosos factores, desde la genética del cacao hasta las técnicas de procesamiento utilizadas para transformar las semillas de cacao en chocolate (Ochoa, 2021; Rojas *et al.*, 2022).

Los sabores básicos más comúnmente asociados con el cacao:

- **Amargo:** Este es uno de los sabores más característicos del cacao puro y del chocolate oscuro con alto contenido de cacao. El amargor se debe a los polifenoles naturales presentes en las semillas.
- **Ácido:** La acidez es un sabor que puede variar ampliamente en el cacao, influenciado por factores como la fermentación y el origen del cacao. Puede aportar una frescura y complejidad que equilibra el perfil de sabor, con notas que recuerdan a frutas cítricas, bayas o vinagre, dependiendo del tipo de cacao.
- **Dulce:** Aunque el cacao puro es naturalmente amargo, el sabor dulce es típicamente introducido en el chocolate mediante la adición de azúcar. Sin embargo, algunos cacaos

pueden tener notas sutiles que recuerdan a la dulzura, especialmente después de un proceso de fermentación y tostado cuidadoso que resalta estos sabores.

- **Salado:** Aunque no es un sabor inherente al cacao, el contraste con un ligero toque de sal puede intensificar la percepción de otros sabores en el chocolate, especialmente en combinaciones de chocolate con sal marina.
- **Umami:** Aunque menos común y más difícil de identificar en el cacao, el umami (o sabor "sabroso") puede estar presente en algunos chocolates de alta calidad, aportando una profundidad y complejidad adicional al perfil de sabor.

Sabores específicos

Los sabores específicos del cacao pueden variar según diversos factores, incluyendo la variedad de cacao, el proceso de fermentación, secado, tostado y el procesamiento posterior (Ochoa, 2021; Rojas *et al.*, 2022). Los sabores específicos que pueden encontrarse en el cacao y que contribuyen a la complejidad del chocolate son:

- **Frutales:** El cacao puede tener notas que recuerdan a una variedad de frutas, como bayas, ciruelas, cerezas, pasas, naranjas, limones, o incluso frutas tropicales como mango, piña o maracuyá.
- **Florales:** Algunos cacaos pueden presentar sabores delicados y aromas florales, que pueden recordar a rosas, jazmines, violetas o flor de azahar.
- **Herbales:** Se pueden encontrar notas herbales en el cacao, que pueden variar desde hierbas frescas como la menta, la hierbabuena o la albahaca, hasta hierbas más secas como el tomillo, el romero o el eucalipto.

- **Nuez:** Sabores que evocan nueces y semillas, como almendra, avellana, nuez, nuez moscada, semillas de girasol o semillas de sésamo, son comunes en algunos tipos de cacao.
- **Terrosos:** Algunos cacaos pueden tener notas terrosas que recuerdan a tierra húmeda, musgo, o incluso a hongos.
- **Especias:** Se pueden encontrar sabores especiados en el cacao, que pueden incluir canela, clavo de olor, pimienta, vainilla, o incluso toques de pimentón o chile.
- **Maderosos:** Notas que recuerdan a la madera, como cedro, roble, o sándalo, pueden ser presentes en ciertos tipos de cacao.
- **Ahumados:** En ocasiones, el cacao puede tener sabores ahumados, que pueden recordar a la madera quemada o a la ceniza.

Sabores adquiridos

Los sabores adquiridos del cacao se refieren a los sabores que se desarrollan en el cacao durante el proceso de fermentación, secado, tostado y procesamiento posterior. Estos sabores son cruciales para la creación del perfil de sabor característico del chocolate (Morales, 2020; Ochoa & Zamora, 2021).

Algunos de los sabores adquiridos más comunes son:

- **Caramelo:** Durante el proceso de tostado, se pueden desarrollar sabores que recuerdan al caramelo, agregando dulzura y profundidad al perfil de sabor del chocolate.
- **Frutos secos:** El tostado del cacao puede dar lugar a sabores que recuerdan a una variedad de frutos secos, como almendras, avellanas, nueces o cacahuets, que aportan una textura y un sabor característicos al chocolate.

- **Notas de café:** Algunos cacaos pueden desarrollar sabores que recuerdan al café durante el proceso de tostado, añadiendo complejidad y amargor al chocolate.
- **Chocolate:** Aunque pueda parecer redundante, es importante mencionar que el cacao mismo puede desarrollar sabores que recuerdan al chocolate durante el procesamiento. Estos sabores pueden incluir notas de chocolate negro, chocolate con leche o incluso chocolate blanco, dependiendo del tipo de cacao y del proceso de elaboración del chocolate.
- **Vainilla:** Algunos cacaos pueden adquirir notas de vainilla durante el proceso de fermentación y tostado, que añaden un toque de dulzura y aroma al chocolate.
- **Frutas tropicales:** Dependiendo de la variedad de cacao y características ambientales, se pueden desarrollar sabores que recuerdan a frutas tropicales como mango, piña, maracuyá o plátano, añadiendo frescura y complejidad al chocolate.

Matriz de la sistematización de la información

La matriz de la información es la base para organizar fuentes de información e investigación; describe los hechos bajo estudio de una manera comprensible a través de un esquema que permite un mejor entendimiento entre la teoría y la empírica; se denomina datos a través de metodología de la investigación y el dato científico donde se toma una variable en una unidad de análisis, y componentes de unidad de análisis, variable y valor; los autores incorporan elementos de investigación claves a la estructura del dato, es por ello que esta metodología se caracteriza por ser una forma de ordenar los datos de manera que sea visible en toda investigación porque presenta de una manera ordenada y estructurada los resultados para interpretar la realidad con la teoría, esta metodología inicia a partir de investigaciones exploratorias conociendo el objeto de estudio o etapas finales, análisis de los datos obtenidos

aprovechando sus capacidades para resumir un esquema complejo; organizando los hechos como objeto de estudio de forma comprensible donde se denomina dato a través de la metodología de investigación y dato científico que es el valor que toma una variable en una unidad de análisis de cada resultado de investigación. (Lauphan, 2017).

Operadores booleanos

Los operadores son símbolos que se utilizan en la elaboración de una ecuación de búsqueda permiten combinar diferentes términos estableciendo relaciones lógicas entre ellos técnicas de interrogación en búsqueda como documentos claves de búsqueda de acuerdo al objeto de estudio, los operadores más utilizados (AND, NOT, OR y XOR) comunes a la mayoría de las bases de datos (Hernández, 2009).

AND: Este operador se utiliza para combinar dos o más términos de búsqueda y obtener resultados que contengan todos los términos. Por ejemplo, "cacao AND volatil" recuperará resultados que contengan tanto la palabra "cacao" como la palabra "volatil".

OR: Este operador se utiliza para combinar dos o más términos de búsqueda y obtener resultados que contengan al menos uno de los términos. Por ejemplo, "cacao OR chocolate" recuperará resultados que contengan la palabra "cacao", la palabra "chocolate" o ambas.

NOT: Este operador se utiliza para excluir términos específicos de los resultados de búsqueda. Por ejemplo, "cacao NOT oscuro" recuperará resultados que contengan la palabra "cacao" pero que no contengan la palabra "oscuro".

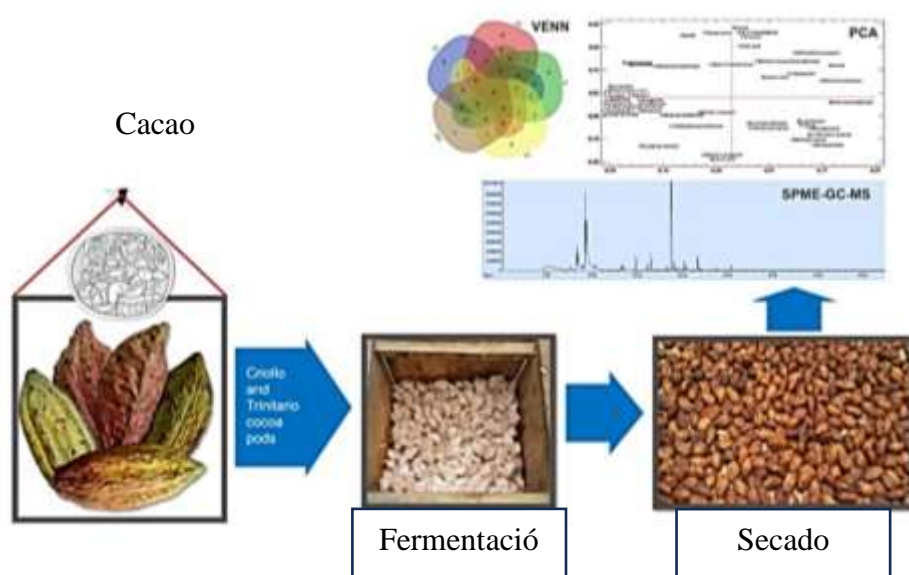
(Paréntesis): Los paréntesis se utilizan para agrupar términos de búsqueda y controlar el orden de evaluación de los operadores booleanos. Por ejemplo, "(cacao OR chocolate) AND fermentación" recuperará resultados que contengan tanto "cacao" o "chocolate", y "fermentación".

Diseño metodológico

La metodología de esta investigación se fundamentó en un estudio monográfico con el propósito de establecer un diseño de investigación.

Conforme a ello, en la figura 7 se realiza una descripción de la extracción de los compuestos volátiles presentes en la etapa de fermentación del grano de cacao y se describe su proceso.

Figura 7. Diagrama de la Extracción de los Compuestos Volátiles Presentes en la Etapa de Fermentación del Grano de Cacao.



Nota: La figura se muestra un diagrama para realizar análisis de compuestos volátiles en granos de cacao. Fuente: (Utrilla *et al.*, 2020)

La metodología para el estudio de compuestos volátiles en el grano de cacao se fundamenta en la extracción y análisis de los compuestos responsables del aroma y sabor característicos del cacao. Esta metodología se estructura de la siguiente manera (Utrilla *et al.*, 2020; Palencia, 2020):

- **Preparación de muestras:** se selecciona las muestras de cacao que son semillas fermentadas, secas, tostadas y molidas, según la variedad y condiciones de cultivo.
- **Extracción de compuestos volátiles:** se utiliza técnicas de extracción como la microextracción en fase sólida con espacio de cabeza (HS-SPME) o extracción con fluidos supercríticos (como CO₂) para obtener los compuestos volátiles de las semillas de cacao.
- **Análisis de compuestos volátiles:** se utiliza cromatografía de gases (GC) para separar y analizar los compuestos volátiles extraídos. La técnica de GC-MS (cromatografía de gases-espectrometría de masas) permite identificar y cuantificar los compuestos volátiles de interés.
- **Evaluación de factores genéticos y ambientales:** se analizan factores como la variedad, composición del suelo, clima, altura de cultivo y condiciones de recolección del fruto para estudiar su impacto en la composición química volátil y el desarrollo de compuestos orgánicos volátiles (COVs).
- **Estudio de la fermentación:** se analiza la fermentación como etapa determinante en el desarrollo de la fracción volátil durante la poscosecha, y se determina los COVs responsables del aroma.
- **Identificación de compuestos volátiles:** se identifica y cuantifica los compuestos volátiles más relevantes en el grano de cacao, como pirazinas, aldehídos, cetonas, alcoholes, ésteres, ácidos, etc., que generan notas aromáticas deseables.
- **Valoración sensorial:** se evalúa la calidad sensorial del cacao y sus productos derivados, como la intensidad del sabor y aroma, la acidez, el amargor, la astringencia y el sabor a nueces, para relacionarla con la composición química volátil.

Diseño de la investigación

Figura 8. *Diagrama de Flujo Metodología de Investigación.*



Fuente: Autoría propia. (2024)

Tipo de estudio

El presente trabajo de investigación corresponde a una revisión de la literatura científica con un enfoque teórico descriptivo. Se analizaron estudios realizados por diversos autores cuyos trabajos han sido publicados en revistas o fuentes bibliográficas relevantes sobre cacao, métodos de fermentación, secado, tratamientos, propiedades fisicoquímicas obtenidas en los granos y el desarrollo de los principales compuestos volátiles precursores del sabor y aroma característicos. Esta investigación tuvo un enfoque exploratorio y descriptivo, lo que permitió establecer una relación actualizada de información sobre el objeto de estudio. Se llevó a cabo la búsqueda de información en libros, artículos científicos, boletines técnicos, documentos, páginas web y tesis relacionadas con el desarrollo de los compuestos volátiles presentes en la etapa de fermentación del cacao y su influencia en los atributos sensoriales del grano, facilitando una mejor comprensión para el lector.

Etapas del estudio

Esta investigación se dividió en tres etapas:

1. La primera etapa consistió en la búsqueda de información a través de la revisión de la literatura científica y el estado del arte sobre el objeto de estudio (los principales compuestos volátiles presentes en la etapa de fermentación del cacao y su influencia en los atributos sensoriales del grano).
2. En la segunda etapa, se realizó un énfasis investigativo para determinar el desarrollo de los compuestos volátiles presentes en la etapa de fermentación del cacao y su influencia en los atributos sensoriales.
3. La tercera etapa implicó la búsqueda de fuentes bibliográficas para diseñar una matriz de sistematización de la información.

Análisis y discusión de Resultados

La presente investigación se centró en el análisis de investigaciones relacionadas con la influencia del proceso de fermentación en el grano de cacao y el desarrollo de los principales compuestos volátiles para definir perfiles sensoriales. El objetivo fue comprender a fondo este proceso crucial en la producción de cacao, utilizando una amplia gama de recursos académicos para recopilar información relevante y actualizada sobre el tema. En este capítulo se presentan tres etapas.

Etapas 1. Búsqueda de información a partir de una revisión de la literatura científica y estado de arte.

Para esta etapa, se llevó a cabo una revisión de la literatura científica sobre los procedimientos existentes, actualizados y efectivos de los principales compuestos volátiles del grano de cacao durante el proceso de fermentación y su influencia en la calidad del grano a través de los perfiles sensoriales. Se utilizaron artículos científicos y libros de fuentes bibliográficas como Google Académico, ScienceDirect, Scopus, Scielo, Elsevier y EBSCOhost de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), con una ventana de tiempo de publicación entre los años 2017 y 2022.

Conforme a lo anterior, se fundamenta que a lo largo de los años ha surgido un creciente interés en identificar los compuestos volátiles responsables de los sabores y aromas característicos del cacao, los cuales definen su calidad. Se han empleado métodos de extracción, identificación y cuantificación de volátiles para identificar específicamente los compuestos que contribuyen en mayor medida al sabor y aroma en las diversas matrices de cacao. Durante la revisión, se encontraron un total de 6092 documentos provenientes de diversas fuentes

bibliográficas entre 2017 y 2022, de los cuales se seleccionaron 482 documentos para su uso en la revisión y enfoque investigativo, como se detalla en la tabla 10.

Tabla 10

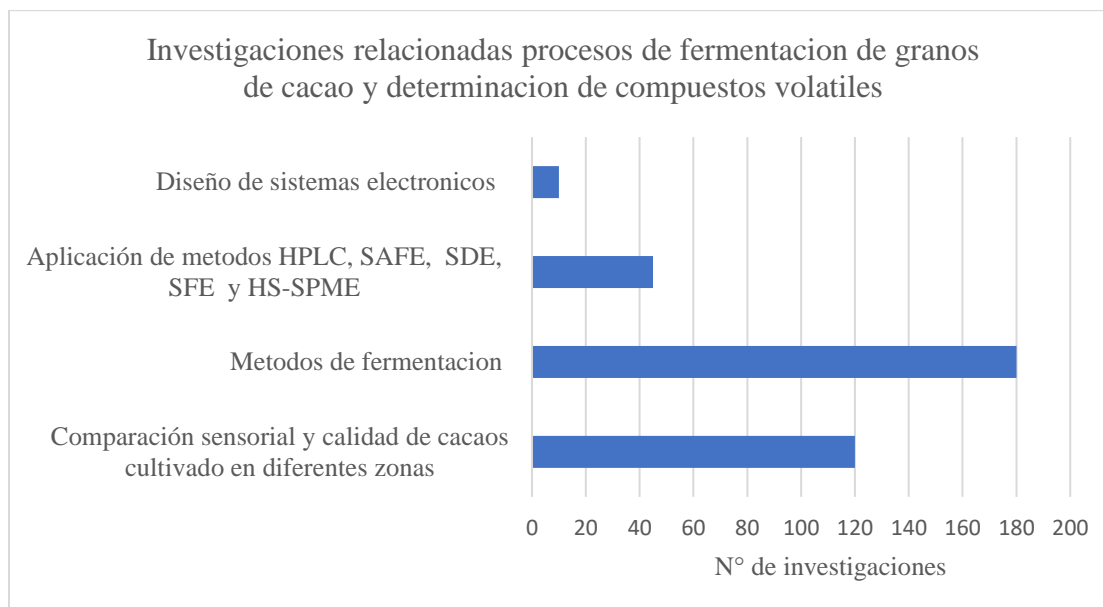
Documentos Arrojadados de las Diferentes Fuentes Bibliográficas.

| Fuente | Documentos arrojados | Documentos a utilizar en la revisión sistemática de literatura |
|-----------------------|-----------------------------|---|
| Google Scholar | 2350 | 117 |
| Scopus | 112 | 60 |
| Scielo | 80 | 45 |
| ESCOB UNAD | 3550 | 260 |
| Total | 6092 | 482 |

Nota: La tabla presenta datos relacionados con la base de investigaciones arrojadas en diferentes fuentes bibliográficas. Fuente: Autoría propia.

En la revisión se encontraron investigaciones relacionadas con la comparación sensorial y calidad del cacao cultivado en diferentes zonas, métodos de fermentación y otros aspectos relevantes. Además, se identificaron estudios que utilizaron el método de extracción conocido como "microextracción en fase sólida" (HS-SPME) para la identificación de los compuestos volátiles mayoritarios en semillas tostadas en variedades de cacao. También se encontraron estudios basados en la cuantificación de volátiles por cromatografía de gases acoplada a espectrómetro de masas (GC-MS) mediante la comparación de los espectros de masas de cada compuesto para la caracterización sensorial del licor de variedades de cacao a partir de métodos de fermentación y estudios sobre el análisis de volátiles mediante el diseño de sistemas electrónicos para el control de calidad del cacao en grano.

Figura 9. Investigaciones Relacionadas en la Determinación de Compuestos Volátiles en Granos de Cacao.



Nota: La figura muestra un balance de las investigaciones que están relacionadas en procesos de fermentación y determinación de compuestos volátiles. Fuente: Autoría propia.

Dentro de la búsqueda bibliográfica, se encontraron un total de 355 investigaciones entre 2017 a 2022, destacando la determinación de compuestos volátiles en cacao en grano y licor de cacao mediante la aplicación de métodos de fermentación como se muestra en la figura 9. Los métodos de fermentación del cacao son cruciales para entender y mejorar el aroma y sabor del cacao y sus derivados, permitiendo analizar la evolución de los compuestos volátiles a lo largo del proceso (Cempaka *et al.*, 2014). Conforme a ello se han empleado técnicas como cromatografía de gases HPLC, evaporación aromática asistida por solvente SAFE, destilación-extracción simultánea con solvente orgánico SDE, extracción con fluido supercrítico SFE y cromatografía de gases por microextracción en fase sólida HS-SPME para identificar compuestos que influyen en el aroma del cacao y definen su perfil sensorial (Ochoa, 2021; Rojas *et al.*, 2022). Se han encontrado investigaciones relevantes como:

- Estudios de la composición de compuestos volátiles en el licor de cacao para su calidad, influenciada por factores genéticos, agroclimáticos y poscosecha.
- El análisis de compuestos volátiles durante la fermentación del cacao para controlar la calidad del producto final como pirazinas, cetonas y aldehídos para caracterizar el cacao fino de aroma.
- La evaluación de la dinámica de los compuestos volátiles en el cacao es para comprender su perfil aromático.

Los estudios relacionados con la fermentación del grano de cacao, están orientados a la serie de reacciones bioquímicas, enzimáticas y microbiológicas que conducen al desarrollo de fracciones volátiles clave entre alcoholes y ésteres, precursores de sabores y aromas característicos del chocolate (Peña, 2021). El papel de los diferentes microorganismos es en esta etapa es crucial para utilizar sustratos y producir metabolitos que favorecen la descomposición del fruto y la fermentación del grano. La investigación de Cempaka y demás autores, menciona que los microorganismos como la *Saccharomyces* convierten la sacarosa en glucosa y fructosa mediante la acción de la enzima *Alfa-D-fructofuranosidasa*. De esta manera, la glucosa resultante está disponible para participar en la fermentación alcohólica, generando etanol y CO₂ como productos finales del proceso (Cempaka et al., 2014). Sin embargo, el mismo autores menciona que la concentración de levadura alcanza un punto en el que empieza a disminuir, posiblemente debido a la presencia de etanol, que es el principal producto de fermentación generado por la levadura (Cempaka et al., 2014). Le siguen las bacterias lácticas (BAL), que se ven favorecidas por el aumento de CO₂; Las BAL utilizan glucosa, otros azúcares y citrato como sustratos, por lo que degradan la pulpa y generan los primeros exudados, lo que aumenta el aporte de oxígeno y favorece las condiciones para el posterior crecimiento de las bacterias acéticas, que son aerobias

estrictas en este proceso, Las BAL generan principalmente lactato y manitol, que regula el pH del medio e inicia la degradación del grano, generando así los precursores del sabor, mediante un proceso controlado para que este producto no entre en el grano y el sabor final no tenga una mayor acidez y afecte a la calidad del grano (Bela, 2013). Demostrando así que la diversidad microbológica en el proceso fermentativo de cacao es amplia, y la variabilidad puede estar relacionada a la especie de cacao, y ser relevante para la calidad y éxito de la fermentación (Cempaka *et al.*, 2014). Conforme a lo anterior varios autores han evaluado propiedades físicas, químicas y organolépticas de los granos de cacao secos aplicando varios métodos de fermentación como: (Rios *et al.*, 2022)

- **Fermentación en cajas de madera:** fermentar los granos de cacao fresco en cajas construidas de madera dulce.
- **Fermentación tipo Rohan:** fermentación en bandejas de madera dulce, se apilan un máximo de 5 bandejas con una base de bandeja con serrín que permite controlar la aireación.
- **Fermentación en sacos:** Consiste en colocar los granos de cacao fresco en sacos de yute, tapándolos con una lona.
- **Fermentación en fermentador de acero inoxidable:** sistemas de autocontrol en los que realizan por sí solos las operaciones de eliminación, control de la temperatura, aireación y control del pH.
- **Fermentación en fermentadores de aluminio:** se autocontrolan y realizan por sí solas las operaciones de extracción, control de la temperatura, aireación y control del pH.

Tabla 11*Propiedades Físicas del Cacao en Grano según Distintos Métodos de Fermentación.*

| Métodos de fermentación | Referencia | G-F (%) ; Fermentación en grano | Índice de grano (gr) | Granos violetas (%) | Granos pizarros (%) | Grano mohoso (%) | Granos defectuosos (%) | Material extraño (%) | Humedad en grano (%) |
|---|--|--|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Fermentación en cajas de madera. | (Erazo Solórzano <i>et al.</i> , 2021) | 90,00 | 1,21 | 3,00 | 0 | 1,00 | 0 | 0 | 7,00 |
| Fermentación tipo Rohan. | (Cardona <i>et al.</i> , 2020) | 90,0 | 1,35 | 9,00 | 0 | 2,00 | 0 | 0 | 6,23 |
| Fermentación en montón. | (Chang, Torres, & Moran, 2017) | 85,00 | 1,36 | 2,00 | 0 | 0,13 | 1,00 | 0 | 6,45 |
| Fermentación en sacos. | (Palacios <i>et al.</i> , 2021) | 70,00 | 1,25 | 11,00 | 0 | 7,00 | 0 | 0 | 7,50 |
| Fermentación en fermentador de acero inoxidable. | (Ipanaqué <i>et al.</i> , 2017) | 95,00 | 1,30 | 4,00 | 1,00 | 0 | 0 | 0 | 6,00 |
| Fermentación en fermentador de aluminio. | (Ochoa <i>et al.</i> 2021) | 95,00 | 1,30 | 3,00 | 1,00 | 1,00 | 0 | 0 | 6,40 |

Nota: En la tabla se muestran datos relacionados en la influencia de la calidad del grano de cacao utilizando diferentes métodos de fermentación. Fuente: Autoría propia.

De los métodos de fermentación presentados, los resultados más satisfactorios se logran con la fermentación en fermentadores de madera, acero inoxidable y aluminio, donde se alcanzan valores superiores al 90% de granos fermentados. Sin embargo, en el estudio sobre la evaluación de los compuestos volátiles desarrollados a través de estos métodos, se observa que la fermentación en bolsas muestra el valor más bajo con un 70%. Según Gonzales, se destaca que el porcentaje de granos fermentados en la muestra debe ser superior al 80% para garantizar la calidad del cacao. Un bajo porcentaje de fermentación indica que la muestra no alcanzó la temperatura adecuada durante el proceso, lo cual afecta la calidad de los granos. Estos hallazgos resaltan la importancia de las condiciones de fermentación en la obtención de cacao de alta calidad como se muestra en la Tabla 12 (Solarte, 2021).

| Métodos de fermentación | Referencia | pH Granos fermentados | Acidez (%) Ácido acético | Grasa (%) | Cenizas (%) |
|---|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------|--------------------|
| Fermentación en cajas de madera. | (Erazo <i>et al.</i> , 2021) | 5,20 | 0,10 | 0,00 | ± 3,70 |
| Fermentación tipo Rohan. | (Cardona <i>et al.</i> , 2020) | 6,30 | 0,20 | 7,03 | ± 4,50 |
| Fermentación en montón. | (Chang, & Moran, 2017) | 6,30 | 0,60 | 0,80 | ± 3,50 |
| Fermentación en sacos. | (Palacios <i>et al.</i> , 2021) | 5,87 | 0,80 | 2,00 | 3,40 |
| Fermentación en fermentador de acero inoxidable. | (Ipanaqué <i>et al.</i> , 2017) | 4,60 | 0,10 | 7,00 | 3,30 |
| Fermentación en fermentador de aluminio. | (Ochoa <i>et al.</i> , 2021) | 4,70 | 0,09 | 8,00 | 3,00 |

Tabla 12. Propiedades Químicas y Bromatológicas de los Granos de Cacao

Aplicando varios Métodos de Fermentación.

Nota: Cambios químicos y bromatológicos del grano de cacao a partir de diferentes métodos de fermentación. Fuente: Autoría propia. (2024)

Los granos de cacao durante el proceso de fermentación sufren cambios en sus propiedades químicas y bromatológicas. Algunos estudios han investigado la influencia de diferentes métodos de fermentación en las características físico-químicas del grano de cacao, principalmente la producción de ácidos, como el ácido láctico y el ácido acético, así como el consumo de azúcares, como la glucosa y la fructosa, para desarrollar los precursores del sabor dentro del grano además la concentración de metilxantinas, como la teobromina y la cafeína (Palacios *et al.*, 2021). La grasa es un parámetro crucial para determinar la calidad del grano de cacao y se ve influenciada por la eficacia del proceso postcosecha. Un manejo deficiente en esta etapa resultará en un producto de baja calidad, mientras que un proceso adecuado dará como resultado un cacao rico en grasa. La presencia de grasa es esencial para la calidad del chocolate, ya que contribuye significativamente al sabor y la textura del producto final. Además, la cantidad de grasa es un indicador clave de la calidad del cacao, siendo una característica distintiva de los granos de cacao de alta calidad. El contenido de grasa en los granos de cacao fermentados puede variar entre un 50% y un 55% en cacao fresco (Peña, 2021). El porcentaje de grasa en los granos de cacao evaluado por diversos autores utilizando diferentes métodos de fermentación oscila entre el 30% y el 50%, siendo el método de fermentación en cajas de madera el más conveniente, ya que los valores obtenidos son diferentes (Palacios *et al.*, 2021). Por otro lado, el pH del cacao es un indicador fundamental que los productores y

expertos utilizan para evaluar la calidad y el estado de fermentación de los granos de cacao, lo que a su vez impacta significativamente en las características organolépticas y sensoriales del producto final (Ochoa *et al* 2021). Diferentes autores tenían granos de cacao con valores de pH entre 4 y 7; el pH óptimo de un cacao de calidad debe situarse entre 5,1 y 5,4, lo que indica que se ha completado la fermentación. Además, los valores de pH más altos son indicativos de un exceso de fermentación y los valores inferiores a 5 indican la presencia de ácidos no volátiles indeseables que dan aromas desagradables (Ochoa *et al*, 2021). La acidez de los granos es inducida por las reacciones involucradas en el proceso de fermentación del cacao, permitiendo cambios bioquímicos en el resultado final del grano fermentado, este aumento de acidez corresponde a los ácidos acético, láctico, cítrico y oxálico producidos durante la degradación de la pulpa por acción microbiana (Peña, 2021). La evaluación de la ceniza en el cacao en grano indica si un grano fue fermentado o directamente secado, esto se evidencia por el hecho de que en el proceso de fermentación se pierde cerca del 25% de la ceniza que tenía al inicio, lo cual está relacionado con los procesos de evaporación de líquidos que simultáneamente pierde el fruto junto con el agua; los ácidos volátiles formados definen la calidad del cacao como se muestra en la Tabla 13 (Pizarro, 2022).

Los métodos de secado del cacao son fundamentales para facilitar el transporte, manipulación, almacenamiento y comercialización de los granos de cacao. Existen dos métodos principales de secado natural y artificial. Algunas investigaciones se enfocan en el desarrollo de prototipos de máquinas secadoras para controlar los parámetros del proceso, aunque los resultados de las revisiones muestran diferencias en cuanto al tiempo necesario. Varios autores señalan que el secado artificial no logra una uniformidad en el secado y

puede interrumpir la hidrólisis enzimática de las antocianinas, lo que resulta en almendras con un sabor astringente y dificulta la difusión de ácidos volátiles, generando almendras ácidas. La Tabla 13 presenta las ventajas y desventajas del uso de diferentes métodos de secado en los granos de cacao (Flórez *et al.*, 2020; Imbaquingo *et al.*, 2012; Pizarro, 2022).

Tabla 13

Ventajas y Desventajas del Uso de los dos Métodos de Secado.

| Método | Fuente | Ventajas | Desventajas |
|--------------------------|----------------------------------|---|---|
| Secado natural | Luz solar | Permite una temperatura moderada y uniforme para obtener un cacao de mejor calidad y con un aroma más fino (Gonzales, 2021). | Este tipo de secado depende del clima, si el secado es muy lento, el sabor de los granos es ácido, además, se contaminan fácilmente con materias extrañas como suciedad, polvo, etc (Vega, 2018). |
| Secado Artificial | Equipos y dispositivos mecánicos | No dependen de las condiciones meteorológicas, es económico en tiempo y espacio. No hay problemas de moho ni contaminación por materias extrañas. (Peña, 2021). | Provoca la inactivación de las enzimas del interior de los granos de cacao antes de que se completen los cambios químicos, lo que altera la calidad sensorial del grano (Pizarro, 2022). |

Fuente: Autoría propia.

Algunos estudios han evaluado los aspectos organolépticos de granos de cacao derivados de diferentes métodos de fermentación y secado y sus influencias en sus características sensoriales (Peña, 2021). La fermentación es el factor principal en el desarrollo de precursores de sabor dentro del grano de cacao, como péptidos y aminoácidos libres, así como en la producción de ácidos volátiles, como el ácido acético, que contribuyen a la calidad organoléptica del cacao. La aplicación de diferentes métodos de fermentación puede variar en términos de duración, temperatura y tipo de fermentador, lo que puede influir significativamente en la calidad y composición química del grano de

cacao (Flórez *et al.*, 2020; Imbaquingo *et al.*, 2012; Pizarro, 2022). Varios autores han evaluado aspectos organolépticos de granos de cacao derivados de diferentes métodos de fermentación y secado como se muestran en la tabla 15.

Tabla 14

Características Sensoriales del Grano de Cacao con la Aplicación de Diferentes

Métodos de Fermentación y Secado.

| Método de fermentación | Referencia | Método de secado | Tiempo de fermentación (días) | Tiempo de secado en (días) | Características de sabor | Características de Aroma |
|---|---|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Fermentación en cajas de madera | (Peralta, 2020) | Secado natural | 4 | 5 | Cacao y nuez | Aromático |
| Fermentación en montón | (Salazar, 2020) | Secado natural y tendal de cemento | 3 | 4 | Crudo, verde | Fermentado |
| Fermentación en tanques de plástico PVC | (Ureña & Peralta, 2021) | Secado artificial | 4 | 3 | Acido | Fermentado |
| Fermentación en tarrinas plásticas | (Horta, 2017) | Secado natural piso de cemento | 6 | 6 | Ahumado | Fermentado |
| Fermentación en barril de acero inoxidable | (Castillo, 2019) | Secado artificial cámara de secado | 3 | 1 | Cacao | Cacao |
| Micro fermentación en mallas de nylon | (Moreno <i>et al.</i> , 2019; Peña, 2021) | Secado natural, plataforma de madera | 5 | 6 | Cacao y frutal | Característico a cacao |

Nota: En la tabla se muestra las características sensoriales del grano de cacao con la aplicación de diferentes métodos de fermentación y secado. Fuente: Autoría propia. (2024)

Los resultados de las investigaciones indican que la fermentación eficiente requiere un una temperatura y tiempo adecuado óptimo para permitir la formación de ácidos y otros compuestos que contribuyen a la calidad del cacao (Ureña & Peralta, 2021). La temperatura es un factor determinante en la calidad del cacao fermentado. Se ha observado que la temperatura generada en la masa de fermentación está relacionada con valores entre 35°C y 40°C. Las bajas temperaturas ambientales pueden obstaculizar el aumento de la temperatura durante la fermentación, lo que impacta el proceso y los resultados finales (Moreno *et al.*, 2019; Peña, 2021). Según las investigaciones y la información proporcionada, el tiempo de fermentación adecuado del cacao varía según el tipo de cacao el cacao criollo 1 a 5 días, trinitario de 4 a 6 días y forastero de 5 a 8 días el tiempo de fermentación es un factor crucial que influye en la calidad y características del producto final; en esta etapa se generan compuestos como ácidos y etanol que son precursores del sabor a chocolate, los autores destacan que el tiempo de fermentación óptimo permite la formación de estos compuestos, contribuyendo al perfil sensorial deseado del cacao (Castillo, 2019; Horta, 2017; Moreno *et al.*, 2019).

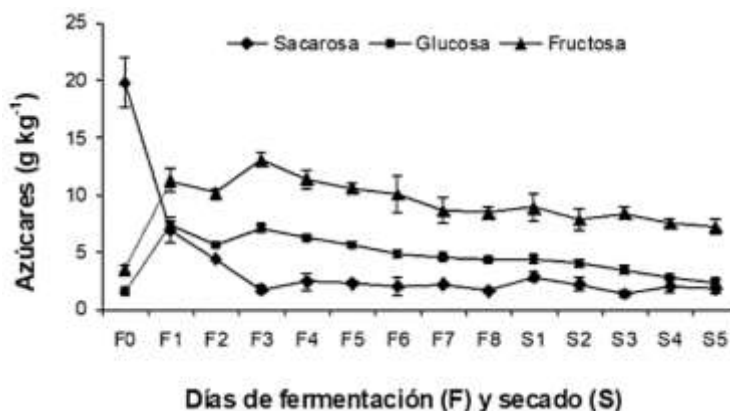
Además de la revisión y con el fin de mejorar el perfil sensorial del cacao, varios investigadores han evaluado el uso de cultivos iniciadores en el proceso de fermentación en condiciones controladas para aumentar la calidad del grano fermentado con respecto a sus propiedades organolépticas. Estos estudios han demostrado que el control de las variables como tiempo y temperatura en el proceso de fermentación puede mejorar la calidad sensorial del cacao, lo que a su vez también puedes afectar la calidad final del chocolate (Gonzales, 2021). Estos cultivos iniciadores consisten en levaduras, bacterias lácticas (BAL) y bacterias ácido-acéticas (BAA), o la mezcla de éstas, generalmente son evaluadas

con el fin de simular el desarrollo secuencial de una fermentación espontánea y se realiza de dos formas; por la extracción de especies de microorganismos involucrados en una fermentación espontánea y el aislamiento de especies involucradas en la fermentación de otros productos como el vino, café, entre otros con potencial uso en la fermentación del cacao (Morales, 2020). En estudios anteriores se encontraron 40 especies diferentes de levaduras, predominando *Candida*, seguida de *Pichia*, *Saccharomycopsis*, *Saccharomyces*, *Hanseniaspora*, *Issatchenkia*, *Starmerella*, *Wickerhamomyces*, *Martiniozyma*, *Schwanniomyces* y *Zygosaccharomyces* con capacidad para producir compuestos volátiles agrupados en cuatro familias como ésteres, alcoholes, ácidos y otros. (Morales Lester, 2020). En la fermentación de *Abidjan*, *P. kudriavzevii*, *S. cerevisiae*, *G. geotrichum* y *W. anomalus* podrían considerarse los contribuyentes más importantes a la formación de compuestos aromáticos específicos del cacao (León, 2021). Además, se comprobó que la concentración bacteriana es superior a la de hongos y levaduras con un gran número de especies de bacterias acéticas como *Acetobacter* y *Gluconobacter*, junto con 14 especies de bacterias lácticas correspondientes a 7 géneros con un mayor predominio de *Lactobacillus*, seguido de *Weissella*, *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Fructobacillus* y *Leuconostoccus*. (Castillo, 2019; Horta, 2017; Moreno *et al.*, 2019); Los microorganismos desempeñan un papel crucial en la fermentación del cacao y se distribuyen ampliamente dependiendo de la etapa de fermentación. Son indispensables para la degradación del grano junto con el embrión, ya que generan enzimas endógenas y liberan compuestos como polifenoles y alcaloides que mejoran las características organolépticas del cacao. (Horta, 2017; León, 2021; Morales, 2020).

Etapa 2. Énfasis investigativo para determinar el desarrollo de los compuestos volátiles presentes en la etapa de fermentación del cacao y su influencia en los atributos sensoriales.

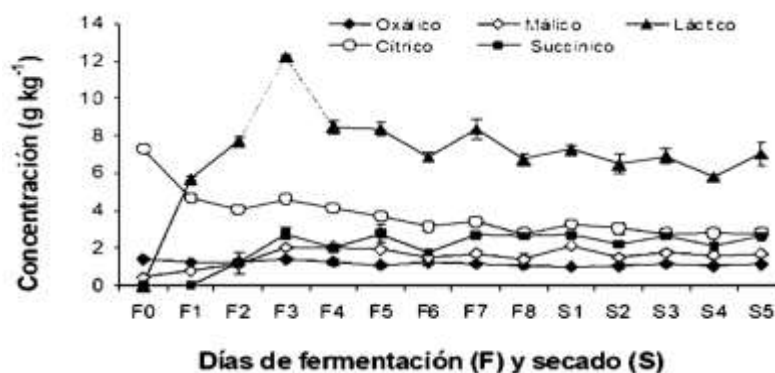
A partir de información obtenida de fuentes bibliográfica que corresponde al paradigma cualitativo y exploratorio, esta investigación tuvo como criterio el estudio de la descripción y el entendimiento de las cualidades de un fenómeno para analizar los principales compuestos volátiles presentes en la etapa de fermentación del cacao y cómo influye en los perfiles sensoriales del grano (León, 2021). La fermentación del cacao es un proceso crucial que influye en la calidad y el sabor del producto final. Durante la fermentación, se observan cambios significativos en los compuestos presentes en los granos de cacao. Inicialmente, se destaca que, al inicio de la fermentación, el contenido más alto se encuentra en la sacarosa, mientras que los niveles de glucosa y fructosa son bajos. Con el paso de los días, la sacarosa disminuye y aumentan los azúcares reductores como la fructosa y glucosa, que actúan como precursores para el desarrollo de compuestos volátiles en etapas posteriores como el secado y tostado del grano de cacao (Horta, 2017; León, 2021; Morales, 2020). Además, se menciona que el ácido láctico aumenta entre el tercer y cuarto día de fermentación para luego disminuir al finalizar este proceso. Este ácido es un indicador importante en la evaluación de la calidad del cacao, ya que su exceso puede afectar negativamente el sabor y aroma del producto final. Por otro lado, se destaca que el pH del cacao es una característica determinante de su calidad, siendo óptimo entre 5,0 y 5,4 para considerarse de buena calidad como se muestra en la figura 10 y 11 (Rodríguez *et al*, 2010).

Figura 10. Evolución de los Compuestos No Volátiles Azucares.



Nota: En la figura se muestra el comportamiento de los compuestos no volátiles principalmente azucares durante el proceso de fermentación. Fuente: (Rodríguez *et al*, 2010).

Figura 11. Evolución de los Compuestos Ácidos No Volátiles.



Nota: En la figura se muestra el comportamiento de la evolución de los compuestos ácidos no volátiles como el ácido láctico y el ácido acético durante la fermentación del grano de cacao. Fuente: (Rodríguez *et al*, 2010).

Los compuestos volátiles que se desarrollan en el grano de cacao, son descritos como las sustancias aromáticas que son percibidos por los sitios receptores de olor del órgano olfativo (José, 2018). Dentro de la revisión de las diferentes investigaciones

aplicadas al estudio se encuentran aproximadamente 600 compuestos volátiles del cacao; los principales compuestos pertenecen a clases químicas como aldehídos, cetonas, ésteres, alcoholes, pirazinas, furanos, pironas, lactonas, pirroles y dicetopiperazinas, siendo los responsables de producir notas de sabor y aroma característico del cacao como se muestra en la tabla 15 (Guerrero, 2018).

Tabla 15

Compuestos Volátiles Identificados del Cacao y las Notas Odoríficas Producidas.

| Grupo | # | Compuesto | Nota producida |
|------------------|----------|-------------------------|------------------------------------|
| Ácidos | 1 | Ácido acético | Vinagre, ácido, rancio |
| | 2 | Ácido propanoico | Rancio |
| | 3 | Ácido 2-metilpropanoico | Manteca, rancio |
| | 4 | Ácido Butanoico | Rancio |
| | 5 | Ácido 3-metilbutanoico | Queso acre, rancio |
| | 6 | Ácido 2-metilbutanoico | Queso, rancio |
| | 7 | Ácido hexanoico | Rancio, metálico |
| | 8 | Ácido octanoico | Queso, rancio, manteca |
| Alcoholes | 9 | 3-metil-2-butanol | Floral |
| | 10 | 3-metilbutanol | Floral |
| | 11 | 2-Pentanol | Floral |
| | 12 | 2,3 butanodiol | Floral |
| | 13 | 2-heptanol | Floral, hierba |
| | 14 | Fenilmetanol | Floral, cítrico |
| | 15 | 1-octanol | Floral |
| | 16 | β -linalool | Floral |
| | 17 | 2-nonanol | Floral |
| | 18 | 2-feniletanol | Floral, rosas |
| | 19 | Bencenoetanol | Floral, rosas, seco, agua de rosas |
| | 20 | 2-propanol | Alcohol, leñoso, almizcle |
| | 21 | 2-furanmetanol | Alcohol, rancio, dulce, caramelo |
| | 22 | 3-metilbutanal | Malta, dulce, caramelo, chocolate |
| | 23 | Benzaldehído | Dulce, almendras |
| | 24 | Fenilcetaldehído | Dulce, nuez |

| | | | |
|------------------|----------------------|--------------------------------|--|
| Aldehídos | 25 | Decanaldehído | Tostado, nuez |
| | 26 | 4-etilbenzaldehido | Dulce, almendras |
| | 27 | 2-fenil-2-butenal | Dulce, cacao, almendras |
| | 28 | 4-metil-2-fenil-2-pental | Cacao, dulce |
| | 29 | 5-metil-2-fenil-2-hexanal | Cacao, dulce |
| | 30 | 5-metil-furfural | Picante, caramelo, arce |
| | 31 | Bencen acetaldehído | Dulce, floral, clavo, miel, cacao, jacinto |
| | 32 | 5-metil-2-fenil-2- | Chocolate, amargo, almendra |
| | 32 | 2-metil butanal | Rancio, chocolate, malta fermentada |
| | 33 | 2-isopropil-5- metil-2-hexenal | Uva |
| | 34 | 2,3 butanodiona | Floral, frutal |
| 35 | 3-hidroxy-2-butanona | Mantequilla, frutal | |
| 36 | 2-heptanona | Floral, frutal | |
| Grupo | # | Compuesto | Nota producida |
| Cetonas | 37 | 3-hepten-2-ona | Floral |
| | 38 | 2-octanona | Floral, herbal |
| | 39 | 3-metil-2-ciclohexenona | Floral |
| | 40 | 2,6-heptadiona | Floral |
| | 41 | 1-feniletanona | Floral, almendra |
| | 42 | Acetofenona | Dulce, almendra, acacia |
| | 43 | 2-nonanona | Floral, frutal, coco, herbal, dulce, queso |
| | 44 | 2-undecanona | Floral, herbal |
| | 45 | Transisomentona | Menta fresca-menta dulce |
| | 46 | cis-isomentona | Menta fresca-menta dulce |
| Esteres | 47 | Acetato-2-pentilo | Frutal |
| | 48 | Acetato de 3-metilbutilo | Banano, floral |
| | 49 | Acetato de 2-metilbutilo | Frutal |
| | 50 | Hexanoato de etilo | Manzana, frutal |
| | 51 | Acetato de 2-heptilo | Frutal |
| | 52 | 2-butanodiol-diacetato | Frutal |
| | 53 | Acetato de benzilo | Pera, frutal, floral |
| | 54 | Benzoato de etilo | Floral, frutal |
| | 55 | 2-fenilacetato de metilo | Frutal, dulce |
| | 56 | Butandioato de dietilo | Frutal |
| | 57 | Octanoato de etilo | Manzana, dulce |
| | 58 | 2-fenilacetato de etilo | Frutal, dulce |

| | | | |
|------------------|----|-----------------------------------|--------------------------------------|
| | 59 | Acetato de 2-feniletilo | Frutal, dulce |
| | 60 | 3-fenilpropanoato de etilo | Frutal |
| | 61 | Decanoato de etilo | Frutal, miel |
| | 62 | 3-fenil-2-propenoato de etilo | Frutal, canela |
| | 63 | Dodecanoato de etilo | Frutal |
| | 64 | Butanoato de 2-feniletilo | Frutal |
| | 65 | Acetato de etilo | Piña, dulce, fruta |
| | 66 | Acetato de bencilo | Floral, Jazmin |
| | 67 | Acetato de isobutilo | Frutal |
| | 68 | Salicilato de metilo | Almendra amarga |
| | 69 | Cinamato de metilo | Balsamo, fresa |
| | 70 | Cinamato de etilo | Dulce, canela |
| | 78 | Laurato de etilo | Frutal, floral |
| | 79 | Fenil acetato de etilo | Floral-miel-Rosabalsámico- cacao |
| Pirazinas | 80 | 2,3-dimetilpirazina | Nuez, cacao, tostado |
| | 81 | 2,3,5-trimetilpirazina | Nuez, tostado |
| | 82 | 2,5-dimetil-3-etilpirazina | Tostado |
| | 83 | 2,3,5,6-tetrametilpirazina | Nuez, almendras |
| | 84 | 2,3,5-trimetil-6-etilpirazina | Nuez |
| | 85 | 2-butil-3,5-dimetilpirazina | Almendras |
| | 86 | 2-metil-pirazina | Nuez, Chocolate, Tostado |
| | 87 | 2,5-dimetilpirazina | Café |
| | 88 | 2-etil-6-metilpirazina | Patata asada |
| | 89 | Tetrametil pirazina | Chocolate |
| | 90 | 3-isopentil-2,5- dimetil-pirazina | Alcanfor, tomillo, herbalpino, agrio |
| Otros | 91 | 2-furancarboxaldehido | Dulce, caramelo |
| | 92 | 2-furanmetanol | Dulce, floral |
| | 93 | Dihidro-2(3H)Furanona | floral |
| | 94 | β -pineno | Pino, floral |
| | 95 | Benzonitrilo | Almendras |
| | 96 | β -mircerol | Floral, frutal, picante |

| | | |
|-----|---|-----------------------|
| 97 | 3,7-dimetil-1,3,6-octatrieno | Floral, frutal |
| 98 | γ -Terpineno | Herbal, floral, limón |
| 99 | 2-acetilpirrol | Chocolate, cacao |
| 100 | 2,4,6-octatrieno-2,6-dimetil (allo-ocimeno) | Dulce herbal |
| 101 | α -terpineol | Floral, lila |

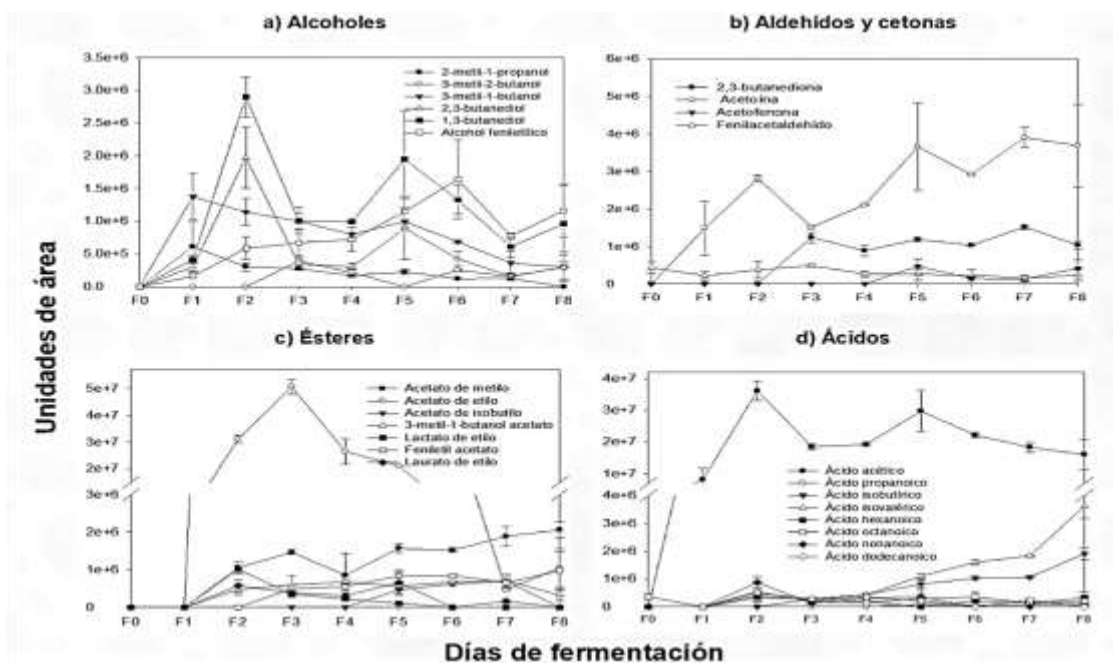
Nota: En la tabla se muestran los compuestos volátiles y las notas odoríficas producidas identificados durante el proceso de transformación del grano de cacao.

Fuente: (Erazo *et al.*, 2021; Guerrero L, 2018; Morales, 2020; Ochoa & Zamora, 2021; Palencia, 2020; Salazar, 2020; León, 2021; Rojas *et al.*, 2022).

La calidad sensorial del cacao y sus productos derivados depende de varios factores, como las condiciones genéticas, agroclimáticas y de manipulación tras la cosecha, que sirven para transformar los granos frescos en distintos productos, como cacao en grano seco, tostado o licor (Guerrero, 2018). Rojas, menciona que el licor de cacao es uno de los principales productos comerciales del cacao donde se evalúa el desarrollo de compuestos volátiles y consiste en granos de cacao fermentados, secados, tostados y molidos cuyo aroma es el resultado perceptible de una larga cadena de transformaciones físicas, químicas y bioquímicas que experimenta el grano de cacao. Las condiciones como el tiempo de fermentación y las temperaturas de secado y tostado, son determinantes en el desarrollo de la composición química volátil, contribuyendo específicamente a la formación de compuestos orgánicos volátiles que generan el aroma característico del cacao; se han identificado diferentes características organolépticas que definen los precursores químicos del aroma y la etapa determinante en el desarrollo de la fracción volátil durante el proceso de fermentación del cacao donde, gracias a la actividad de las levaduras, se producen

compuestos volátiles como alcoholes, ésteres, aldehídos y cetonas e importantes ácidos (Guerrero, 2018).

Figura 12. *Compuestos Volátiles Presentes en el Cacao Fresco y Fermentado.*



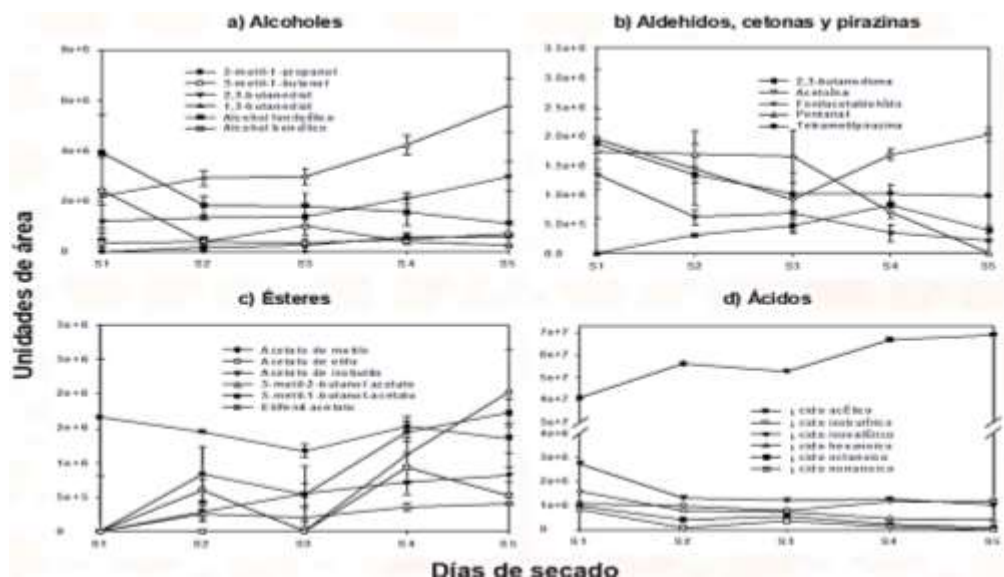
Nota: En la figura se muestra el comportamiento de las transformaciones bioquímicas complejas y el desarrollo de los compuestos volátiles presentes en el cacao fresco y fermentado. Fuente: (Guerrero L, 2018; Morales, 2020; Ochoa & Zamora; Salazar, 2020; León, 2021).

La evolución del contenido de compuestos volátiles a lo largo del proceso de fermentación muestra que los alcoholes presentan un cambio constante. Los aldehídos y cetonas, siendo la acetoína la más abundante, también experimentan cambios significativos. En cuanto a los ésteres, el acetato de etilo es el más predominante, formado por el ácido acético con el etanol. Entre los ácidos, el ácido acético muestra una mayor presencia, especialmente después de los primeros 3 días de fermentación, debido al aumento de temperatura. Este ácido es responsable de las notas de acidez similar al vinagre. Asimismo, se observa un alto

aumento de ácido isovalérico y ácido isobutírico, que producen notas como queso curado y son consideradas indeseables por algunos autores, ya que no son bien aceptadas en la cata sensorial como se muestra en la figura 12 (Guerrero L, 2018; Morales, 2020; Ochoa & Zamora, 2021; Salazar, 2020; León, 2021).

Durante la fase de secado del cacao, se desarrollan fracciones volátiles como ácidos y alcoholes; están presentes ésteres, aldehídos, cetonas, hidrocarburos, pirazinas y furanos, que producen notas aromáticas afrutadas, florales y cítricas (Rojas *et al.*, 2022). En la fase de tostado es donde se consiguen las propiedades organolépticas más importantes y la presencia de pirazinas y furanonas; donde finalmente las notas aromáticas como chocolate, nuez y tostado definen el aroma final del cacao (Guerrero, 2018; Rojas *et al.*, 2022).

Figura 13. *Compuestos Volátiles que se Desarrollan Durante el Proceso de Secado.*

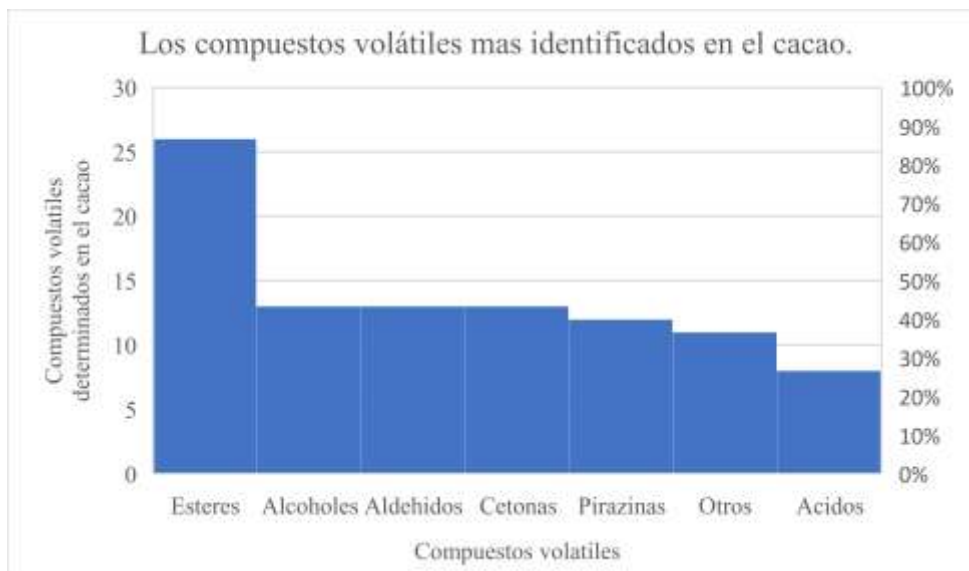


Nota: En la figura se muestra el comportamiento del desarrollo de los compuestos del cacao durante la etapa de secado del grano del cacao. Fuente:(Rodríguez *et al.*, 2012).

En el proceso de secado aumenta la determinación de compuestos volátiles principalmente se presentan las pirazinas como se muestra en la figura 13 (Rodríguez *et al.*, 2012).

La composición de los compuestos volátiles en el análisis del licor de cacao puede ser un indicador de calidad. Por ello, actualmente se están llevando a cabo diversas investigaciones sobre métodos analíticos para determinar los compuestos volátiles que definen la calidad del cacao en grano. Entre estos métodos se incluyen la cromatografía de gases (GC) o la cromatografía de líquidos (LC) la destilación por extracción simultánea, la extracción con disolventes, la destilación al vacío y la extracción con fluidos supercríticos ampliamente utilizadas en diferentes tipos de muestras de cacao, como fresco, seco, tostado y licor de cacao (Rojas *et al.*, 2022).

Figura 14. *Compuestos Volátiles más Identificados*



Nota: En la figura se muestra los compuestos volátiles más identificados y estudiados durante el proceso de beneficio del grano de cacao.

Fuente: Autoría propia. (2024)

A partir de la revisión bibliográfica, se identificaron un total de 101 compuestos volátiles mayoritariamente en el licor de cacao clasificándose en 8 grupos o tipos de compuestos según su grupo funcional de la siguiente manera: 8 ácidos, 13 alcoholes, 13 aldehídos, 13 cetonas, 26 esterés, 12 pirazinas, 11 entre furonas e hidrocarburos. Al comparar el número total de compuestos identificados a través de la revisión literaria se puede apreciar que los esterés son los compuestos más identificados durante el proceso transformación del grano de cacao, en un 87% se originan en su mayoría durante las últimas etapas de fermentación, produciendo notas frutales, verdes y dulces; como se muestra en la figura 14 (Rojas *et al.*, 2022).

En investigaciones argumentan como parte de estudio que la identificación de compuestos volátiles se ha realizado principalmente en los licores de cacao a través de métodos de análisis específicos. Como resultados se han encontrado compuestos volátiles con respecto a diferentes variedades de cacao (criollo, forastero y trinitario) logrando identificar compuestos como 2-feniletanol, 2,3-butanodiol, 2-pentanol, 2-heptanol, acetato de benzilo, 1-feniletanona, 2-nonanona, 2-acetilpirrol, correlacionándolos en mayor proporción en licores de cacao provenientes de cacaos trinitarios. Compuestos como β -mirceno, acetato de 2-feniletilo, β -linalool, 2-fenilacetato de etilo, 2-furancaboxaldehído, α -limoneno, 2-etilhexanol se correlacionan más con los cacaos criollos, mientras que los compuestos ácido 3-metilbutanoico, ácido 2-metilbutanoico y 2,3-pentanediol se correlacionan mayoritariamente con la variedad forastero (Rojas *et al.*, 2022). Ellos muestran y correlacionan positivamente con los atributos caramelo, chocolate, dulce y frutal, al igual que los compuestos como acetato de 2-feniletlio y butanoato de propilo que se asocian con aromas a dulce, frutal y miel. Por otra parte, se correlacionaron

negativamente con atributos sensoriales como astringencia, amargor, y acidez, con compuestos como el ácido 3-metilbutanoico y ácido propanoico que se encuentran asociados con aromas desagradables que disminuyen la calidad del cacao. Además, se encontraron en otras investigaciones correlaciones entre 2-feniletanol y acetato de 2-propilo con atributos sensoriales florales. Por otra parte, Cuellar *et al.*, 2018 realizaron caracterizaciones de cacaos producidos en Huila (Colombia), donde aplicaron métodos analíticos para encontrar relaciones entre compuestos volátiles, parámetros evaluados del análisis bromatológico y atributos sensoriales percibidos, provenientes de los licores de cacao. Los resultados mostraron que compuestos como β -linalool y óxido de linalol, se correlacionan positivamente con el atributo floral y los metabolitos como la cafeína y la teobromina se correlacionaron con el atributo amargo. Ellos encontraron compuestos como benzaldehído, fenilacetaldéido, 1-feniletanona, 2,3-butanodiol, 2-fenietanol, benzoato de etilo, acetato de 2-feniletilo, ácido acético, 2,3,5-trimetilpirazina y 2,3,5,6-tetrametilpirazina en los licores de cacao.

Por otro lado, dentro de la revisión bibliográfica se encontró que la 3-etil-2,5-dimetil-pirazina fue el compuesto más abundante del grupo de las pirazinas, la mayoría de los compuestos de esta familia se originan a través de la reacción de Maillard; responsable de que las notas a cacao y nuez sean características del cacao y sus productos derivados (Ochoa & Zamora, 2021; Rojas *et al.*, 2022; Vera & Mantilla, 2020). De los terpenos, lactonas y ácidos, se encontró un compuesto, el β -Ocimeno, reconocido por aportar aromas cítricos, el ácido acético, que, a pesar de su importancia en los procesos de formación de compuestos volátiles, no es muy deseable por su aroma a vinagre (Rojas *et al.*, 2022) los resultados de la identificación de cada compuesto, así como el grado producido, se basaron

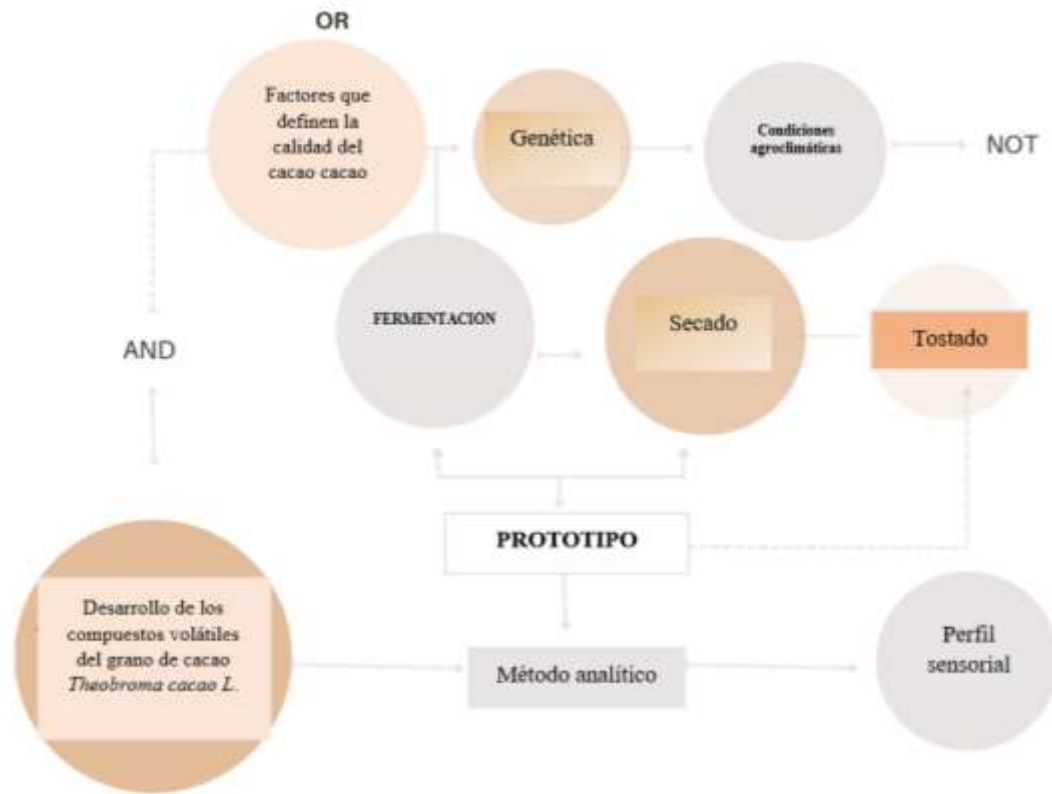
en informes de investigaciones (Ochoa & Zamora, 2021; Rojas *et al.*, 2022; Vera & Mantilla, 2020).

Etapa 3. Elaboración de la matriz de la sistematización de la información

Se elaboró una matriz de sistematización de la información utilizando operadores booleanos como AND, OR y NOT para definir búsquedas clave en organización, categorización y análisis de la información recopilada, de la siguiente manera "cacao AND volátil" recuperando resultados que tenían palabras "cacao" y "volátil" búsqueda "cacao OR chocolate" recupero resultados que tenían palabra "cacao "y la palabra "fermentación" o ambas "(cacao OR chocolate) AND fermentación" recupero resultados que tenían tanto "cacao" o "chocolate", y "fermentación" estas búsquedas de información se utilizaron en bases de datos académicas, motores de búsqueda y bibliotecas digitales como se muestra en la figura 15.

En la matriz de información se incluyeron variables como año de publicación, título de la revista, título del estudio, resumen y objetivo del estudio. Se profundizó en investigaciones relacionadas con el proceso de beneficio y transformación del cacao, abordando aspectos como el tipo de cacao utilizado, métodos de fermentación, selección de granos, desarrollo de compuestos volátiles clave y variables sensoriales del grano de cacao la información se detalla en la tabla 16, para mejorar la comprensión e interpretación de los lectores.

Figura 15. Matriz de Búsqueda y Sistematización de la Información.

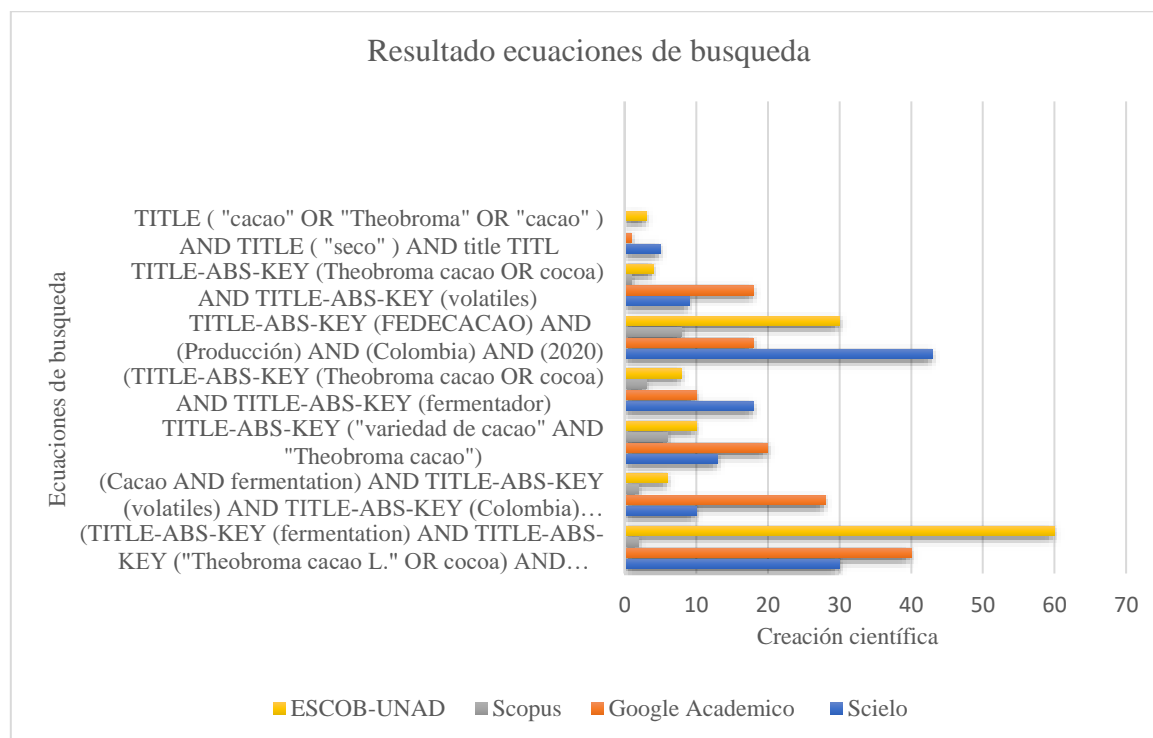


Nota: Se muestra la organización de búsquedas de información con operadores booleanos AND, OR, NOT en bases de datos académicas, motores de búsqueda y bibliotecas digitales. Fuente: Autoría propia. (2024)

Tabla 16*Ecuaciones de Búsqueda Operadores Booleanos.*

| # | Ecuación de búsqueda | Fuente | Creación científica | Fuente | Creación científica | Fuente | Creación científica | Fuente | Creación científica |
|---|---|--------|---------------------|------------------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|
| 1 | (TITLE-ABS-KEY (fermentation) AND TITLE-ABS-KEY ("Theobroma cacao L." OR cocoa) AND TITLE-ABS-KEY (microorganism*)) | | 30 | | 40 | | 2 | | 60 |
| 2 | (Cocoa and fermentation) AND TITLE-ABS-KEY (volatiles) AND TITLE-ABS-KEY (Colombia) AND DOCTYPE (ar) AND ACESSTYPE | | 10 | | 28 | | 2 | | 6 |
| 3 | TITLE-ABS-KEY ("variedad de cacao" AND "Theobroma cacao") | Scielo | 13 | Google académico | 20 | Scopus | 6 | ESCOB | 10 |
| 4 | (TITLE-ABS-KEY (Theobroma cacao OR cocoa) AND TITLE-ABS-KEY (fermentador)) | | 18 | | 10 | | 3 | UNAD | 8 |
| 5 | TITLE-ABS-KEY (FEDECACAO) AND (Producción) AND (Colombia) AND (2020) | | 43 | | 18 | | 8 | | 30 |
| 6 | TITLE-ABS-KEY (Theobroma cacao OR cocoa) AND TITLE-ABS-KEY (volatiles) | | 9 | | 18 | | 1 | | 4 |
| 7 | TITLE ("cacao" OR "Theobroma" OR "cocoa") AND TITLE ("seco") AND title TITL E-ABS-KEY ("fenólico" AND "compuestos" OR "polifenoles") AND NOT TITLE ("hull" OR "husk" OR "shell*") AND NOT TITLE ("liquor") | | 5 | | 1 | | 0 | | 3 |

Nota: en la tabla se muestra el resultado en las bases datos. Fuente: Autoría propia. (2024)

Figura 16. Resultados Ecuaciones de Búsqueda

Nota: En la figura se muestran los resultados de creación científica a partir de ecuaciones de búsqueda. Fuente: Autoría propia. (2024)

A través del uso de los operadores booleanos como AND, OR y NOT, se pudo combinar los términos de la búsqueda de información, lo que permitió unir lógicamente a la búsqueda de información pertinente. Se establecieron palabras claves de búsqueda de acuerdo al objeto de estudio, y la información recolectada para esta revisión se basó en búsquedas bibliográficas académicas especializadas, tipo artículos científicos, tesis y patentes, utilizando las bases de datos Science Direct, Scielo, Scopus, Google Academic y EBSCO - UNAD. El período temporal de resultados de investigaciones se estableció desde 2017 a 2022, como se muestra en la tabla 16. Como estructura de búsqueda se utilizaron los términos fermentación, *Theobroma cacao L.* fedecacao, volátiles, adicionando operadores booleanos AND y OR para completar ecuaciones de búsqueda relacionadas con el conjunto

de temas principales se relacionan y se reportan los elementos de exclusión, una vez identificados los listados, se procedió a realizar filtros orientados a documentación sobre los estudios relacionados a la determinación de compuestos volátiles y perfiles sensoriales que se desarrollan en el grano de cacao, se estableció la red de temática relacionada fermentación, compuestos volátiles y producción de cacao. Como resultado de la búsqueda es generada como ecuación primaria ((TITLE-ABS-KEY (fermentation) AND TITLE-ABS-KEY ("Theobroma cacao L." OR cocoa) AND TITLE-ABS-KEY (microorganism*)) a través de la base de datos de la EBSCO-UNAD y base de datos de FEDECACAO con ecuación de búsqueda TITLE-ABS-KEY (FEDECACAO) AND (Producción) AND (Colombia) AND (2020) arrojaron respectivamente la producción bibliográfica necesaria y complementaria al objeto de estudio; destacando que los demás resultados arrojados de las demás fuentes le apporto información complementaria como análisis de resultados como se muestra en la figura 17. Como resultados de búsqueda con el uso de operadores booleanos se encontró mayor relevancia de información en métodos de fermentación y la influencia en el perfil sensorial del grano de cacao, prototipos la determinación de compuestos volátiles en el grano de cacao y licor de cacao, a través de métodos como cromatografía de gases HPLC, evaporación de aroma asistida con solvente SAFE, destilación-extracción simultánea con solvente orgánico SDE, extracción por fluidos supercríticos SFE y cromatografía de gases por microextracción en fase sólida en el modo headspace HS-SPME de gran uso para la versatilidad y reproducibilidad e identificación en una mayor cantidad de compuestos volátiles y la influencia en el aroma y el perfil sensorial característico del cacao como lo muestra en la matriz de información en la tabla 17.

Tabla 17*Matriz de la Información.*

| Ref | Título | Temática relevante | Tipo de documento | Año | Fuente |
|------------|--|--|--------------------------|------------|---|
| 1 | Identificación de los compuestos volátiles mayoritarios en semillas tostadas de cacao variedad criollo (<i>Theobroma bovalifolium</i>) | Esta investigación se centró en la implementación del método de extracción conocido como “microextracción en fase sólida con espacio cabeza” (HS-SPME), utilizando para el montaje y desarrollo del método, muestras de cacao comercial variedad CCN51, para la identificación de los compuestos volátiles mayoritarios del cacao en esta variedad de cacao (Otero, 2017). | Tesis | 2017 | ESCOB universidad del Nariño Google Scholar |
| 2 | Evaluación de la calidad organoléptica de <i>Theobroma cacao</i> L. en fincas cacaoteras en el norte de Huila, Colombia. | En este estudio se realizó análisis bromatológico, para determinar los metabolitos secundarios como (cafeína y teobromina) y polifenoles totales, así como compuestos de la fracción volátil utilizando cromatografía de gases por microextracción en fase sólida en el modo headspace (HS-SPME) (Cuellar et al., 2018). | Artículo científico | 2018 | Scielo |
| 3 | Determinación del perfil aromático y sensorial del cacao chuncho (<i>Theobroma cacao</i> L.) durante proceso de fermentación en el sector de san jacinto - distrito de santa ana - la convención. | La presente investigación tuvo como objetivo determinar el perfil aromático y sensorial de cacao durante el proceso de fermentación mediante análisis principal de componentes (ACP) (Vega, 2018). | Tesis | 2018 | Google Scholar |

| Ref | Título | Temática relevante | Tipo de documento | Año | Fuente |
|------------|--|--|--------------------------|------------|---|
| 4 | Comparación sensorial del cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>) Nacional fino de aroma cultivado en diferentes zonas del Ecuador | Esta investigación tuvo como objetivo comparar el perfil sensorial de muestras de cacao de varias zonas productoras para obtener datos de diferentes componentes como el sabor cacao, acidez, amargor, astringencia, caramelo, floral, frutal, nuez y verde (Solórzano Chávez et al., 2018). | Artículo científico | 2018 | Ciencias agrarias Scielo |
| 5 | Investigación de los compuestos volátiles asociados al sabor del chocolate producido a partir del cacao “fino y de aroma” peruano. | Esta investigación se basó en identificar los compuestos químicos que son los responsables del sabor y aroma de estos chocolates, y de analizar el desarrollo de estos compuestos durante cada una de las etapas críticas de la manufactura del chocolate. | Tesis | 2019 | EBSCO UNAD |
| 6 | Proposición de un método semi-cuantitativo para la determinación compuestos volátiles en licores de cacao. | Este estudio consistió en la identificación de compuestos volátiles a partir de licores de cacao de las variedades TCS 95 Y TCS 01 producidas en el departamento de Santander, Colombia. usando la técnica de micro extracción en fase sólida con espacio de cabeza (SPME-HS), e identificados por medio de cromatografía de gases acoplado a espectrómetro de masas (GC-MS) mediante la comparación de los espectros de masas de cada compuesto en la biblioteca Wiley 275L de espectros de masa y la relación de índices de retención de Kovats (IK) (Palencia Blanco et al., 2020). | Artículo científico | 2020 | Respuesta;Journal of Engineering Sciences EBSCO UNAD |

| Ref | Título | Temática relevante | Tipo de documento | Año | Fuente |
|------------|--|--|--------------------------|------------|---|
| 7 | Caracterización de los compuestos volátiles de la cascarilla del grano de cacao tostado. | Esta investigación se evaluaron compuestos volátiles a partir de la cascarilla del grano de cacao tostado por microextracción en fase sólida y se analizaron por cromatografía de gases con detectores de ionización de llama, de masas y olfativo (Pérez Santana Danae et al., 2020). | Artículo científico | 2020 | Revista Ciencia y Tecnología de los Alimentos |
| 8 | Cuantificación de fenoles, antocianinas y caracterización sensorial de nibs y licor de cinco variedades de cacao, en dos sistemas de fermentación | En este estudio se realizó la cuantificación de los fenoles totales, antocianinas y la caracterización sensorial del licor y los nibs de las variedades de cacao a partir de la fermentación tradicional y micro fermentación (Ordoñez et al., 2020). | Artículo científico | 2020 | Revista Scienta Agropecuaria Scielo |
| 9 | Análisis de volátiles en el proceso de fermentado de cacao, mediante una nariz electrónica para el control de calidad del producto en Norte de Santander-Cúcuta. | El presente estudio consistió en el diseño de una nariz electrónica compuesta de 10 sensores de gases de tipo MQ en muestras de CLON ICS-95 de cacao; para el análisis de material de óxidos metálicos con capacidad de medir butanos, propanos, alcoholes, monóxido de carbono en diferentes concentraciones (Flórez et al., 2020). | Artículo científico | 2020 | Respuesta;Journal of Engineering Sciences ESCOB UNAD |

| Ref | Título | Temática relevante | Tipo de documento | Año | Fuente |
|------------|---|--|--------------------------|------------|----------------------------------|
| 10 | Rediseño de una cámara de medida y de concentración de compuestos volátiles de un sistema de olfato electrónico para el control de calidad del cacao. | Este trabajo presenta el rediseño de una cámara de medida y de concentración de compuestos volátiles en un sistema de olfato electrónico donde se somete una serie de muestras de cacao fermentadas, secas y sobre fermentadas para definir la calidad del grano (Albarracín Jaimes R, 2021) | Tesis de maestría | 2021 | Google Scholar |
| 11 | Effect of cocoa roasting time on volatile composition of dark chocolates from different origins determined by HS-SPME/GC-MS. | En este estudio, se evaluaron la composición volátil de 6 muestras de chocolate negro con distintos tiempos de tostado del cacao (30.5, 34.5 y 38.5 min) y se caracterizaron con micro extracción en fase sólida en el espacio de cabeza (HS-SPME), seguida de cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS) (Torres Moreno Miriam et al., 2021). | Artículo científico | 2021 | CyTA - Journal of Food Scopus |
| 12 | Revisión de métodos para la fermentación de cacao y análisis de la fermentación combinada de cacao criollo y forastero. | Esta investigación busco encontrar las mejores pautas para el proceso de fermentación posterior a la cosecha y extracción de los granos, con el fin de obtener un mayor número de granos semifermentados o fermentados y el estudio para evitar que estos se contaminen de mohos o levaduras y dañen la calidad del producto (Gonzales, 2021). | Tesis | 2021 | ESCOB UNAD |

| Ref | Titulo | Temática relevante | Tipo de documento | Año | Fuente |
|-----|---|--|----------------------|------|---|
| 13 | Análisis de los compuestos volátiles de cacao nativo fino de aroma de granos tostados y sin tostar. | Esta investigación se analiza la producción de precursores del aroma y los compuestos aromáticos volátiles del cacao en muestras fermentadas secas y tostadas comparadas con muestras fermentadas, secas y sin tostar, utilizando la tecnología de cromatografía de gases acoplada a un detector de masas con micro extracción en fase sólida (GC-MS-SPME-HS) (Mori Mestanza et al., 2021b). | Artículo científico | 2021 | Pakamuros Google Scholar |
| 13 | Caracterización de algunos compuestos de interés en los procesos de fermentación y tostado de dos especies de cacao Amazónico. | Esta investigación consistió en determinar y evaluar la formación de compuestos fenólicos precursores de sabor y producción de pirazinas en la fermentación y en tostado infrarrojo a tres diferentes temperaturas (110, 140 y 170°C) (Solarte R Miryam L, 2021). | Tesis | 2021 | Google Scholar |
| 14 | Identificación e interacción de compuestos aromáticos específicos de cacao criollo (<i>Theobroma cacao L.</i>) durante la fermentación | Esta investigación tuvo como objetivo identificar y estudiar la interacción de compuestos aromáticos específicos (CAE) de cacao Criollo en pulpa y grano; generados durante fermentación espontánea (Pizarro, 2022) . | Tesis | 2022 | Google Scholar |
| 15 | Revisión sobre los atributos físicos, químicos y sensoriales como indicadores de la | Esta revisión describe el papel de las principales características de los perfiles sensoriales y compuestos no volátiles, podrían considerarse como indicadores en la | Artículo de revisión | 2022 | Petroglifos. Revista Crítica Transdisciplinar |

| | | | | | |
|-----------|---|--|---------------------|------|---------------------------------------|
| | calidad comercial del cacao. | tipificación de los mismos, para fines de comercialización (Fernández et al., 2022). | | | Google Scholar |
| 16 | Caracterización física y química de almendras secas del cacao fino de aroma (<i>Theobroma cacao L.</i>) provenientes de la región amazonas. | El objetivo general de esta investigación fue determinar las características físicas y químicas de almendras secas del cacao fino de aroma (<i>Theobroma cacao L.</i>) provenientes de la región Amazonas, además de los compuestos volátiles de las almendras sin tostar y tostadas (Bach , 2022) | Tesis | 2022 | ESCOB institucional Google Scholar |
| 17 | Evaluación del método de extracción SPME-GC-MS para el análisis de compuestos orgánicos volátiles en licor de cacao de Nariño-Colombia. | Esta investigación, se utilizó un diseño experimental tipo factorial, usando la metodología de superficie de respuesta para identificar el tipo de fibra, la temperatura y el tiempo de extracción óptimos como factores influyentes en el análisis de los COV's responsables del aroma las cuales se utilizaron para estudiar posteriormente los efectos del manejo de poscosecha en la calidad del cacao (Rojas et al., 2022). | Artículo científico | 2022 | ION Scielo |

Fuente: Autoría propia. (2024)

Conclusiones

- Durante el proceso de fermentación, existe una relación directamente proporcional entre el desarrollo de compuestos volátiles; a medida que avanza el proceso de fermentación, aumenta la concentración de compuestos volátiles en el grano de cacao.
- Los compuestos volátiles realmente importantes para definir la calidad del grano de cacao y su influencia en el perfil sensorial son: los ésteres, alcoholes, ácidos, pirazinas, aldehídos, y pirazinas específicas como la tetrametilpirazina, trimetilpirazina, benzaldehído, 2-fenilacetaldehído y el linalool elementos que contribuyen a generar notas aromáticas a chocolate, tostado, nuez y madera, esenciales para el perfil sensorial del cacao.
- Dentro de la revisión de las diferentes investigaciones aplicadas al estudio, se encontraron aproximadamente 600 compuestos volátiles del cacao pertenecientes a clases químicas como aldehídos, cetonas, ésteres, alcoholes, pirazinas, furanos, pironas, lactonas, pirroles y dicetopiperazinas, responsables de producir notas de sabor y aroma características del cacao.
- A través de la investigación se han implementado métodos de extracción para la identificación y cuantificación de volátiles y encontrar específicamente cuáles contribuyen con mayor proporción al sabor y aroma en las diferentes matrices de cacao; destacando los más utilizados el método de extracción conocido como "microextracción en fase sólida" (HS-SPME), en la identificación de los principales compuestos volátiles en semillas tostadas en variedades de cacao, también la cuantificación de volátiles por cromatografía de gases acoplada a espectrómetro de masas (GC-MS) mediante la comparación de los espectros de masas de cada compuesto, la caracterización sensorial

del licor de variedades de cacao a partir de métodos de fermentación y diseños de sistemas electrónicos para el control de calidad en el grano de cacao.

Recomendaciones

Contribuir al mejoramiento a la investigación de manera experimental para enriquecer las bases prácticas en la determinación de compuestos volátiles durante el beneficio y técnicas de mejoramiento del grano de cacao.

Profundizar un poco más en los métodos de fermentación y su influencia en el desarrollo de compuestos volátiles en el perfil sensorial del grano de cacao para definir su calidad.

Continuar la investigación en base a la determinación de los compuestos volátiles en el grano de cacao a partir de la optimización de parámetros de cromatografía para determinar los perfiles sensoriales.

Bibliografía

Albarracín Jaimes R. (2021). Rediseño de una Cámara de Medida y de Concentración de Compuestos Volátiles de un Sistema de Olfato Electrónico para el Control de Calidad del Cacao.

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/41986/88250814.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Aldave Palacios Gladis Josefina. (2016). *Efecto de la temperatura y tiempo de tostado en los caracteres sensoriales y en las propiedades químicas de granos de cacao (Theobroma cacao L.) procedente de Uchiza, San Martín – Perú para la obtención de NIBS*. 1–115.

http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/5009/Aldave_pj.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Alvarado', M. L., Portillo, E., Boulanger, R., Bastide, P., & Macia, I. (n.d.). *Rio ANUS, municipio Sucre, Estado Portuguesa, Venezuela Aromatic substances in cocoa cropped in Rio Anus area, Sucre Municipality, Portuguesa State, Venezuela*.

Bach Sandy R. (2022). Caracterización física y química de almendras secas del cacao fino de aroma (*Theobroma cacao L.*) Provenientes de la región amazonas.

<https://orcid.org/0000-0002-9910-8518>

Beckett, S. T. (2009). Industrial Chocolate Manufacture and Use: Fourth Edition. In Industrial Chocolate Manufacture and Use: Fourth Edition.

<https://doi.org/10.1002/9781444301588>

Bela L, F. (2013). Evaluación de tres tipos de secado en la calidad del grano de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la estación experimental de Sapecho-la Paz.

<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/4147/T-1840.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bonvehí, J. S. (2005). Investigation of aromatic compounds in roasted cocoa powder.

European Food Research and Technology, 221(1–2), 19–29.

<https://doi.org/10.1007/s00217-005-1147-y>

Cadena de Cacao. (2021). <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

Cano E. (2008). *Manual de beneficio del cacao*. https://chocolates.com.co/wp-content/uploads/2020/06/manual_beneficio_cacao.pdf

Cardona, A. ner, Lerma, G., & Castro, W. P. (2020). *Instrumentación del proceso de fermentación tipo escalera del cacao*. Disponible:

<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/ed010654-ca9f-40f9-84be-a637b5b94581/content>

Castillo Ramos, J. (2019). *Diseño de un fermentador orientado a mejorar el proceso de fermentación del cacao criollo blanco de piura*.

https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4017/mas_ime_aut_033.pdf?sequence=2&isallowed=y

Celi Jonathan, T. J. (2020). Diseño y construcción de una máquina para remover cascarilla en granos de cacao seco para una producción de 25kg / h.

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18677/4/ups%20-%20st004525.pdf>

Cempaka, L., Aliwarga, L., Purwo, S., & Penia Kresnowati, M. T. A. (2014). Dynamics of cocoa bean pulp degradation during cocoa bean fermentation: Effects of yeast starter

culture addition. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, 46(1), 14–25.

<https://doi.org/10.5614/j.math.fund.sci.2014.46.1.2>

Cuellar, L. M., Espinosa, C. M. O., Sánchez, Y. K. A., Cruz, L. G., & Salazar, J. C. S.

(2018). Organoleptic quality assessment of *Theobroma cacao* L. in cocoa farms in northern Huila, Colombia. *Acta Agronomica*, 67(1), 46–52.

<https://doi.org/10.15446/acag.v67n1.66572>

De Brito, E. S., García, N. H. P., Gallão, M. I., Cortelazzo, A. L., Fevereiro, P. S., & Braga,

M. R. (2001). Structural and chemical changes in cocoa (*Theobroma cacao* L) during fermentation, drying and roasting. *Journal of the Science of Food and Agriculture*,

81(2), 281–288. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(20010115\)81:2<281::aid-](https://doi.org/10.1002/1097-0010(20010115)81:2<281::aid-)

[jsfa808>3.0.co;2-b](https://doi.org/10.1002/1097-0010(20010115)81:2<281::aid-jsfa808>3.0.co;2-b)

Deily, M., Alarcón Pinedo Bach Elita Oblitas Medina Asesores, B., & Wilfredo Díaz

Gamboa Mg Romel Iván García Guerrero, O. (2019). Evaluación de la calidad

organoléptica del licor de cacao CCN-51 (*Theobroma cacao* L.) Mejorado

enzimáticamente en el proceso de fermentación. Universidad Nacional de Jaen .

Ducki, S., Miralles-Garcia, J., Zumbé, A., Tornero, A., & Storey, D. M. (2008). Evaluation

of solid-phase micro-extraction coupled to gas chromatography-mass spectrometry for the headspace analysis of volatile compounds in cocoa products. *Talanta*, 74(5),

1166–1174. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2007.08.034>

Erazo, G. C. Y. (2019). Diseño de un fermentador y secador solar piloto, para dos

variedades de cacao (*Theobroma cacao* L.), en el cantón el empalme Provincia

Guayas [Universidad Internacional Sek].

<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3361/1/fermentacion%20de%20cacao.pdf>

- Erazo Solórzano, C. Y., Bravo Franco, K. J., Tuárez García, D. A., Fernández Escobar, Á. O., Torres Navarrete, Y. G., & Vera Chang, J. F. (2021). Efecto de la fermentación de cacao (*Theobroma cacao* L.), variedad nacional y trinitario, en cajas de maderas no convencionales sobre la calidad física y sensorial del licor de cacao. *Revista de Investigación Talentos*, 8(2), 42–55. <https://doi.org/10.33789/talentos.8.2.153>
- Fadel, H. H. M., Abdel Mageed, M. A., Abdel Samad, A. K. M. E., & Lotfy, S. N. (2006). Cocoa substitute: Evaluation of sensory qualities and flavour stability. *European Food Research and Technology*, 223(1), 125–131. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0162-3>
- Fernández, Á., Salgado, L., Silva, P., Amaíz, L., Del, M. C., González, P., Clímaco O Álvarez Fernández, J. G., Liconte Salgado, N. D., Pérez Silva, E. E., Del Lares Amaíz, M. C., Perozo González, J. G., Grupo para la Investigación, F., & Transdisciplinar, E. (2022). Revisión sobre los atributos físicos, químicos y sensoriales como indicadores de la calidad comercial del cacao. *Periodicidad: Semestral*, 5(1), 2022. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6548316>
- Fernando, L., Fuentes, Q., & García Jerez, A. (2021). Evaluación integral de la calidad sensorial del cacao. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=950834>
- Flores Nieves María March. (2015). *Comparación del perfil de ácidos grasos (ESI-MS y RMN) y el contenido de metilxantinas (HPLC-DAD) en granos de Theobroma cacao de siete regiones del Perú.*

<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/16106/FLORES%20MARCH%2C%20NIEVES%20-%20Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Flórez-Martínez, A., Durán-Acevedo, C. M., & Carrillo-Gómez, J. K. (2020). Análisis de volátiles en el proceso de fermentado de cacao, mediante una nariz electrónica para el control de calidad del producto en Norte de Santander-Cúcuta. *Respuestas*, 25(2), 133–146. <https://doi.org/10.22463/0122820x.2955>

Frauendorfer, F., & Schieberle, P. (2008). Changes in key aroma compounds of Criollo cocoa beans during roasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(21), 10244–10251. <https://doi.org/10.1021/jf802098f>

García, J. , Quintana. F. ,L & Moreno. M. , E. (2021). Determination of the grain index and husk percentage of regional cocoa genotypes FSV41, FEAR5 and FLE2 and universal genotype CCN 51. <https://www.redalyc.org/journal/2913/291374362012/html/>

Gonzales O., S. (2021). Revisión de métodos para la fermentación de cacao y análisis de la fermentación combinada de cacao criollo y forastero. <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/22265/Trabajo%20de%20grado%20cacao%20Santiago%20Gonz%C3%A1lez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

González, M. (2016). *Características sensoriales y composición no volátil de vinos tintos: avances en la exploración de la calidad* [Universidad de la Rioja]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=46984>

Guerrero L. (2018). Extracción de los aromas de cacao por fluidos supercríticos y su incorporación en una película para su uso en alimentos.

<https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/631/1/Lucia%20Guerrero%20Becerra.pdf>

Horta Tellez B. (2017). Evaluación del tipo de fermentador en la calidad final de una mezcla de cacao (*Theobroma cacao L.*).

<https://repository.ut.edu.co/server/api/core/bitstreams/35a1256b-d36a-42bd-ac64-32c188d12d72/content>

Imbaquingo, & Ávila, O. (2012). Diseño y construcción de una máquina para remover la cascarilla de granos de cacao para una producción de 200 kg/h.

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4574/1/CD-4200.pdf>

Ipanaqué, W., Castillo, J., Robles, H., & Belupú, I. (2017). Desarrollo e implementación de un prototipo de acero inoxidable para evaluar el proceso de fermentación de granos de cacao. <https://www.icco.org/wp-content/uploads/T5.77>.

Jiménez Sandoval, A (2020). Cambios fisicoquímicos durante el tostado artesanal del cacao: una contribución teórica para la transferencia social de conocimiento en la vereda de alto Guapaya, meta [Pontificia Universidad Javeriana].

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/52089/TG%20-%20AMSJ%2015%20DIC%20de%202020.pdf?sequence=1&isAllowed=>

José Nicasio Quevedo Guerrero, J. A. R. L. & I. G. T. G. (2018). Physical-chemical and sensorial quality of cocoa grains and liquor (*Theobroma cacao L.*) using five methods of fermentation. 1–13. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/172/207>

Kongor, J. E., Hinneh, M., de Walle, D. Van, Afoakwa, E. O., Boeckx, P., & Dewettinck, K. (2016). Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean

flavour profile - A review. *Food Research International*, 82, 44–52.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.012>

Leal, G. A., Gomes, L. H., Efraim, P., de Almeida Tavares, F. C., & Figueira, A. (2008).

Fermentation of cacao (*Theobroma cacao* L.) seeds with a hybrid *Kluyveromyces marxianus* strain improved product quality attributes. *FEMS Yeast Research*, 8(5),

788–798. <https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2008.00405.x>

León Diaz Laura Katherine. (2021). Identificación Molecular de Levaduras Asociadas a la Fermentación de Cacao Artesanal en el Departamento de Santander.

<https://repositorio.udes.edu.co/server/api/core/bitstreams/a6258a6c-024f-4d01-822e-618474789f65/content>

Luna, F., Crouzillat, D., Cirou, L., & Bucheli, P. (2002). Chemical composition and flavor

of Ecuadorian cocoa liquor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 3527 – 3532. 95(August 2000), 3532. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12033823/>

Lucas, Q. F., Salomón, G. C., Alberto, G. J., & Nubia, M. (2015). Perfil sensorial del Clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN51 (primera cosecha de 2015).

https://www.researchgate.net/publication/320294840_Perfil_sensorial_del_Clon_de_cacao_Theobroma_cacao_L_CCN51_primera

Martínez Guerrero N, & Ligarreto Moreno G. (2023). Sensory analysis of cacao liquor

(*Theobroma cacao* L.) in cultivars with different origins grown in the Colombian tropics. <https://doi.org/10.17584/rcch.2023v17i2.15876>

Maria del Carmen Wachter Rodarte. (2011). *Microorganismos y chocolate*. 5–9. Disponible:

<https://www.revista.unam.mx/vol.12/num4/art42/art42.pdf>

Meza Sepulveda DC. (2017). *Estrategia de mejoramiento para el proceso de fermentación del Theobroma cacao L. para la finca la Solita de la Asociación de Cacaoteros de Belén de Umbría (ASOCACAO B.U.) En Risaralda* [Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/5c228f50-33dc-4183-9ed5-7d68ad41731a/content>

Misnawi, J., & Sari, A. B. (2011). Analysis of Pyrazine and Volatile Compounds in Cocoa Beans Using Solid Phase Microextraction. *Pelita Perkebunan*, 27(1), 24–35.

Montoya Cadavid Gilberto. (2002). *Química orgánica II*.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55784/quimicaorganicaII.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Morales Lester. (2020). Fermentación asistida de cacao (*Theobroma cacao L.*) y participación de Zamorano en la investigación e innovación de derivados de este cultivo: Revisión literaria.

<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b42b7961-cdac-4779-b893-bbfe0a50b10b/content>

Moreno, M. (2012). Influencia de las características y procesado del grano de cacao en la composición físico-química y propiedades sensoriales del chocolate negro. In *Manuscript in preparation*. Universitat Rovira i Virgili.

Moreno-Martínez, E., Gavanzo-Cárdenas, Ó. M., & Rangel-Silva, F. A. (2019). Evaluación de las características físicas y sensoriales de licor de cacao asociadas a modelos de siembra. *Ciencia y Agricultura*, 16(3), 75–90.

<https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n3.2019.9890>

- Mori Mestanza Diner, Zuta Chamoli Verónica, Barrena Gurbillón Miguel Ángel, Oliva Cruz Manuel, & Chávez Quintana Segundo Grimaldo. (2021). Análisis de los compuestos volátiles de cacao nativo fino de aroma de granos tostados y sin tostar. *Revista Científica Pakamuros*, 9(4), 133–147. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v9i4.243>
- Morillo, E., Buitron, J., & Quiroz-Vera, J. (2023). Genetic expression of Linalool in highly homozygotic national cocoa genotypes from the leading traditional cocoa-growing areas in Ecuador. *Bionatura*, 8(2). <https://doi.org/10.21931/RB/2023.08.02.20>
- Murcia-Artunduaga, K., Gasca-Torres, L., & Castañeda, M. del R. (2022). Evaluación físico-sensorial de granos de cacao (*Theobroma cacao* L.), región sur del Huila (Colombia). *Informador Técnico*, 86(2). <https://doi.org/10.23850/22565035.4358>
- Norma Técnica Colombiana NTC- 1252. (2021). Cacao en grano. Especificaciones y requisitos de calidad. <https://www.mundocacao.com.co/calidad/c/0/i/49741462/norma-tecnica-colombiana-del-icontec-ntc-1252>
- Ochoa, S. R., & Zamora Zamora, T. (2021). Estudio de los métodos extractivos de compuestos volátiles para su determinación en cacao de aroma. www.fcq.ug.edu.ec
- Ordoñez, E. S., Yamily Quispe, C., & García, L. F. C. (2020). Quantification of phenols, anthocyanins and sensory characterization of nibs and liquor of five cocoa varieties, in two fermentation systems. *Scientia Agropecuaria*, 11(4), 473–481. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2020.04.02>
- Ortega Carzola Jose Ignacio. (2015). Facultad de farmacia universidad complutense trabajo de fin de grado: aldehidos y cetonas

<https://eprints.ucm.es/id/eprint/50178/1/JOSE%20IGNACIO%20ORTEGA%20CAZORLA.pdf>

Otero R, E. (2017). Identificación de los compuestos volátiles mayoritarios en semillas tostadas de cacao variedad criollo (*Theobroma bovalifolium*) cultivadas en la asociación corte paz del municipio de Tumaco.

<https://sired.udenar.edu.co/3806/1/TRABAJO%20DE%20GRADO%20NORMAS%200.pdf>

Palacios. (2016). Efecto de la temperatura y tiempo de tostado en los caracteres sensoriales y en las propiedades químicas de granos de cacao (*Theobroma cacao L.*) procedente de Uchiza, San Martín – Perú para la obtención de NIBS.

<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/107>

Palacios, A., Quevedo, J., & Rodríguez, I. (2021). FETENSECA: An alternative to improve the sensory quality of cocoa (*Theobroma cacao L.*) cultivar ccn-51. *Manglar*, 18(4), 411–417. <https://doi.org/10.17268/manglar.2021.053>

Palencia Blanco Cristian, Gualdrón-Zambrano, A., Guarín - Henao, I., Ojeda-Galeano, Y., Villamizar-Jaimes, A., Zárate-Caicedo, D. A., Coronado-Silva, R. A., Rodríguez-Silva, L., & López-Giraldo, L. J. (2020). Proposal for a semi-quantitative method for the determination of volatile compounds in cocoa liquors. *Respuestas*, 25(1).

<https://doi.org/10.22463/0122820x.2406>

Palencia-Blanco, C. G. (2020). Desarrollo de modelos matemáticos para la predicción de perfiles sensoriales de licores de cacao a partir de caracterización química [Tesis de Maestría, Tesis de Maestría. Universidad Industrial de Santander - UIS.].

http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/pags/cat/popup/pa_detalle_matbib.jsp?parametros=188709%7C%7C1%7C1

Pallares-Pallares, A., Perea-Villamil, J. A., & López-Giraldo, L. J. (2016). Impacto de las condiciones de beneficio sobre los compuestos precursores de aroma en granos de cacao (*Theobroma cacao* L) del clon CCN-51. *Respuestas*, 21(1), 120–133.

<https://doi.org/10.22463/0122820x.726>

Peña Gonzales Nancy. (2021). *Estudio de métodos de fermentación y secado del cacao*.

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/24717/1/UCE-FCQ-CQA-PE%C3%91AHERRERA%20NANCY.pdf>

PeñaherreraGonzález NancyDiana. (2021). *Estudio de métodos de fermentación y secadodel cacao*.

Peralta J. (2020). Diseño de procesos postcosecha y evaluación de la fermentación mediante cajas de madera para cacao nacional y ccn-51 en la finca “nayeli” del cantón Balzar de la Provincia del Guayas.

https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/PERALTA%20MACIAS%20JUNIOR1_compressed.pdf

Pérez Santana Danae, Pérez, J. C., Pino, J. A., Alimentos, D., & P, J. A. (2020).

Caracterización de los compuestos volátiles de la cascarilla del grano de cacao tostado. In *Ciencia y Tecnología de Alimentos* (Vol. 30, Issue 3).

<https://www.revcitecal.iiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/201/175>

Pinzon Molano Fernando Alberto. (2010). Lectura grupos funcionales (alcoholes, éteres, ésteres, aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos, aminas, amidas).

https://portalacademico.cch.unam.mx/materiales/prof/matdidac/sitpro/exp/quim/quim2/quimicaII/L_GruposF.pdf

Pizarro Diaz R. (2022). Identificación e interacción de compuestos aromáticos específicos de cacao criollo (*Theobroma cacao L.*) durante la fermentación espontánea.

<http://52.9.121.169/bitstream/handle/20.500.14077/2604/Pizarro%20Diaz%20Rosa%20Nardy.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ramos Gradys, G. N. , Z. A. y G. A. (2013). Olores y sabores de cacao (*Theobroma cacao L.*) venezolanos obtenidos usando un panel decantación entrenado. 6–14.

<http://www.bioline.org.br/pdf?cg13014>

Reed, S. (2010). Sensory Analysis of Chocolate Liquor. *The Manufacturing Confectionary*, 43–52.

Rijel. (2005). *Procesamiento del cacao para la fabricación de chocolate y sus subproductos*. <http://www.icco.org/>

Rios-Jara, J., & Lévano-Rodríguez, D. (2022). Importancia de los dispositivos usados en la fermentación de Cacao (*Theobroma cacao L.*). *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 2(1). <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.281>

Rodríguez-Campos, J, Escalona-Buendía, Héctor B, Orozco-Ávila, Ignacio, Lugo-Cervantes, & Lugo-Cervantes, Eugenia Del Carmen (2010). Dynamics of volatile and non-volatile compounds in cocoa (*Theobroma cacao L.*) during fermentation and drying processes using principal components analysis Disponible:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996910004035>

Rodriguez-Campos, J., Escalona-Buendía, H. B., Contreras-Ramos, S. M., Orozco-Avila, I., Jaramillo-Flores, E., & Lugo-Cervantes, E. (2012). Effect of fermentation time and

- drying temperature on volatile compounds in cocoa. *Food Chemistry*, 132(1), 277–288. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.078>
- Rodríguez-Silva, L. G., Quintana-Fuentes, L. F., Coronado-Silva, R. A., García-Jerez, A., Báez-Daza, E. Y., & Agudelo-Castañeda, G. A. (2023). Physical and sensory characterization of 24 special cocoa genotypes *Theobroma cacao*. *Revista U.D.C.A Actualidad and Divulgacion Cientifica*, 26(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v26.n1.2023.2410>
- Rojas, O., Rúales, H., Perdomo, A., Mora, J., & Evaluación, J. P. (2022). *Evaluación del método de extracción SPME-GC-MS para el análisis de compuestos orgánicos volátiles en licor de cacao de Nariño-Colombia*. 35(1), 103–116. <https://doi.org/10.18273/revion.v35n1>
- Rojas-Rojas, K., Hernández-Aguirre, C., & Mencía-Guevara, A. (2021). Transformaciones bioquímicas del cacao (*Theobroma cacao L.*) durante un proceso de fermentación controlada. www.mag.go.cr/revagr/index.htmlwww.cia.ucr.ac.cr
- Salazar C. (2020). Efecto de las condiciones de fermentación y secado en las características físico químicas del cacao (*Theobroma cacao L.*); cultivar CCN 51. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4334/chavez-salazar-angel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Salous, A. A.-G. & A. L. S. F. (2019). *Acceleration of cocoa fermentation through the action of bacteria (Acetobacter aceti) and yeast (Saccharomyces cerevisiae)*. *Aceleración de la fermentación del cacao mediante la acción de bacterias (Acetobacter aceti) y levadura (Saccharomyces cerevisiae)*. <https://www.redalyc.org/journal/5732/573263327001/html/>

Solarte R, M. L. (2021). Caracterización de algunos compuestos de interés en los procesos de fermentación y tostado de dos especies de cacao Amazónico.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79691/1053793216.2021.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Solarte R Miryam L. (2021). Caracterización de algunos compuestos de interés en los procesos de fermentación y tostado de dos especies de cacao Amazónico.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79691>

Solórzano Chavez, E., Puyutaxi, F. A., Jiménez Barragan, J., Nicklin, C., & Miranda, S. B. (2018). Comparación sensorial del cacao (*Theobroma cacao L.*) Nacional fino de aroma cultivado en diferentes zonas del Ecuador.

Steinau Dueñas IA, G. R. S. & C. de A. v. (2019). Evaluación de la incidencia de la fermentación en la calidad del grano de cacao trinitario en Caluco, Sonsonate, El Salvador. *Agrociencia* , 1, 1–15.

<https://revistas.ues.edu.sv/index.php/agrociencia/article/view/716>

Teneda Llenera Willian Fabian. (2016). Mejoramiento del Proceso de Fermentación del Cacao (*Theobroma cacao L.*) Variedad Nacional y Variedad CCN51.

<https://core.ac.uk/download/pdf/223061502.pdf>

Torres Moreno Miriam, Tarrega Amparo, & Blanch Consol. (2021). Effect of cocoa roasting time on volatile composition of dark chocolates from different origins determined by HS-SPME/GC-MS. *CYTA - Journal of Food*, 19(1), 81–95.

<https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1860137>

Trigoso Rojas D. (2023). Identificación de biomarcadores aromáticos del proceso de fermentación espontánea con cultivo iniciador en cacao nativo orgánico.

<https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/3116/Trigoso%20Rojas%20Deisy%20Floreli%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ureña & Peralta. (2021). Prototipo de fermentador portátil ecológico, optimización del proceso de fermentación. www.fontagro.org

Utrilla-Vázquez.,M & Gomez-Moreno.,C. (2020). Analysis of volatile compounds of five varieties of Maya cocoa during fermentation and drying processes by Venn diagram and PCA. Volumen 129,108834, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108834>.

Vargas Alcaraz Juan Manuel. (2012). Síntesis de pirazinas disustituidas simétricas vía α -aminonitrilos. <http://132.248.9.195/ptd2013/enero/0687257/0687257.pdf>

Vega, J. R. H. B. & E. del C. (2016). *Optimización del proceso de tostado*.

<https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/417/1/Optimizaci%C3%B3n%20del%20proceso%20de%20tostado.pdf>

Vega L, S. (2018). Determinación del perfil aromático y sensorial del cacao Chunchu (*Theobroma cacao L.*) Durante procesos de fermentación.

<https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/3465/253T20180257.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Velásquez Reyes, D., Kirchmayr, M. R., & Gschaedler Mathis, A. (2023). Inóculos fermentativos: ¿De qué sabor vas a querer tu chocolate? In Revista de divulgación científica iBIO (Vol. 5, Issue 3).

Vera Romero, J. M., & Mantilla Pabón, Y. T. (2020). Características sensoriales de granos y licor de cacao por un panel de jueces en entrenamiento. *Revista Sennova: Revista Del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 5(1), 27–42.

<https://doi.org/10.23850/23899573.3232>

Zapata Bustamante, S., Tamayo Tenorio, A., & Alberto Rojano, B. (2015). Efecto del Tostado Sobre los Metabolitos Secundarios y la Actividad Antioxidante de Clones de Cacao Colombiano. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 68(1), 7497–7507. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v68n1.47836>