

Revisión del estado del arte sobre el efecto de la fermentación dirigida y el secado en la calidad
de los granos de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Ana María Vargas Narvárez y María Camila Moreno Argüello

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Químico
Modalidad trabajo de investigación

Director

Luis Javier López Giraldo

Ingeniero Químico, Ph. D en Química, Bioquímica y Ciencia de Alimentos

Codirector

Claudia Johanna Sandoval Lozano

Bióloga, M.Sc en Microbiología

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

A Dios, por todas sus bendiciones y por ser mi guía a lo largo de mi carrera universitaria, por estar presente en cada momento de mi vida y por permitirme culminar un sueño, uno de los proyectos más grandes de mi vida.

A mis padres, por darme la vida y enseñarme a vivirla, porque gracias a ellos soy la mujer que soy y por el apoyo ilimitado que siempre me han brindado en cada paso que doy. A mi madre, por su infinito amor, por sus oraciones y consejos, por tener siempre palabras de aliento, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía. A mi padre, por darme una infancia llena de felicidad, por su gran amor, paciencia y apoyo en cada etapa de mi vida. Cada logro de mi vida siempre será por y para ustedes.

A mi tía Martha, por su ayuda incondicional y porque siempre ha estado presente en mis sueños y anhelos. A todos los demás miembros de mi familia que se han preocupado por mí y me han brindado una mano amiga.

A mi compañera de tesis, por su amistad, paciencia y por brindarme apoyo durante el desarrollo de este trabajo. A mi amigo Nicolás, por su lealtad y apoyo incondicional. A mis amigos y compañeros de universidad, gracias por las risas y porque hicieron que estos años de estudio sean inolvidables, los llevaré siempre en mi corazón.

A todas las personas que creyeron en mí y me ayudaron a culminar esta etapa de mi vida.

Y lo más importante, a Ana María, por cumplir el sueño y no dejarse vencer.

Con mucho amor, para ustedes.

Ana María Vargas Narváez

A Dios inicialmente, por acompañarme en todos estos años de carrera y darme sabiduría para tomar las decisiones correctas en cada momento de mi vida.

A mi padre, por su apoyo y amor incondicional, por recordarme día a día la persona extraordinaria que soy, por sus consejos, sus palabras alentadoras, su valentía para afrontar las adversidades de la vida, por educarme, porque gracias a ti he logrado llegar hasta acá y convertirme en lo que soy. Eres una persona excepcional. Te amo infinitamente y cada logro de mi vida siempre será para ti.

A mi familia, por su apoyo incondicional, su compañía y sus consejos para que cada día sea una mejor persona.

A Juan Felipe por regalarme una sonrisa y un abrazo después de un día pesado de universidad.

A mi novio, Nelson Pinzón, por su amor, paciencia y cariño, por apoyarme en cada decisión que tomo, por celebrar mis triunfos, por sus consejos y abrazos, por acompañarme en los momentos difíciles, eres una persona increíble, te amo.

A mi compañera de tesis, por su amistad, sus consejos, sus comentarios que hacían que el ambiente de trabajo fuera más ameno y alegre, por su apoyo durante el desarrollo de este trabajo. A mis compañeros de universidad por ayudarme a entender los diferentes temas de manera más fácil. A mis amigos, por sus consejos, abrazos y risas, que se encargaron de llenar mi vida universitaria de bonitos recuerdos, siempre los llevaré en mi corazón.

Y a cada una de aquellas personas que de una u otra manera me ayudaron y me apoyaron en esta fase de mi vida.

María Camila Moreno Argüello

Agradecimientos

A la Universidad Industrial de Santander, especialmente a la escuela de Ingeniería Química, por ser la base de nuestra formación y prepararnos para la vida profesional, mediante su calidad docente, quienes nos transmitieron sus conocimientos y contribuyeron a nuestro aprendizaje.

A nuestro director, el profesor Luis Javier López Giraldo, por sus enseñanzas, colaboración y tiempo brindado en este proyecto. A nuestra codirectora Claudia Johanna Sandoval Lozano, por su apoyo, tiempo e interés en este proyecto.

Tabla de contenido

	Pág.
Introducción	12
1 Objetivos	14
1.1 Objetivo general	14
1.2 Objetivos específicos	14
2 Marco conceptual	14
2.1 Proceso de fermentación	15
2.2 Proceso de secado	17
2.3 Tostado	18
3 Metodología	18
3.1 Búsqueda y selección de artículos científicos en la base de datos	18
3.2 Revisión y clasificación de la información	19
3.2.1 Filtro Tree of Science	19
3.2.2 Filtro por título	19
3.2.3 Filtro por resumen	20
3.2.4 Filtro por contenido	20
3.3 Análisis de la información	20
4 Resultados	21
4.1 Fermentación	21
4.1.1 Variedad de cacao	21
4.1.2 Método de fermentación	24
4.1.3 Rampa de temperatura	28
4.1.4 Selección de cultivo iniciador	30

4.1.5	Efecto sobre la fermentación	33
4.2	Secado	36
4.2.1	Método de secado	36
4.2.2	Duración y temperatura.....	40
4.2.3	Efecto en la calidad del licor y granos de cacao	41
4.3	Sistemas usados para la calificación de la calidad de licores de cacao y chocolates.....	43
4.3.1	Parámetros fisicoquímicos evaluados en el grano seco	44
4.3.2	Evaluación sensorial	46
4.3.3	Compuestos volátiles presentes en el producto final (licor de cacao o chocolate)	47
5	Conclusiones	50
6	Recomendaciones	50
	Referencias bibliográficas.....	53
	Apéndices.....	65

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Variación de tiempo de fermentación dirigida con respecto a la variedad de cacao y tipo de inóculo.....	25

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Variedad de cacao utilizado en los procesos de fermentación y secado analizados durante el desarrollo de este trabajo de revisión bibliográfica.	22
Figura 2. Métodos de fermentación utilizados en las fermentaciones analizadas.	24
Figura 3. Rampa de temperatura utilizadas en las tres experimentaciones.....	29
Figura 4. Especies de microorganismos utilizados como cultivo iniciador en las fermentaciones de cacao.	31
Figura 5. Tipo de cultivo iniciador más utilizados en las fermentaciones de cacao.	33
Figura 6. Métodos se secado utilizados en los artículos estudiados.	37

Lista de apéndices

	Pág.
Apéndice A. Dinámica poblacional (a), Degradación de sustrato y producción de metabolitos de una fermentación espontánea de cacao (b).	65
Apéndice B. Representación gráfica del árbol Tree of Science para las 7 ecuaciones de búsqueda.	66
Apéndice C. Imagen de la prueba de corte	73
Apéndice D. Muestra de granos bien fermentados (A), Muestra de granos insuficientemente fermentados (B), Muestra de granos sin fermentar o pizarrosos (C), Muestra de granos mohosos (D).	73
Apéndice E. Representación gráfica de la rueda del sabor.	74
Apéndice F. Estado del arte.	75
Apéndice G. Artículos utilizados para el análisis de fermentación.	77
Apéndice H .Artículos utilizados para el análisis de secado.	87

Resumen

Título: Revisión del estado del arte sobre el efecto de la fermentación dirigida y el secado en la calidad de los granos de cacao (*Theobroma cacao* L.)*

Autor: Ana María Vargas Narváez y María Camila Moreno Argüello**

Palabras clave: Cacao, Fermentación, Cultivos iniciadores, Secado, Compuestos volátiles, Evaluación, Calidad final.

Descripción: El cacao en Colombia tiene un importante papel en el desarrollo económico y social del país, pues la producción y exportación de este producto ha posicionado al país como un importante productor de cacao a nivel mundial ha y ayudado a mejorar la calidad de vida de las comunidades productoras. En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo realizar un análisis bibliográfico de las publicaciones científicas relacionadas con el efecto que tiene la fermentación dirigida y el secado en la calidad de los granos de cacao (*Theobroma cacao* L.). Para dar cumplimiento a esto, se realizó una búsqueda y selección de artículos científicos dispuestos en bases de datos, considerando una ventana de tiempo para la literatura producida entre 1994 y 2023. Posteriormente, se efectuó un análisis de los artículos seleccionados contemplando como contenido de interés las diferentes variables para tener en cuenta en los procesos de fermentación y secado del cacao, en busca de mejorar la calidad del producto final. De esta manera, este documento evidencia una recopilación de información descriptiva acerca del proceso de fermentación y secado para el análisis de los diferentes métodos estudiados hasta el momento; además del impacto de éstos en la calidad final del grano, evaluada a partir de métodos fisicoquímicos. Finalmente, se concluye que la fermentación y el secado son dos procesos interdependientes en la producción de granos de cacao de alta calidad que permiten la activación de características organolépticas del grano de cacao en cuanto a precursores de sabor, color y aroma a chocolate. Lo anterior se realiza en *pro* de llevar a cabo investigaciones para el desarrollo de nuevas tecnologías y prácticas en el proceso poscosecha, y así diseñar estrategias efectivas, mejorando la eficiencia del proceso y la calidad del producto final, con el fin de tener un impacto positivo en la sostenibilidad y la rentabilidad de cacao a largo plazo.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Luis Javier López Giraldo. Ingeniero Químico, Ph. D en Química, Bioquímica y Ciencia de Alimentos. Codirector: Claudia Johanna Sandoval Lozano. Bióloga, M.Sc en Microbiología.

Abstract

Title: Review of the state of the art on the effect of directed fermentation and drying on the quality of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.)*

Author(s): Ana María Vargas Narváez y María Camila Moreno Argüello**

Key Words: cocoa, fermentation, starter cultures, drying, volatile compounds, evaluation, final quality.

Description: Cocoa in Colombia plays an important role in the economic and social development of the country, since the production and export of this product has positioned the country as an important cocoa producer worldwide and has helped to improve the quality of life of the producing communities. In this sense, the objective of this work is to carry out a bibliographic analysis of the scientific publications related to the effect of directed fermentation and drying on the quality of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.). To accomplish this, a search and selection of scientific articles in databases was carried out, considering a time window for the literature produced between 1994 and 2023. Subsequently, an analysis of the selected articles was carried out, considering as content of interest the different variables to be taken into account in the fermentation and drying processes of cocoa, in order to improve the quality of the final product. Thus, this document shows a compilation of descriptive information about the fermentation and drying process for the analysis of the different methods studied so far, as well as their impact on the final quality of the bean, evaluated from physicochemical methods. Finally, it is concluded that fermentation and drying are two interdependent processes in the production of high quality cocoa beans that allow the activation of organoleptic characteristics of the cocoa bean in terms of flavor precursors, color and chocolate aroma. This is done in order to carry out research for the development of new technologies and practices in the post-harvest process, and thus design effective strategies, improving the efficiency of the process and the quality of the final product, in order to have a positive impact on the sustainability and profitability of cocoa in the long term.

*Degree Work

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Luis Javier López Giraldo. Ingeniero Químico, Ph. D en Química, Bioquímica y Ciencia de Alimentos. Codirector: Claudia Johanna Sandoval Lozano. Bióloga, M.Sc en Microbiología.

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un árbol que pertenece a la familia Malvaceae y es proveniente de la cuenca amazónica, éste produce un fruto conocido como mazorca que contiene semillas, las cuales son la principal materia prima para la elaboración de chocolate (Perea Villamil, 2019). En Colombia, para el año 2022 se registró una producción de 62.158 toneladas de cacao, demostrando una reducción del 10% en comparación con el año 2021, pero resaltando un crecimiento sostenido del sector cacaotero comparado con la producción histórica de los últimos 10 años, lo que demuestra el dinamismo e importancia del sector cacaotero en el país (Fedecacao, 2023).

Con base en lo anterior y acorde con los avances científicos, hoy en día se llevan a cabo estudios para mejorar las características de los granos que han sido sometidos al proceso de beneficio del cacao. La fermentación es una de las etapas más importantes en el proceso de poscosecha del cacao, debido a que muchas de las percepciones organolépticas que impactarán directamente en la calidad del producto final, se desarrollan en esta etapa por acción de los microorganismos (Kongor et al., 2016). Sin embargo, la fermentación es un proceso espontáneo no controlado que genera productos finales de calidad variable o impredecible (Lefeber et al., 2012); por esta razón, durante los últimos años se ha venido estudiando fermentaciones dirigidas, agregando cultivos iniciadores de microorganismos, para mejorar las condiciones de la fermentación y fomentar la obtención de granos con mejor calidad.

Diversos estudios indican que el uso de estos consorcios juega un papel importante en la fermentación, debido a su gran capacidad para producir compuestos aromáticos volátiles que traen consigo un efecto positivo en la calidad sensorial del cacao (Schwan & Wheals, 2004). Además, todas las reacciones metabólicas realizadas por los microorganismos presentes están

condicionadas a los cambios de temperatura y pH, por lo que resulta importante identificar los rangos que se han usado previamente en este tipo de proceso. Al terminar la fermentación, se debe comenzar el secado de los granos de cacao para no correr el riesgo de perderlos, por el crecimiento de hongos y la consecuente generación de aromas desagradables; esta parte del proceso tiene el fin de reducir el contenido de humedad, el sabor amargo y astringente y desarrollar el color pardo de los granos bien fermentados. Finalmente, el tostado del cacao es un paso esencial para desarrollar aún más el sabor del chocolate a partir de los precursores formados durante la fermentación y el secado (Afoakwa et al., 2008).

En este sentido, el desarrollo de este trabajo se focaliza en el interrogante de ¿cuáles son los géneros de microorganismos, las condiciones de fermentación y secado que conducen a granos de cacao con características sensoriales de un cacao fino y de aroma?. Para responder a esta pregunta se realizó una revisión de las publicaciones científicas relacionadas con el efecto que tiene la fermentación dirigida y el secado en la calidad de los granos de cacao; además de identificar el impacto que tienen los principales géneros de microorganismos como cultivos iniciadores (si éstos se usan solos o en consorcios), sobre el perfil sensorial y de compuestos volátiles de granos de cacao secados de manera natural o artificial.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Realizar un análisis bibliográfico de las publicaciones científicas relacionadas con el efecto que tiene la fermentación dirigida y el secado en la calidad de los granos de cacao (*Theobroma cacao* L.)

1.2 Objetivos específicos

Identificar el impacto que tiene la selección de cultivos iniciadores y las condiciones de fermentación sobre el perfil sensorial y/o de compuestos volátiles.

Determinar el efecto que tienen diferentes tipos de secado utilizados en el proceso de beneficio de cacao sobre la calidad del licor y granos de cacao.

Reconocer los sistemas de calificación usados para la evaluación del producto final (licor de cacao o chocolate) desde el punto de vista fisicoquímico, sensorial y de compuestos volátiles.

2 Marco conceptual

Para la comprensión de este estudio, es necesario hacer énfasis en algunos conceptos relacionados con el proceso del beneficio de cacao, en especial, las etapas de fermentación y secado del cacao.

Theobroma cacao L. es un árbol perenne nativo de la región tropical de América del Sur y se cultiva en la zona ecuatorial. Existen tres variedades de cacao, Forastero, Criollo y Trinitario (Híbrido) y sus frutos conocidos como mazorcas o cacotas con una longitud entre 12 y 30 cm, además están compuestos por 30 a 40 semillas o también llamados, granos de cacao. Cada grano de cacao consta de dos cotiledones y un embrión rodeados por una cubierta llamada testa, éstos

están envueltos por una pulpa dulce y blanca llamada mucílago, que comprende aproximadamente el 40% del peso fresco de la semilla y se compone de 82% a 87% de agua, 10% a 15% de azúcar (principalmente glucosa, fructosa y sacarosa), 2% a 3% de pentosanos, 1% a 3% de ácido cítrico y de 1% a 1,5% de pectina; también contiene proteínas, aminoácidos, vitaminas (principalmente vitamina C) y minerales (Figuroa-Hernández et al., 2019; Schwan & Wheals, 2004).

La composición química de los granos y la pulpa del cacao puede considerarse un medio apropiado para el crecimiento de microorganismos. Desde el punto de vista nutricional, los granos de cacao están compuestos principalmente por agua (32–39%), grasa total (30–32%, de la cual el 65% es grasa saturada), proteínas (8–10%), celulosa (2–3%), almidón (4–6%), pentosas (4–6%), sacarosa (2–3%), polifenoles (5–6%), ácidos orgánicos, principalmente cítrico, oxálico y málico (1%), teobromina (1–3%) y cafeína (0,2–0,1%) (Figuroa-Hernández et al., 2019). Por otra parte, la pulpa de cacao se compone de 82 a 87% agua, 10 a 15% de azúcar (siendo la sacarosa alrededor de 60% y un 39% de glucosa y fructosa, respectivamente), 2 a 3% de pentosanos, 1 a 3% de ácido cítrico y 1 a 1,5% de pectina (Schwan & Wheals, 2004).

2.1 Proceso de fermentación

Típicamente, el proceso de fermentación es espontáneo y heterogéneo. Los granos de cacao dentro de la mazorca son microbiológicamente estériles, cuando ésta se abre, en general con machetes, la pulpa se inocula con una variedad de microorganismos que provienen generalmente de las manos de los trabajadores, recipientes, machetes y contribuyen posteriormente a la fermentación (Schwan & Wheals, 2004). Los granos se trasladan al área de fermentación y generalmente, se disponen en montones (25 a 2000 kg) o cajas (hasta 2000 kg) y son cubiertos por hojas de plátano o costales de fique para conservar el calor durante la fermentación. Las cajas deben tener cierta profundidad, alrededor de 50 cm, para garantizar una buena aireación, y por lo

general tienen perforaciones en la parte inferior para permitir que la pulpa o mucílago se drene y entre el aire. Además de esto, para garantizar una fermentación y aireación uniforme, los granos se giran manualmente por lo menos una vez al día. Estas fermentaciones tienen una duración aproximadamente de 6 a 7 días (Schwan & Wheals, 2004).

En la fermentación de cacao intervienen tres grupos microbianos principales, los cuales son levaduras, bacterias ácido-lácticas (BAL) y bacterias ácido-acéticas (BAA), cada una de las cuales contribuye de manera diferente al proceso. Inicialmente, las levaduras realizan fermentación alcohólica, ya que consumen los carbohidratos de la pulpa (sacarosa, fructosa y glucosa) para producir etanol y dióxido de carbono, también producen gran variedad de compuestos aromáticos volátiles que contribuyen con el aroma del licor de cacao; además tienen actividad pectinolítica, ya que algunas cepas producen enzimas pectinolíticas que degradan la pectina de la pulpa de cacao produciendo un exudado o jugo que se drena como sudoración, esto permite la penetración de oxígeno en la masa de cacao; y por lo tanto, el crecimiento de bacterias. Simultáneamente con las levaduras, las BAL consumen carbohidratos de la pulpa (principalmente fructosa y glucosa), produciendo ácido láctico, etanol, dióxido de carbono y otros metabolitos como manitol, glicerol y compuestos diacetilo; también consumen el ácido cítrico (principal ácido orgánico presente en la pulpa de cacao) lo que hace que el pH de la pulpa aumente ligeramente. El etanol producido inicialmente por las levaduras es utilizado por las BAA que son responsables de oxidarlo a ácido acético, luego éste se sobreoxida generando dióxido de carbono y agua; estas reacciones de oxidación son exotérmicas; por lo tanto, elevan la temperatura de la masa de fermentación. El pH bajo del cotiledón, la alta temperatura en la masa de fermentación y la difusión e hidrólisis de proteínas en los cotiledones se ha atribuido al metabolismo de estos microorganismos, lo que conduce a la muerte del embrión de la semilla. Estas características desencadenan una serie de

conversiones bioquímicas en los granos que tienen gran impacto en el desarrollo del sabor y color del cacao (De Vuyst & Weckx, 2016; Schwan & Wheals, 2004)

El aumento de la aireación, valor de pH de la pulpa y temperatura en las últimas etapas de fermentación están asociadas con el desarrollo de bacterias aeróbicas formadoras de esporas del género *Bacillus* y hongos filamentosos, ya que la mayoría de estos microorganismos son termo tolerantes. Estos producen una variedad de compuestos químicos que pueden contribuir con la acidez y malos sabores de granos fermentados (Schwan & Wheals, 2004).

En el apéndice A se ilustra el comportamiento de los diferentes microorganismos y metabolitos presentes durante el proceso de fermentación de cacao.

2.2 Proceso de secado

Después de la fermentación, el secado tiene un papel muy importante en la determinación de la calidad final de los granos de cacao secos. Generalmente, los productores de cacao utilizan el sol o aire caliente para secar los granos de cacao hasta el contenido de humedad deseado. El proceso de secado asegura varios cambios químicos y bioquímicos que son necesarios para formar los precursores de sabor y aroma (Santhanam et al., 2017). En el secado se llevan a cabo diferentes reacciones de oxidación de polifenoles que son catalizadas por polifenol oxidasas, lo que da lugar a nuevos componentes de sabor y pérdida de integridad de la membrana, induciendo la formación de color marrón (Afoakwa et al., 2008).

Para almacenamiento y transporte, los granos de cacao secos deben tener un contenido de humedad <8% para evitar el crecimiento de hongos. Los indicadores de granos bien secos y de calidad tienen un color marrón, baja astringencia, amargor y sabores desagradables (Afoakwa et al., 2008).

2.3 Tostado

En este proceso se determina el carácter de los procesos físicos y químicos que ocurren dentro de los granos, otorgando la calidad del producto final (Kongor et al., 2016). Durante el tostado se evaporan los ácidos volátiles de los granos, como el ácido acético, provocando una reducción de la acidez y amargor de los granos de cacao; sin embargo, los ácidos no volátiles, como el ácido oxálico, cítrico, láctico, succínico, permanecen sin cambios (Afoakwa et al., 2008). Los precursores del sabor producidos durante la fermentación y el secado se someten a la reacción de Maillard y la degradación de Strecker durante el tostado para producir compuestos de sabor deseables, como pirazinas, alcoholes, ésteres, aldehídos, cetonas, éteres, ácidos, etc. Diversos estudios revelan que la temperatura y duración del tostado afectan los cambios químicos y físicos que ocurren en los granos de cacao, éstas dos variables dependen de varios factores, como el material de cacao (tostado en grano o nibs), producto final (chocolate oscuro o con leche) y la variedad de cacao. Estas condiciones de tostado varían entre 15 a 45 minutos con temperaturas de 130°C a 150°C (Kongor et al., 2016).

3 Metodología

La metodología empleada para el desarrollo de esta investigación se realizó en 3 etapas: i) búsqueda y selección de artículos científicos en la base de datos; ii) revisión y clasificación de la información y iii) análisis de la información.

3.1 Búsqueda y selección de artículos científicos en la base de datos

La búsqueda y recopilación de la información se realizó empleando la base de datos Web of Science (WoS), cuyo acceso es proporcionado por la Universidad Industrial de Santander. Se emplearon siete ecuaciones de búsqueda generadas con los siguientes algoritmos: (1) “cocoa” AND “fermentation” AND “starter culture”; (2) “cocoa” AND “fermentation” AND

“spontaneous”; (3) “cocoa” AND “fermentation” AND “inoculum”; (4) “cocoa” AND “sun drying” OR “artificial drying”; (5) “cocoa” AND “drying” AND “quality”; (6) “cocoa” AND “volatile compounds”; (7) “cocoa” AND “evaluation”, vinculando el título y tema del artículo. La búsqueda se realizó el 01 de diciembre de 2022 en idioma inglés, según lo requerido por la base de datos, y se enfocó principalmente en artículos científicos publicados desde el año 1994 hasta la actualidad, dando cumplimiento a los objetivos establecidos.

3.2 Revisión y clasificación de la información

La información compilada se clasificó y organizó de acuerdo con los objetivos del presente estudio y al criterio de los autores involucrados en el mismo. Para la revisión de los artículos, se tuvieron en cuenta 4 filtros para obtener la información de interés para este trabajo.

3.2.1 Filtro Tree of Science

Los documentos encontrados a través de las diferentes ecuaciones de búsqueda en la base de datos Web of Science fueron descargados junto con las referencias citadas en archivos de texto sin formato, es decir, por cada ecuación de búsqueda se descargó un archivo y éste se introdujo a una herramienta que usa la estructura de red de citas para identificar literatura relevante llamada Tree of Science (Robledo Giraldo et al., 2014; Valencia-Hernandez et al., 2020; Zuluaga et al., 2016; Zuluaga et al., 2022). Esta plataforma se caracteriza por visualizar y ordenar la información en forma de árbol, en donde los documentos ubicados en las raíces son los artículos clásicos, en el tronco se ubican las publicaciones estructurales y en las hojas los artículos publicados recientemente.

3.2.2 Filtro por título

Haciendo uso del árbol (Tree of Science) obtenido por cada ecuación de búsqueda (Apéndice B), se seleccionaron los artículos que tuvieron en sus títulos las palabras relacionadas

con el proceso del beneficio del cacao tales como fermentación inoculada, cultivos iniciadores, tipos de secado (natural o artificial), compuestos volátiles y evaluación fisicoquímica y sensorial.

3.2.3 Filtro por resumen

Se realizó la lectura del resumen de cada artículo para seleccionar aquellos con información asociada a fermentaciones inoculadas, procesos de secado ya sea al sol o artificialmente y sistemas de calificación usados para la evaluación del producto final (licor de cacao o chocolate) desde el punto de vista fisicoquímico, sensorial y de compuestos volátiles.

3.2.4 Filtro por contenido

A los artículos seleccionados por resumen se les realizó una revisión por contenido, teniendo en cuenta información relevante relacionada a los objetivos específicos del presente estudio y que en la estructura del artículo se presentara un proceso experimental el cual tuviera metodología y resultados concisos.

3.3 Análisis de la información

Se realizó un análisis de la información encontrada a partir de las etapas mencionadas anteriormente, agrupando características relevantes como variedad de cacao, método de fermentación, tiempo de fermentación, uso o no uso de rampa de temperatura durante el proceso de fermentación, especies de microorganismos utilizados como cultivo iniciador, efecto en la fermentación, métodos de secado, temperatura y duración del secado y efecto de estas variables en la calidad del licor de cacao, y así encontrar las posibilidades de mejorar el proceso de beneficio de cacao. También, se identificaron los parámetros que se tienen en cuenta para calificar el licor de cacao desde el punto de vista fisicoquímico, sensorial y de compuestos volátiles.

Finalmente, para obtener información de los artículos como autores, año de publicación, resumen, DOI y revista o institución de publicación, se utilizó el gestor bibliográfico Refworks. Además de esto, la bibliografía correspondiente se citó usando esa herramienta.

4 Resultados

4.1 Fermentación

Para la identificación del impacto que tiene la selección de un cultivo iniciador y las condiciones de fermentación sobre el perfil sensorial y/o compuestos volátiles, se utilizaron las 3 primeras ecuaciones de búsqueda que se presentaron en el ítem 3.1. La búsqueda reflejó un total de 153 artículos (Apéndice B), de los cuales se seleccionaron 20 artículos, con base en los criterios mencionados en la metodología.

Con los documentos seleccionados se organizó una base de datos que incluyó la siguiente información: variedad de cacao, método de fermentación, selección del cultivo iniciador, especies de microorganismos identificados en la fermentación, rampa de temperatura, toma de muestras, efecto sobre la fermentación y calidad del chocolate.

4.1.1 *Variedad de cacao*

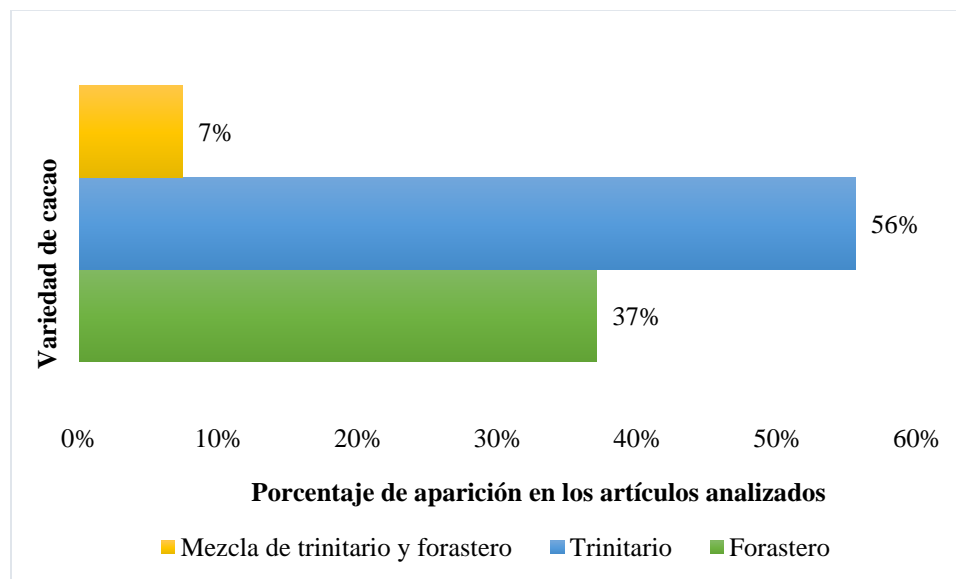
La literatura científica muestra que hay tres poblaciones botánicas principales: Criollo, Forastero y Trinitario. La variedad de cacao Criollo es la población original, autóctona del norte, sur y centro América, los granos son de color blanco a marfil o tienen un color púrpura muy pálido, debido a un gen inhibidor de la antocianina. Éstos se caracterizan por tener bajos rendimientos y presentar susceptibilidad a muchas enfermedades. Las semillas de la variedad Forastero son planas, astringentes y de color púrpura, debido a la presencia de antocianinas. Los árboles de esta población probablemente son nativos de la cuenca del Amazonas y se caracterizan por ser muy productivos y moderadamente resistentes a plagas y enfermedades (Lima et al., 2011). La variedad

de cacao Trinitario se originó en Trinidad y abarca todos los productos de hibridación y recombinación natural de las poblaciones Criollo y Forastero, los granos son de color variable y las plantaciones presentan una susceptibilidad a plagas y enfermedades intermedia. Tanto la variedad Trinitario como Criollo producen granos de cacao “fino” o “de aroma” y se utilizan para hacer chocolate negro de alta calidad (Lima et al., 2011).

En la figura 1 se pueden observar las diferentes variedades de cacao utilizadas en los procesos de fermentación y secado del presente estudio.

Figura 1

Variedad de cacao utilizado en los procesos de fermentación y secado analizados durante el desarrollo de este trabajo de revisión bibliográfica.



Con respecto a la variedad de cacao empleado en los procesos de fermentación dirigida y secado analizados, se encontró que el cacao Trinitario es el más usado con un 56% (Alvarez-Villagomez et al., 2022; Batista et al., 2015; Batista et al., 2016; Díaz-Muñoz et al., 2021; Díaz-Muñoz et al., 2023; Guehi et al., 2010; Hii et al., 2006; Jinap et al., 1994; Lefeber et al., 2012; Mota-Gutierrez et al., 2018; Ooi et al., 2021; Ramos et al., 2014; Santhanam et al., 2017; Santos

et al., 2020; Visintin et al., 2017); seguido del forastero con un 37% (Celso et al., 2021; Crafacck et al., 2013; Deus et al., 2018; Efraim et al., 2010; Huerta-Conde et al., 2021; Mayumi et al., 2022; Rodriguez-Campos et al., 2012; Sandhya et al., 2016; Saunshi et al., 2020; Viesser et al., 2021) y por último, la mezcla de Trinitario y Forastero con un 7% (Kotey et al., 2022; Romanens et al., 2020). Los estudios muestran que el cacao tipo Trinitario es el más utilizado en los diferentes procesos, esto puede ser debido a su cualidad de producir granos de fino y de aroma y, por ende, obtener chocolate de alta calidad, además de tener una resistencia intermedia a plagas y enfermedades; por otro lado, se observó que el cacao tipo Trinitario es el más cultivado en las regiones donde se desarrollaron los experimentos de los artículos estudiados, resaltando países de África, Asia y América como Costa de Marfil, Ghana, Camerún, Malasia, Brasil, Honduras, Costa Rica y México (Díaz-Valderrama et al., 2020). Cabe resaltar que el cacao tipo Criollo no fue utilizado en los procesos de fermentación y secado analizados, lo que puede deberse a su susceptibilidad a enfermedades y bajo rendimiento.

El procesamiento postcosecha comienza cortando los frutos del árbol y almacenándolos por un periodo de tiempo. En este trabajo de investigación se encontró que, en algunas de las publicaciones, las mazorcas se almacenan durante 3 a 4 días (Crafack et al., 2013; Mota-Gutierrez et al., 2018; Romanens et al., 2020); esto se hace con el fin de acelerar la fermentación, presumiblemente porque la sacarosa de la pulpa se invierte en monosacáridos de fermentación rápida (glucosa y fructosa) (Crafack et al., 2013); sin embargo, hay otros autores que no realizan este proceso de almacenamiento y la apertura de las mazorcas se realiza después de cosechado el fruto (Batista et al., 2015; Batista et al., 2016; Lefeber et al., 2012). Cabe resaltar que las mazorcas de cacao que no se encuentren en buen estado, ya sea contaminadas por moho o rotas, se separan y no se utilizan para el proceso de fermentación. La apertura de las mazorcas generalmente se

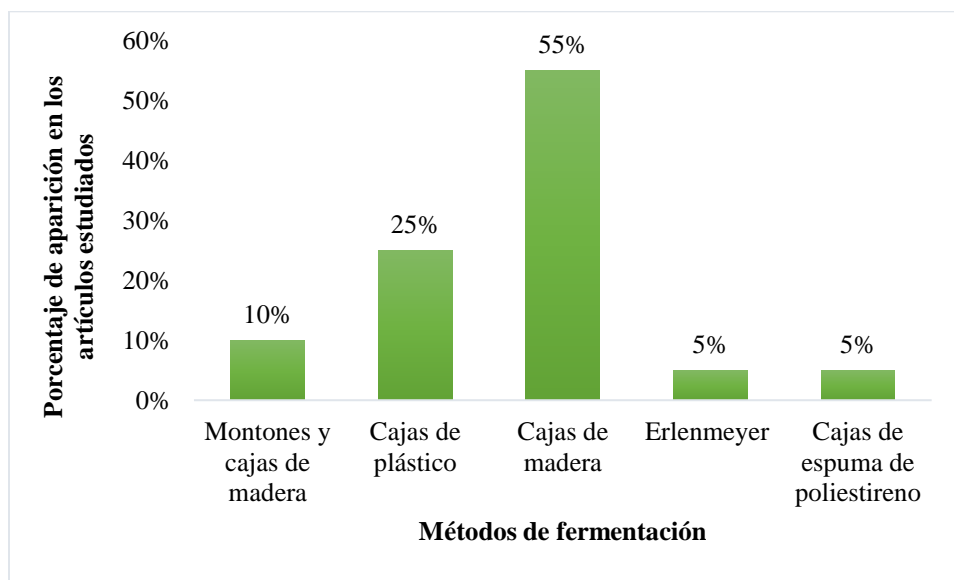
realiza de forma manual, utilizando machetes, asépticos o no; aunque también existen procesos mecánicos para la apertura del fruto, pero en este estudio no se encontraron artículos que utilicen dicho proceso. Después de la apertura, los granos húmedos se retiran de la mazorca y por lo general, éstos se ponen en contacto con la cáscara del fruto para inocular microorganismos autóctonos durante un período de 3 a 4 horas (Batista et al., 2015; Batista et al., 2016; Mota-Gutierrez et al., 2018; Ramos et al., 2014; Visintin et al., 2017); sin embargo, en este estudio se encontraron investigaciones donde omitían este proceso y la fermentación empieza justo después de la apertura (Crafack et al., 2013; Lefeber et al., 2012).

4.1.2 Método de fermentación

En la figura 2 se puede evidenciar los métodos de fermentación utilizados en las fermentaciones de cacao analizadas en el presente estudio, los cuales son las cajas de madera o plástico, montones, caja de espuma de poliestireno y erlenmeyer.

Figura 2

Métodos de fermentación utilizados en las fermentaciones analizadas.



En el presente estudio de investigación, se determinó que el método más utilizado para el proceso de fermentación fue el de las cajas de madera (Alvarez-Villagomez et al., 2022; Batista et al., 2015; Batista et al., 2016; Celso et al., 2021; Mayumi et al., 2022; Ramos et al., 2014; Romanens et al., 2020; Sandhya et al., 2016; Santos et al., 2020; Saunshi et al., 2020; Visintin et al., 2017), seguido por las cajas de plástico (Crafack et al., 2013; Díaz-Muñoz et al., 2021; Díaz-Muñoz et al., 2023; Ooi et al., 2021; Viesser et al., 2021); debido a la elevada cantidad de masa de fermentación. Por otro lado, una fermentación fue realizada en un erlenmeyer de 1 L (Pereira et al., 2017) y otra en una caja de espuma de poliestireno (Huerta-Conde et al., 2021), debido al bajo volumen de masa a fermentar, ya que fueron experimentos a escala laboratorio. Cabe resaltar que hubo dos procesos de fermentación en los cuales utilizaron dos métodos de fermentación, siendo éstos las cajas de madera y montones (Lefeber et al., 2012; Mota-Gutierrez et al., 2018); los cuales tienen la característica de ser procesos de fermentación realizados en fincas con grandes cantidades de granos de cacao (entre 100 a 500 kg).

El tiempo de fermentación se ve influenciado por el tipo de fermentación, ya sea una fermentación inoculada o espontánea. Por lo general, las fermentaciones espontáneas tienen una duración mayor, debido a que no se adicionan microorganismos como cultivo iniciador que acelere el consumo de sustratos presentes en la pulpa (De Vuyst & Weckx, 2016).

En la Tabla 1 se muestra el tiempo de fermentación, la variedad de cacao y el tipo de inóculo utilizado para los diferentes artículos estudiados en la presente investigación.

Tabla 1

Variación de tiempo de fermentación dirigida con respecto a la variedad de cacao y tipo de inóculo.

Variedad de cacao	Tipo de inóculo	Tiempo de fermentación (horas)	Referencias
Trinitario	<i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>Acetobacter pasteurianus</i>	96	(Lefeber et al., 2012)
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>Acetobacter pasteurianus</i>		
Forastero	<i>Pichia kluyveri</i> , <i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>Acetobacter pasteurianus</i>	120	(Crafack et al., 2013)
	<i>Kluyveromyces marxianus</i> , <i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>Acetobacter pasteurianus</i>		
Trinitario	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	156	(Ramos et al., 2014)
Trinitario	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Hanseniaspora uvarum</i> y <i>Pichia kluyveri</i>	168	(Batista et al., 2015)
Trinitario	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Hanseniaspora uvarum</i> y <i>Pichia kluyveri</i>	168	(Batista et al., 2016)
Forastero	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> y <i>Acetobacter aceti</i>	168	(Sandhya et al., 2016)
N/A	<i>Pichia kudriavzevii</i>	144	(Pereira et al., 2017)
Trinitario	<i>Torulaspora delbrueckii</i>	168	(Visintin et al., 2017)
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Torulaspora delbrueckii</i>	192	
Trinitario	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	120	(Mota-Gutierrez et al., 2018)
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Torulaspora delbrueckii</i>		
Forastero	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> y <i>Acetobacter aceti</i>	72	(Saunshi et al., 2020)
Trinitario y forastero	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Lactobacillus fermentum</i>	96 a 192	(Romanens et al., 2020)
Trinitario	<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	144	(Santos et al., 2020)
	<i>Torulaspora delbrueckii</i>		
	<i>Candida parapsilosis</i>		
	<i>Pichia galeiformis</i> <i>Pichia kluyveri</i>		

	<i>Issatchenkia orientalis</i>		
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>		
	<i>Pichia membranifaciens</i>		
Trinitario	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Limosilactobacillus fermentum</i> y <i>Acetobacter pasteurianus</i>	92	(Díaz-Muñoz et al., 2021)
	<i>Pichia kudriavzevii</i> , <i>Limosilactobacillus fermentum</i> y <i>Acetobacter pasteurianus</i>		
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Pichia kudriavzevii</i> , <i>Limosilactobacillus fermentum</i> y <i>Acetobacter pasteurianus</i>		
Forastero	<i>Lactobacillus plantarum</i>	168	(Viesser et al., 2021)
	<i>Lactobacillus plantarum</i> y <i>Pediococcus Acidilactici</i>		
	<i>Lactobacillus plantarum</i> y <i>Pichia fermentans</i>		
Forastero	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	144 a 168	(Celso et al., 2021)
	<i>Pichia kudriavzevii</i>		
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> y <i>Pichia kudriavzevii</i>		
Forastero	<i>Yarrowia lipolytica</i> , <i>Lactococcus lactis</i> y <i>Acetobacter aceti</i>	120	(Huerta-Conde et al., 2021)
Trinitario	<i>Hanseniaspora thailandica</i>	96	(Ooi et al., 2021)
	<i>Pichia kudriavzevii</i>		
	<i>Hanseniaspora thailandica</i> , <i>Pichia kudriavzevii</i>		
Trinitario	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>Acetobacter pasteurianus</i> , <i>Acetobacter tropicalis</i>	144	(Alvarez-Villagomez et al., 2022)
Forastero	<i>Cladosporium cladosporioides</i>	144	(Mayumi et al., 2022)
Trinitario	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Limosilactobacillus fermentum</i> y <i>Acetobacter pasteurianus</i>	96	(Díaz-Muñoz et al., 2023)
	<i>Hanseniaspora opuntiae</i> , <i>Limosilactobacillus fermentum</i> y <i>Acetobacter pasteurianus</i>		

Saccharomyces cerevisiae,
Hanseniaspora opuntiae,
Limosilactobacillus fermentum y
Acetobacter pasteurianus

Como se puede evidenciar, el tiempo de fermentación es distinto para la mayoría de las fermentaciones inoculadas, esto puede deberse a la variedad de cacao utilizado o al tipo de microorganismo utilizado como cultivo iniciador. El tiempo de fermentación puede demorar entre dos a tres días en el caso de las poblaciones criollas y de cinco a diez días en el caso de las poblaciones forastero y trinitario (Lima et al., 2011). Por otro lado, algunos microorganismos especialmente levaduras, tienen actividad pectinolítica que ayuda a la degradación de la pulpa y por consiguiente, a la aireación de la masa fermentable, ocasionando un proceso de fermentación más corto (Schwan & Wheals, 2004).

4.1.3 Rampa de temperatura

La fermentación de cacao es un proceso espontáneo y no controlado que resulta en productos de calidad variable (Lefebvre et al., 2012), por lo tanto, en los últimos años se han desarrollado procesos de fermentación controlados a escala laboratorio, generalmente de fermentaciones espontáneas, que conduzcan a granos de cacao con calidad uniforme. Una forma de llevar a cabo estos procesos es controlando la temperatura durante el desarrollo de la fermentación, esto se hace poniendo las cajas de fermentación en una incubadora para simular la temperatura hasta la finalización del proceso.

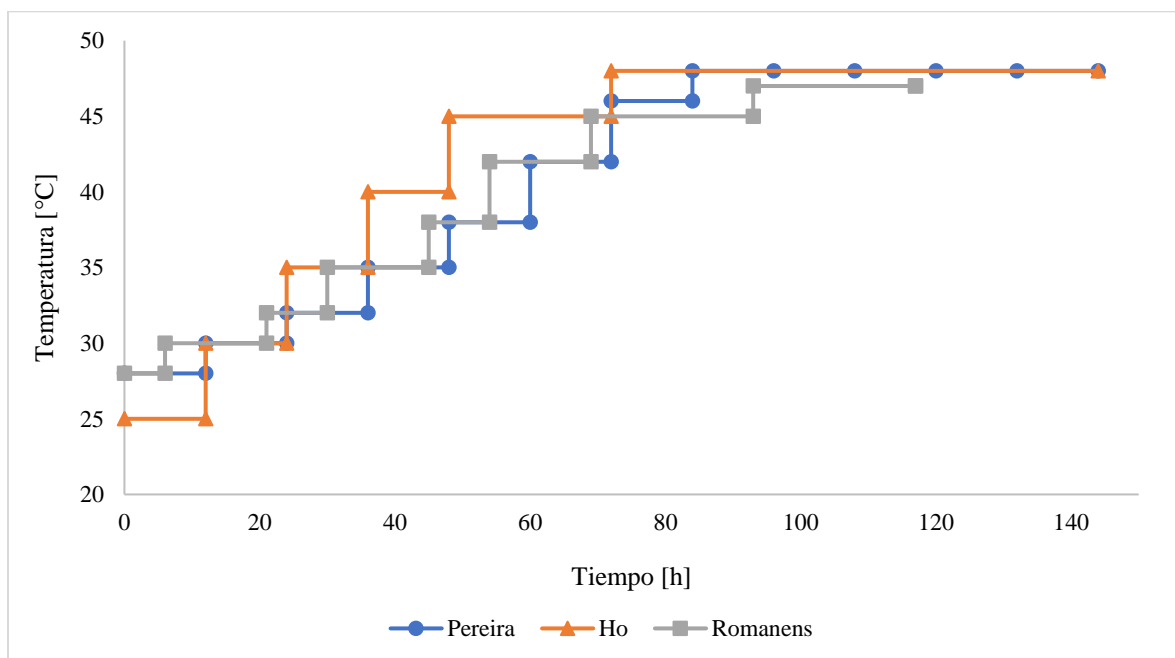
Por ejemplo, Pereira et al. (2012) llevaron a cabo fermentaciones espontáneas a escala laboratorio con 10 kg de granos de cacao en un tanque de acero inoxidable simulando las siguientes condiciones de temperatura: 28 °C a las 0 h, 30 °C a las 12 h, 32 °C a las 24 h, 35 °C a las 36 h, 38 °C a las 48 h, 42 °C a las 60 h, 46 °C a las 72 h y 48 °C a las 84 h, 96 h, 108 h, 120 h, 132 h y 144 h. Por otro lado, (Ho et al., 2014) realizaron fermentaciones espontáneas a escala laboratorio

con 5 kg de granos de cacao en cajas de plástico con la siguiente rampa de temperatura: 25 °C a las 0 h hasta las 12 h, 30 °C desde las 12 h hasta las 24 h, 35 °C desde las 24 h hasta las 36 h, 40 °C desde las 36 h hasta las 48 h, 45 °C desde las 48 h hasta las 72 h y 48 °C desde las 72 h hasta las 144 h. Los resultados obtenidos de estas dos investigaciones mostraron que este control de temperatura favorecía el crecimiento de las levaduras, BAL y BAA al medio y no interfirió negativamente en el desarrollo de la fermentación.

Así mismo, Romanens et al. (2018) ejecutaron fermentaciones espontáneas a escala laboratorio con 1 kg de granos de cacao en cajas de plástico con la siguiente rampa de temperatura: 28 °C a las 0 h, 30 °C a las 6 h, 32 °C a las 21 h, 35 °C a las 30 h, 38 °C a las 45 h, 42 °C a las 54 h, 45 °C a las 69 h y 47 °C a las 93 h hasta 117 h. Los resultados mostraron poco crecimiento de BAL y BAA durante el transcurso de la fermentación, lo que da como resultado bajos niveles de ácido láctico y acético.

Figura 3

Rampa de temperatura utilizadas en las tres experimentaciones.



Como se puede observar en la figura 3, la rampa de temperatura de Romanens et al. (2020) tiene lapsos cortos de temperatura constante antes de un aumento de temperatura, a medida que avanza la fermentación, lo que nos lleva a inferir que no hay un ambiente óptimo para que los microorganismos realicen sus funciones adecuadamente. Además de esto, el bajo crecimiento de BAL pudo deberse a la mayor relación de superficie-masa por la poca cantidad de masa de fermentación y la disminución más rápida del contenido de pulpa, pues el fruto fue almacenado entre 1 a 3 días antes de empezar el proceso de fermentación, lo que reduce el volumen de la pulpa y por ende, el contenido total de azúcar (Kongor et al., 2016). Dicho almacenamiento del fruto aumenta la aireación dentro de la pulpa, esto conlleva a una fase semianaeróbica reducida (presencia de BAL) y un agotamiento más rápido de sustratos; además, el bajo crecimiento de BAA pudo deberse a una baja concentración de etanol y lactato en la pulpa. Por otro lado, en las otras dos experimentaciones, el lapso de temperatura constante fue más prolongado lo que podría permitir una adecuada actividad microbiana a lo largo de la fermentación y mejores resultados relacionados con la calidad del producto final. Ho et al. (2014) llegó a la conclusión de que la temperatura adoptada durante este proceso favorece las condiciones de la masa fermentable para la acción microbiana que, no solo ayudan a la degradación de la pulpa, sino que también influyen en las concentraciones de compuestos volátiles que repercuten en un sabor agradable del producto final. Sin embargo, Pereira et al. (2012) no realizó un análisis de calidad del producto final, lo que no nos permite realizar una comparación y así escoger cuál es la rampa de temperatura más adecuada.

4.1.4 Selección de cultivo iniciador

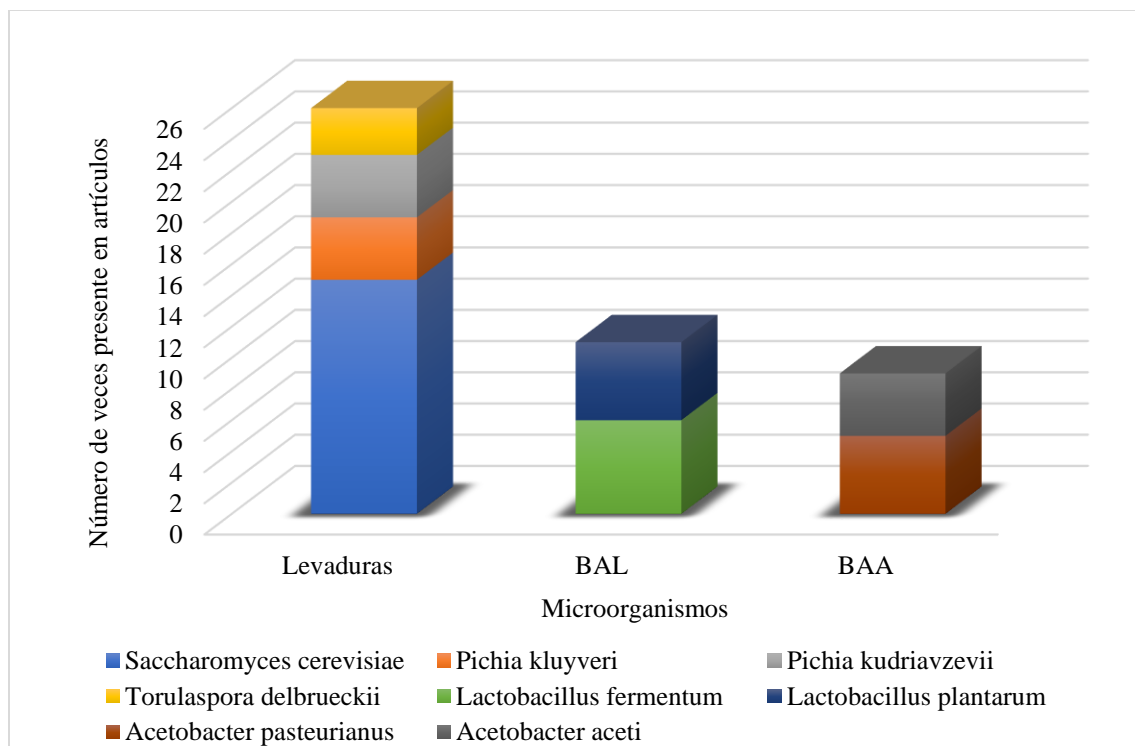
En el proceso de fermentación, interactúan una variedad de especies de levaduras, bacterias ácido-lácticas (BAL) y bacterias ácido-acéticas (BAA) que dan origen a los llamados

“precursores” de sabor y aroma del grano de cacao y que se desarrollan por completo durante el secado y tostado. Es por esto, que una fermentación de baja calidad no permitirá la formación de estos precursores ocasionando que no se generen las notas especiales que dan valor agregado al cacao. Al controlar el proceso de fermentación mediante el uso de microorganismos definidos, se pueden obtener granos de cacao fermentados consistentes y de alta calidad (De Vuyst & Weckx, 2016; Lefeber et al., 2012).

En la figura 4 se presentan las especies de microorganismos más utilizadas como inóculo en los artículos evaluados en la presente investigación.

Figura 4

Especies de microorganismos utilizados como cultivo iniciador en las fermentaciones de cacao.



Las especies de levaduras más utilizadas en los artículos de investigación fueron *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia kluyveri*, *Pichia kudriavzevii* y *Torulaspora delbrueckii*, se caracterizan por ser altamente fermentativas, tolerantes al etanol y estrés por calor, influir

positivamente en el aroma y sabor del chocolate, proporcionar calidad consistente después del proceso de fermentación y producir compuestos aromáticos (Díaz-Muñoz et al., 2023; Pereira et al., 2017; Santos et al., 2020). Además de esto, *S. cerevisiae* presenta actividad pectinolítica y capacidad de inhibir patógenos, especialmente hongos filamentosos (Romanens et al., 2020); y la levadura *T. delbrueckii* se caracteriza por tener actividad pectinolítica y enzimática que puede tener un impacto en el perfil de aroma del chocolate (Visintin et al., 2017).

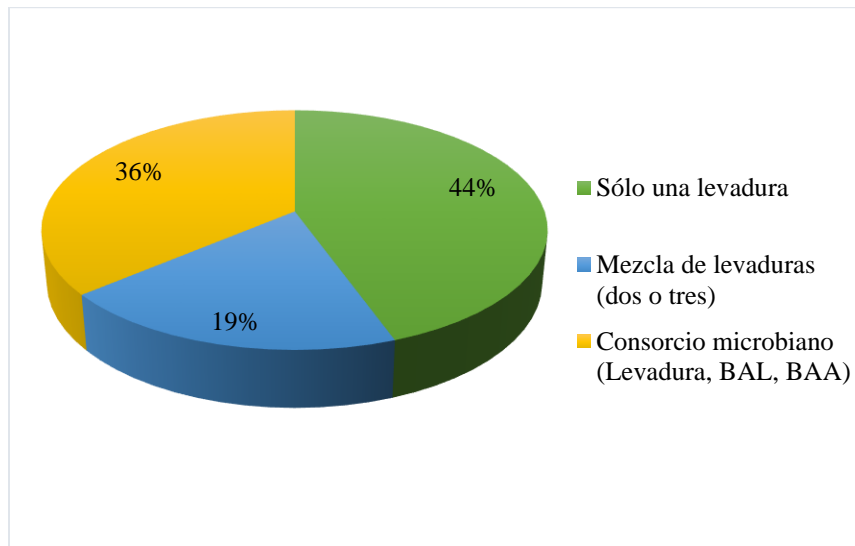
Las especies de BAL más utilizadas fueron *Lactobacillus fermentum* y *Lactobacillus plantarum*. *L. fermentum* se caracteriza por tener actividad antifúngica, presentar tolerancia al estrés por calor y metabolitos, mayor metabolismo del carbono adaptado a la fermentación e influir positivamente en el sabor y calidad de los granos fermentados (Romanens et al., 2020). Por otro lado, *L. plantarum* tiene una alta capacidad de consumo de fructosa, inhibir patógenos, tolerar altas temperaturas y concentraciones de etanol (Viesser et al., 2021), además son asimiladoras de ácido cítrico que desencadena un ligero aumento en el pH de la pulpa lo que favorece el crecimiento de las BAA (Sandhya et al., 2016).

Las especies de BAA más utilizadas fueron *Acetobacter pasteurianus* y *Acetobacter aceti*. Estas especies se caracterizan por influir positivamente en la calidad y sabor de los granos fermentados (Díaz-Muñoz et al., 2021), además, *A. aceti* tiene alta tolerancia al etanol y capacidad de inhibir patógenos (Saunshi et al., 2020).

Cabe resaltar que estos microorganismos pueden ser utilizados como cultivos iniciadores, ya sea de tipo monocultivo, mezcla de levaduras o en consorcio microbiano (levadura, BAL, BAA). En la figura 5 se muestra los tipos de cultivo iniciador más utilizados en los artículos estudiados.

Figura 5

Tipo de cultivo iniciador más utilizados en las fermentaciones de cacao.



Se puede evidenciar que el principal tipo de cultivo iniciador empleado en las fermentaciones de los diferentes artículos es el monocultivo de levadura, seguido del consorcio microbiano (levadura, BAL y BAA) y por último la mezcla de levaduras. Con base en esto, se puede deducir que el principal tipo de microorganismo utilizado como cultivo iniciador en las fermentaciones de cacao son las levaduras.

4.1.5 Efecto sobre la fermentación

En la mayoría de los procesos de fermentación que usan un cultivo iniciador se obtienen una serie de ventajas tanto en la fermentación como en el producto final, como por ejemplo, un rápido progreso en la fermentación, un producto final reproducible que garantiza la calidad uniforme de los granos de cacao, una mayor producción de compuestos volátiles durante la fermentación que generan diferentes notas de sabor en los chocolates producidos (De Vuyst & Weckx, 2016).

Con base en lo dicho en el ítem 4.1.4, el tipo de inóculo más utilizado en las diferentes fermentaciones analizadas en esta revisión está conformado por una sola levadura, en la mayoría de casos, por las especies *S. cerevisiae*, *P. kluyveri*, *P. kudriavzevii* y *T. delbrueckii* (Celso et al., 2021; Mayumi et al., 2022; Mota-Gutierrez et al., 2018; Ooi et al., 2021; Ramos et al., 2014; Santos et al., 2020; Visintin et al., 2017); y el menos utilizado está conformado por una mezcla de éstas (Batista et al., 2015; Batista et al., 2016; Celso et al., 2021; Mota-Gutierrez et al., 2018; Ooi et al., 2021; Pereira et al., 2017; Visintin et al., 2017). Debido a esto, los efectos más relevantes durante y después de la fermentación son el consumo más rápido de carbohidratos, lo que provoca una fermentación más rápida como consecuencia de un metabolismo altamente fermentativo, granos con menor acidez, producción consistente de etanol y ácido acético, tolerancia a altas temperaturas y mayor número de compuestos orgánicos volátiles, dando como resultado un perfil en el licor de cacao con valores altos de compuestos aromáticos lo que influye positivamente en un sabor agradable del chocolate (Schwan & Wheals, 2004).

Por otro lado, el uso de un consorcio de microorganismos (levaduras, BAL y BAA) es el segundo tipo de cultivo iniciador más utilizado, en la mayoría de los casos están presentes las especies de *S. cerevisiae*, *P. kluyveri*, *P. kudriavzevii*, *T. delbrueckii*, *L. fermentum* y *L. plantarum*, *A. pasteurianus* y *A. aceti*, según lo presentado 4.1.4 (Alvarez-Villagomez et al., 2022; Crafac et al., 2013; Díaz-Muñoz et al., 2021; Díaz-Muñoz et al., 2023; Huerta-Conde et al., 2021; Lefeber et al., 2012; Sandhya et al., 2016; Saunshi et al., 2020). Este tipo de consorcio genera buenos resultados, como un mayor consumo de sustratos, mayor producción de alcohol, ácido acético y ácido láctico, mayor aumento de temperatura, producción mejorada de compuestos orgánicos volátiles y un producto final que posee notas sensoriales agradables (Crafac et al., 2013; Díaz-Muñoz et al., 2021; Díaz-Muñoz et al., 2023; Sandhya et al., 2016).

Por otro lado, se encontraron dos artículos que hicieron uso de un cultivo iniciador usando sólo bacterias (Lefeber et al., 2012; Viesser et al., 2021), recalcando que el proceso de fermentación si se llevó a cabo, especialmente por el consumo rápido de fructosa y mayor conversión de ácido cítrico; sin embargo, comparado con un proceso de fermentación en donde hubo presencia de levaduras, se presentó una diferencia en la concentración de metabolitos producidos en la pulpa, debido a la diferencia en las comunidades de especies de microorganismos, ya que las BAL no tienen un impacto significativo en la formación de alcoholes y ésteres durante la fermentación (Viesser et al., 2021); además, el perfil sensorial de los chocolates se caracterizó por tener un sabor sin fermentar (Lefeber et al., 2012). Lo anterior no quiere decir que no hubo presencia de levaduras, pues éstas se encuentran en un proceso de fermentación espontánea natural, sin embargo, la acción de inocular BAL hace que estos microorganismos compitan con las levaduras autóctonas para consumir sustratos y alterar el desarrollo de la fermentación, lo que nos lleva a inferir que el uso de levaduras en los diferentes tipos de cultivos iniciadores son importantes para llevar a cabo una fermentación exitosa del grano de cacao (Ho et al., 2014). Por último, se encontraron dos artículos que utilizaron un cultivo iniciador de mezcla entre levadura y bacteria ácido-láctica; por un lado, en Romanens et al. (2020) utilizaron *L. fermentum* y *S. cerevisiae*, generando resultados negativos ya que la especie de BAL es heterofermentativa lo que causa una alta producción de manitol en los granos, debido a esto, los autores infirieron que el manitol es el causante de un proceso de fermentación más lento, pues se presentan bajas temperaturas y proporción de granos bien fermentados. En contraste con Viesser et al. (2021) que utilizaron *L. plantarum* y *P. fermentans*, mostrando resultados positivos, pues se mejoró el metabolismo del azúcar y la formación de aromas durante la fermentación, lo que puede explicarse por la capacidad de la levadura de producir compuestos activos de sabor y al consumo rápido de fructosa por parte

de la BAL. La diferencia en los resultados de estos dos últimos artículos puede deberse a las diferentes especies de BAL y levaduras utilizadas en los cultivos iniciadores y la influencia de estas especies en el proceso de fermentación.

4.2 Secado

Respecto a las investigaciones relacionadas con el efecto que tienen los diferentes tipos de secado utilizados en el proceso de beneficio de cacao, sobre la calidad del licor y granos de cacao, se hizo uso de la cuarta y quinta ecuación de búsqueda que se presentó en el ítem 3.1. La búsqueda reflejó un total de 108 artículos (Apéndice B), de los cuales se seleccionaron 10 artículos con base en los criterios mencionados en la metodología.

Con los documentos extraídos se organizó una base de datos que incluyó la siguiente información: método de secado, duración y temperatura, y efecto en la calidad del licor y granos de cacao.

4.2.1 Método de secado

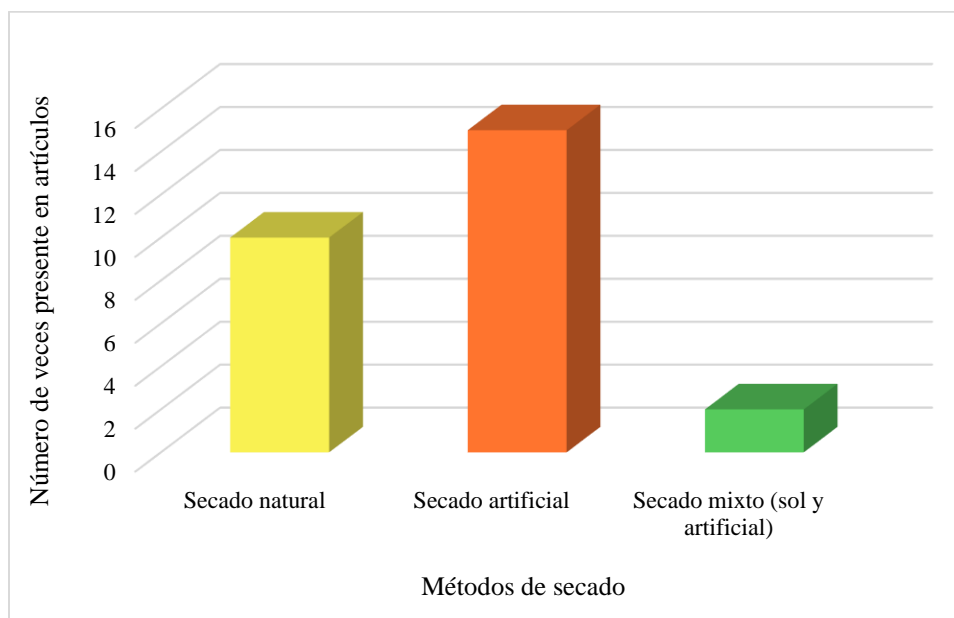
Como se ha mencionado en el ítem 2.1 y 2.2, en las etapas de fermentación y secado, los granos de cacao experimentan varios cambios químicos y bioquímicos que forman los precursores del sabor necesarios durante el proceso. El secado se suele realizar mediante técnicas naturales de secado al sol y aire caliente artificial. Los pequeños productores de cacao que producen en pequeñas cantidades prefieren el secado al sol, mientras que para plantaciones más grandes se prefiere el método artificial de aire caliente (Hii et al., 2009a). Cabe resaltar que uno de los factores más importantes para tener en cuenta es la velocidad del secado de los granos, éste es un factor crítico que afecta significativamente la calidad final del grano, ya que ayuda a modular el sabor (reduce acidez y amargor) y el color marrón característico de los granos (Santander Muñoz et al., 2020). Cuando la temperatura de secado inicial es muy alta y el proceso es rápido, la testa de la

semilla se endurece y se adhiere al cotiledón, limitando el transporte de oxígeno al interior del grano, lo que reduce la actividad de la enzima polifenol oxidasa, impidiendo la oxidación de antocianinas y catequinas y su transformación en quinonas, dando lugar a granos violetas de mayor astringencia y amargor (Lasisi, 2014). Por el contrario, en procesos de secado muy prolongados, los granos de cacao se exponen al crecimiento de moho, aumentando el riesgo de obtener granos de mala calidad (Dzelagha et al., 2020). Ahora bien, si las condiciones de secado son adecuadas, la enzima oxida los polifenoles para dar granos de color marrón. También, las condiciones de secado afectan la migración hacia el exterior de los ácidos presentes en los granos (Santander Muñoz et al., 2020).

En la figura 6 se muestran los diferentes métodos de secado utilizados en los artículos estudiados en el ítem 4.2

Figura 6

Métodos de secado utilizados en los artículos estudiados.



Se puede observar que los métodos de secado más utilizados fueron los de la categoría de secado artificial, seguidos por la categoría de secado natural y por último la categoría mixta. El

secado artificial ha sido el más estudiado por los diferentes artículos, debido a que actualmente es un proceso novedoso y prometedor que puede contribuir a mejorar la eficiencia en el proceso de producción, pues ayuda a superar algunos desafíos presentados en el proceso de secado natural. A medida que se continúa investigando y desarrollando esta tecnología, es probable que se pueda estandarizar y aumentar su uso en la industria del cacao.

En la categoría de secado artificial, el método más utilizado fue el secado al horno (Efraim et al., 2010; Guehi et al., 2010; Hii et al., 2009a; Hii et al., 2009b; Jinap et al., 1994; Rodriguez-Campos et al., 2012; Santhanam et al., 2017), algunas investigaciones indican que los granos de cacao secados artificialmente tienen mayor acidez y menor contenido de ácidos grasos volátiles que los granos secados al sol (García-Alamilla et al., 2007); también, se puede deducir que éste método podría tener un alto costo en comparación con el método de secado con luz solar directa, debido a costos tanto de adquisición como de mantenimiento del equipo; sin embargo, algunos autores mencionan que el secado por convección forzada es una alternativa viable disponible a un costo accesible para el cacaocultor promedio (Furtado et al., 2020).

Existen otros métodos de secado artificial, como por ejemplo el uso de un liofilizador (Hii et al., 2009b; Santhanam et al., 2017); para secar los granos de cacao en frío, este método resulta improbable de utilizar en el secado de granos de cacao a gran escala debido a su alto consumo eléctrico y técnico (Dzelagha et al., 2020). Además, en uno de los artículos estudiados hacen uso de métodos como secado en horno de vacío y por adsorción de granos de cacao (Santhanam et al., 2017), ambos métodos de secado son comparativamente nuevos y el desarrollo de dicha tecnología aún no ha madurado lo suficiente para utilizarla a una escala de producción. Kotey et al. (2022) utilizaron un secador híbrido de biomasa solar el cual consiste en una cámara de secado que absorbe la radiación solar, aumentando la temperatura del recinto evaporando la humedad de los

granos de cacao; además cuenta con un horno de biomasa para calentar el aire y así ayudar a secar los granos, éste fue más eficiente en la eliminación de la humedad de los granos comparado con el método de secado al sol, ya que tiene una fuente de energía adicional que ayuda a mantener una humedad relativa baja dentro de la cámara de secado. Por otra parte, algunos autores utilizaron un secador artificial tipo Samoa que consiste en una plataforma donde se extienden los granos de cacao, ésta se conecta a una fuente de calor natural (leña) o artificial (resistencia eléctrica) y se hace circular aire ya sea por convección natural (Rodríguez-Campos et al., 2012) o por convección forzada (Deus et al., 2018; Jinap et al., 1994), siendo este método utilizado en grandes instalaciones agrícolas y/o en temporada de alta producción y clima lluvioso (Rodríguez-Campos et al., 2012).

En la categoría de secado natural, el método de secado más utilizado fue el secado con luz solar directa (Deus et al., 2018; Efraim et al., 2010; Guehi et al., 2010; Hii et al., 2006; Hii et al., 2009b; Jinap et al., 1994; Kotey et al., 2022; Rodríguez-Campos et al., 2012); éste se ha considerado como el mejor método para obtener el máximo desarrollo del sabor, ya que el secado natural al sol permite obtener productos con mejor calidad sensorial (Efraim et al., 2010). Sin embargo, este método tiene desventajas porque es un proceso no controlado, pues depende de las condiciones ambientales (en especial temporada de lluvias) y, en ocasiones, requiere largos tiempos de secado, lo que conlleva a un cacao con calidad heterogénea durante todo el año (Santander Muñoz et al., 2020); cabe resaltar que es el método más económico y disponible para los agricultores, pero requiere mucha mano de obra y tiempo, exponiendo al cacao a alimañas y otros contaminantes ambientales (Dzelagha et al., 2020). Buscando mejoras para el secado al sol de los granos de cacao, algunos autores utilizan techo de plástico ya sea fijo o movable (Deus et al., 2018) con el fin de minimizar la exposición de los granos de cacao a la luz UV, la oxidación y

el calor, lo cual ayuda a conservar los compuestos bioactivos necesarios para obtener productos de alta calidad (Dzelagha et al., 2020).

Por último, algunos autores realizaron el secado de granos de cacao mediante la categoría mixta (natural y artificial en un horno de convección) para evaluar el resultado en la calidad del producto final. En Jinap et al. (1994) el método de secado natural tiene la característica de dejar los granos de cacao en la sombra y no directamente al sol como en el caso de Guehi et al. (2010).

El efecto de los métodos de secado anteriormente mencionados en la calidad del producto final (licor de cacao o chocolate) se analizará más a detalle en el ítem 4.2.3.

4.2.2 Duración y temperatura

El objetivo del secado es que los granos de cacao alcancen una humedad entre 6-8%, pues en el almacenamiento y transporte el contenido de humedad debe ser <8% o se puede presentar un posible crecimiento de moho. Es claro que existe una relación inversa entre la duración y temperatura del secado, es por esto por lo que los granos de cacao secados al horno tienen una duración más corta (6-72 horas) hasta alcanzar la humedad deseada, debido a las altas temperaturas de operación encontradas en los artículos estudiados (35°C-80°C) (Efraim et al., 2010; Guehi et al., 2010; Hii et al., 2009a; Hii et al., 2009b; Jinap et al., 1994; Rodriguez-Campos et al., 2012; Santhanam et al., 2017). Cabe resaltar que el proceso de secado no debe ser demasiado rápido, de lo contrario los granos tienden a retener una cantidad excesiva de ácido acético lo que es perjudicial para el sabor (Kongor et al., 2016). Por otro lado, los artículos analizados que utilizan el método de secado al sol tienen una duración mayor (96-240 horas), debido a que se exponen a temperatura ambiente que fluctúa a lo largo del día (Deus et al., 2018; Efraim et al., 2010; Guehi et al., 2010; Hii et al., 2006; Hii et al., 2009b; Jinap et al., 1994; Kotey et al., 2022; Rodriguez-Campos et al.,

2012). Con respecto a esto, una velocidad demasiado lenta daría como resultado una acidez baja, color más pobre y alta presencia de moho (Kongor et al., 2016).

4.2.3 Efecto en la calidad del licor y granos de cacao

Con base en los resultados presentados en los artículos estudiados, se puede evidenciar que utilizando el método de secado al sol se obtienen mejores resultados sensoriales y de calidad, pues los granos presentan un color marrón bien desarrollado con cáscara menos frágil (Jinap et al., 1994), menor contenido de ácido acético, debido a un periodo de secado más largo, lo que permite la evaporación de éste (Guehi et al., 2010; Hii et al., 2006). El método de secado al sol es el que presenta mayor retención de compuestos fenólicos y metilxantinas, posiblemente por ser un secado más lento que utiliza temperaturas suaves; por ejemplo, en Deus et al. (2018) se hace una comparación entre el contenido de compuestos fenólicos y metilxantinas del método de secado al sol y artificial, evidenciando un mayor contenido de catequina, epicatequina, cafeína y teobromina de 0,016 mg/g, 0,402 mg/g, 0,72 mg/g y 4,84 mg/g respectivamente, en el método de secado al sol. Por último, con el método de secado al sol se obtiene un licor de cacao con sabor a chocolate bien desarrollado, afrutado y olor a “nuez tostada”, mientras que el licor obtenido de los granos secados al horno presentaba poco sabor a chocolate con notas ácidas pronunciadas (Jinap et al., 1994).

En el método de secado al horno, los granos de cacao presentan un color más débil con respecto a granos secados al sol, y mayor dureza, pues la cáscara se observó arrugada y pegada al cotiledón por las altas temperaturas utilizadas (Hii et al., 2009b; Jinap et al., 1994). Debido a la velocidad excesiva del secado, no hubo una correcta difusión y muchos compuestos indeseables como el ácido acético quedaron atrapados, de esta forma el pH fue menor comparado con el pH obtenido en granos secados al sol provocando mayor acidez y perjudicando sensorialmente el

producto final (Efraim et al., 2010; Guehi et al., 2010; Jinap et al., 1994; Rodriguez-Campos et al., 2012). Con respecto al secado con el método Samoa, los granos presentaron un color, olor y sabor aceptable, pues se presentan notas de sabor deseable como chocolate, malta, miel, caramelo, floral, frutal, dulces y cítricas (Jinap et al., 1994; Rodriguez-Campos et al., 2012), sin embargo, se obtuvo una reducción en el contenido de compuestos fenólicos en granos de cacao secos comparado con los secados al sol (Deus et al., 2018). Los granos de cacao secados con un liofilizador presentaron los valores más bajos de dureza y fracturabilidad, debido a que el producto tiende a ser poroso y frágil (Hii et al., 2009b), además de esto, el uso de un liofilizador y horno de vacío permiten obtener un mayor contenido de polifenoles totales en los granos secos de cacao alcanzando valores de 126,3 mg GAE/g dw y 112 mg GAE/ g dw, respectivamente. En el liofilizador se debe a la inactivación de la actividad enzimática por las bajas temperaturas y en el horno de vacío se debe a la baja disponibilidad de oxígeno en condiciones de secado a baja presión; por consiguiente, se obtiene un licor de cacao más amargo con puntuación 5/10 y 4/10, respectivamente, y astringencia de 4,8/10 en ambos métodos. En comparación con el método de secado por adsorción que presentó una menor cantidad de polifenoles en los granos de cacao con un valor de 104 mg GAE/ g dw, lo que pudo deberse a la alta temperatura de secado, pues fue mayor a 65°C, dando como resultado granos con valores de astringencia y amargor de 4/10 y 3,6/10, respectivamente (Santhanam et al., 2017). El secado de granos de cacao por medio de un secador híbrido de biomasa solar fue más eficiente en cuanto a la eliminación de la humedad de los granos, comparado con el método tradicional de secado al sol, debido a que tiene una fuente de energía adicional que ayuda a mantener una humedad relativa baja dentro de la cámara de secado; sin embargo, en términos de calidad no hubo diferencias significativas en los resultados para granos de cacao de la variedad trinitario, 7 días de fermentación y para los dos métodos de secado, pues en la prueba de corte y

pH dan valores iguales de 22,57% de granos violetas (insuficientemente fermentados) y 5,58, respectivamente; y en el contenido de compuestos fenólicos dan valores más altos para los granos secados directamente al sol con valor de 411,35 mg GAE/ g dw, comparado con 365,13 mg GAE/ g dw en granos secados en el secador híbrido de biomasa solar (Kotey et al., 2022). Lo anterior comprueba que el método de secado al sol es más eficiente para obtener granos de cacao con mayor contenido de compuestos fenólicos y por ende, mayor actividad antioxidante.

Finalmente, los dos artículos estudiados en cuanto a la categoría mixta de secado de granos de cacao (natural y artificial en horno de convección) presentan diferencias en los resultados finales de la calidad del licor de cacao, debido a que hicieron el proceso de manera diferente, pues a pesar de que utilizaron la misma temperatura en el horno de convección, difieren en el secado natural. Por ejemplo, en Jinap et al. (1994) realizaron el proceso de secado natural dejando los granos de cacao expuestos a la sombra y no al sol directo, lo cual causó un olor pútrido por la presencia de amoníaco en los granos, manchas de hongos blancos al cuarto día de secado; por ende, se presentó baja calidad de los granos, pues los ácidos grasos volátiles no se volatizaron y permanecieron en el grano, lo que condujo a una alta puntuación de sabores desagradables. Por el contrario, en Guehi et al. (2010) realizaron el proceso de secado natural dejando los granos expuestos directamente al sol y así obtuvieron granos de cacao con acidez volátil baja, lo que influye directamente a una alta puntuación de sabores agradables. Lo anterior nos lleva a concluir que el secado de granos de cacao con presencia de luz solar directa es importante si se quiere obtener mejores resultados tanto en la calidad del grano como en la evaluación sensorial del producto final.

4.3 Sistemas usados para la calificación de la calidad de licores de cacao y chocolates

Para el reconocimiento de los sistemas de calificación usados para la evaluación del producto final (licor de cacao o chocolate) desde el punto de vista fisicoquímico, sensorial y de

compuestos volátiles, se utilizaron la sexta y séptima ecuaciones de búsqueda que se presentaron en el ítem 3.1. La búsqueda condujo a un total de 140 artículos (Apéndice B), de los cuales se seleccionaron 16, con base en los criterios mencionados en la metodología.

Con los documentos seleccionados se organizó una base de datos que se dividió en tres categorías: i.) parámetros fisicoquímicos evaluados en el grano seco de cacao, ii.) evaluación sensorial y iii.) compuestos volátiles presentes en el producto final (licor de cacao o chocolate).

Cabe resaltar que estos artículos no se analizaron de forma comparativa como se hizo en los ítems 4.1 y 4.2, debido a la dispersión de la información encontrada, en cuanto a la metodología y resultados para los sistemas de evaluación que se tienen en cuenta en esta tercera parte.

4.3.1 Parámetros fisicoquímicos evaluados en el grano seco

Se encontraron 3 artículos que tuvieron en cuenta ciertos parámetros fisicoquímicos para la evaluación de calidad del grano de cacao. Los parámetros fisicoquímicos más evaluados son: prueba de corte, recuento de granos, índice de fermentación, contenido de cáscara, índice de grano, contenido de almendra, humedad, pH, acidez titulable, contenido de grasas y cenizas.

Ho et al. (2014) utilizaron la prueba de corte y el contenido de cáscara para la evaluación de la calidad de los granos de cacao. Por otro lado, Rottiers et al. (2019) evaluaron la calidad del grano a partir del recuento de granos, índice de fermentación y prueba de corte. Por último, Alviárez Gutierrez et al. (2022) evaluaron la calidad de los granos de cacao a través de los siguientes parámetros: recuento de granos, contenido de cascarilla, prueba de corte, índice de fermentación, índice de grano, contenido de almendra, humedad, pH, acidez titulable, contenido de grasas y cenizas.

A partir de lo anterior, se puede observar que el parámetro de calidad más evaluado es la prueba de corte, seguido del recuento de granos e índice de fermentación. Esto puede deberse a

que el procedimiento de prueba de corte, para determinar el grado de fermentación es un método rápido y de bajo costo, que mediante la coloración de las almendras y la formación de surcos (forma de riñón del grano) indica la efectividad de la fermentación. Para verificar los resultados obtenidos en la prueba de corte, se determina el índice de fermentación, pues los granos de cacao deben presentar valores entre 1,0 y 1,6 para comprobar que los granos estén bien fermentados (Alviárez Gutierrez et al., 2022).

Para la prueba de corte, los granos secos fermentados se clasifican según el grado de fermentación de la siguiente forma: totalmente fermentados (marrones), parcialmente fermentados (parcialmente marrones), poco fermentados (morados), sin fermentar (pizarrosos) (Oliveira et al., 2021). Cabe resaltar que los granos defectuosos (mohosos, germinados, dañado por insectos, aglomerados) se cuentan por separado y así clasificar los lotes de cacao en grado 1 o 2, de acuerdo con la norma internacional ISO 2451:2017.

Por otro lado, Rottiers et al. (2019) propuso realizar el cálculo para la puntuación de la prueba de corte por medio la siguiente ecuación descrita por (Hii et al., 2011):

$$\text{Puntuación} = (10 \times \%m) + (5 \times \%P/m) + (0 \times \%P/p) \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

%m: porcentaje de granos marrones

%p/m: porcentaje de granos púrpura y marrones

%p/p: porcentaje de granos púrpura y pizarroso

En el apéndice D se ilustra el grado de fermentación de los granos de cacao según la prueba de corte (Apéndice C).

4.3.2 *Evaluación sensorial*

Identificar la calidad es un tema subjetivo relacionado con los sentidos humanos y es medido por un panel sensorial de expertos. La percepción sensorial en cacao y chocolate es uno de los criterios de calidad más importantes en la industria y está relacionada con la composición química (Rojas et al., 2022).

La clasificación de los sabores del licor de cacao o chocolate se puede hacer usando las siguientes categorías: sabores básicos (dulzor, acidez, amargor y astringencia), sabores finos (sabor y aroma a cacao, nuez, frutal, floral, especiado) y sabores extraños o también llamados *off-flavors* (quemado y animal) (Escobar et al., 2021).

Los sabores del licor de cacao o chocolate son evaluados por un panel, ya sea capacitado o no, a través de escalas hedónicas para dar ciertos puntajes; sin embargo, lo anterior es muy subjetivo y difiere en todos los artículos encontrados en esta búsqueda (Alviárez Gutierrez et al., 2022; Cemin et al., 2022; Crafacck et al., 2014; Díaz-Muñoz et al., 2023; Hinneh et al., 2020; Ho et al., 2014; Liu et al., 2017; Moreira et al., 2018; Rottiers et al., 2019; Visintin et al., 2017; Żyżelewicz et al., 2018).

Todo lo que se acaba de presentar y la influencia en la parte sensorial es importante para los mercados, pues es lo que pone los precios diferenciales para cacaos finos y de aroma. Sin embargo, todos los procesos de catación no siguen una única norma estandarizada, lo que resulta un problema para la calificación sensorial, porque hay una gran variedad de procedimientos para realizar el análisis. En busca de armonizar lo anterior, existe una iniciativa que se denomina “*Cacao of excellence*”, la cual propone un método de evaluación sensorial que es utilizado en el concurso mundial más prestigioso (Salón du Chocolat de Paris), en el cual se reconoce el trabajo de los productores de cacao y celebra la calidad y la diversidad de sabores de los cacaos producidos

en todo el mundo (Cacao of excellence, s.f.); además, busca a través de descriptores sensoriales calificar de manera estandarizada tanto licores de cacao como chocolates, calificando sensaciones de acuerdo con la “rueda de sabor” presentada en el apéndice E; pero adicionalmente agregan una puntuación global y una descripción general del producto, lo cual en nuestra perspectiva, permitiría una estandarización de la calificación y se empezaría a hablar de lo mismo en todas partes del mundo como pasa con el café. Cabe resaltar que la información encontrada sobre el método “*Cacao of excellence*” no está disponible en los artículos de las ecuaciones de búsqueda utilizadas en este estudio.

4.3.3 *Compuestos volátiles presentes en el producto final (licor de cacao o chocolate)*

El perfil de sabor y aroma del cacao está directamente relacionado con su composición química, y esto determina su alta o baja calidad. El aroma total del chocolate resulta del aporte de cada compuesto volátil presente en el cacao; por lo tanto, la variación de la concentración de estos da como resultado diferentes perfiles sensoriales (Rojas et al., 2022).

Se encontraron 12 artículos que realizaron el estudio del análisis de compuestos orgánicos volátiles (COV) a partir de la técnica de microextracción en fase sólida con espacio de cabeza (HS-SPME) acoplado a cromatografía de gases – espectrometría de masas (GC-MS). De la búsqueda realizada, en 2 artículos se analizaron los COV en el licor de cacao, en 9 artículos se analizaron en chocolates y en 1 artículo se hizo el estudio tanto para el licor de cacao como para chocolate. Los principales compuestos encontrados en los diferentes artículos se agruparon en alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, ácidos y pirazinas, aunque también se encontraron otros compuestos en menor cantidad, que dependen del genotipo del grano o del procesamiento para la obtención del producto final.

En los artículos que analizan los COV en el licor de cacao, dos de estos se realizaron a partir de un proceso de fermentación espontánea, donde se presentó mayor cantidad de pirazinas (Counet et al., 2004) y ésteres (Rottiers et al., 2019), por otra parte, un artículo realizó una fermentación inoculada y presentó en mayor cantidad pirazinas y ésteres (Díaz-Muñoz et al., 2023). De lo anterior se puede deducir que en este estudio los COV más abundantes en el licor de cacao son las pirazinas, componentes clave del olor en el aroma del cacao, siendo la tetrametilpirazina y la trimetilpirazina las más importantes, pues tienen propiedades potenciadoras del sabor del cacao y presentan aromas a nueces, terrosos y tostados (Aprotosoai et al., 2016); y los ésteres que son la segunda clase más importante de volátiles después de las pirazinas en el grano de cacao tostado (Rodríguez-Campos et al., 2012) y tienen notas de olor básicamente afrutadas, aunque algunos tienen notas florales importantes (Torres-Moreno et al., 2021).

En los artículos que analizan los COV en el chocolate, se encontraron cuatro que realizaron fermentaciones inoculadas, en los cuales prevalecen los grupos ésteres (Díaz-Muñoz et al., 2023; Menezes et al., 2016), pirazinas (Díaz-Muñoz et al., 2023), aldehídos (Batista et al., 2016) y ácidos (Visintin et al., 2017); y seis que realizaron fermentaciones espontáneas, donde predominan los grupos ésteres (Lemarcq et al., 2022; Moreira et al., 2018; Torres-Moreno et al., 2021), pirazinas (Hinne et al., 2019; Lemarcq et al., 2022), ácidos (Cemin et al., 2022; Żyżelewicz et al., 2018), aldehídos (Hinne et al., 2019) y alcoholes (Cemin et al., 2022).

Dado que anteriormente se describieron las características de los ésteres y pirazinas, se continúa con la breve descripción de los grupos faltantes. Una alta concentración de aldehídos y cetonas es favorable para la calidad del cacao, produciendo notas frutales y florales, como por ejemplo el 2-metilbutanal y 3-metilbutanal, estos compuestos producen notas de sabor a malta y chocolate en cacao tostado y sin tostar (Rodríguez-Campos et al., 2012), éstos compuestos se

presentan en los resultados de los artículos anteriormente referenciados. Los aldehídos y cetonas deseables se obtienen durante la etapa de fermentación de 6 a 8 días y secado a 70°C (Rodríguez-Campos et al., 2012), mientras que, las altas temperaturas y un tostado prolongado disminuye el contenido de aldehídos (Aprotosoai et al., 2016).

Los altos contenidos de alcohol son deseables para obtener productos de cacao con notas florales y dulces (Rodríguez-Campos et al., 2012), sin embargo, durante el secado y tostado la concentración de alcoholes disminuye por degradación química o volatilización, es decir, las altas temperaturas y la duración prolongada del calor promueven la pérdida de alcoholes. Se destaca que el 2-heptanol imparte un aroma afrutado, herbáceo, floral y especiado; el linalol y el 2-feniletanol son los principales alcoholes de los granos de cacao tostados (Aprotosoai et al., 2016).

Por último, el grupo de los ácidos se caracteriza por tener notas de aroma y sabor desagradables, la concentración de éstos aumenta durante la fermentación como resultado del metabolismo del azúcar. El ácido acético se asocia con un aroma agrio y avinagrado y se considera el compuesto con mayor olor activo en granos fermentados y sin tostar, siendo este uno de los compuestos que se encuentran con frecuencia en grandes cantidades entre los ácidos dentro de la matriz del chocolate (Cemin et al., 2022). Además existen otros ácidos carboxílicos de cadena corta (isobutírico, isovalérico, propiónico) los cuales producen notas de mal olor como a rancio, mantequilla y jamón que generalmente se eliminan durante la etapa de tostado y conchado (Aprotosoai et al., 2016). Por otro lado, se observó que los ácidos volátiles de chocolate elaborado con cacao de América Latina representaban entre el 26 y 32% de los compuestos volátiles en las muestras (Calva-Estrada et al., 2020). Cabe resaltar que la alta presencia de ácidos en el trabajo de (Żyżelewicz et al., 2018) se debe a que los chocolates se elaboraron a partir de mezclas entre licores de cacao con granos tostados y sin tostar, pues el aumento del contenido de licor de cacao crudo

en la formulación del chocolate aumentó la concentración de ácido acético en las muestras analizadas, lo que confirma el papel del tostado en la eliminación de este ácido de los granos de cacao.

5 Conclusiones

El uso de una sola levadura como inóculo en el proceso de fermentación genera los mejores resultados en la calidad sensorial, ya que tiene la tendencia de producir granos de cacao con mayor presencia de compuestos orgánicos volátiles deseables, los cuales se caracterizan por generar sabores frutales o florales, dependiendo de la especie de levadura utilizada. Por otra parte, cuando se utilizan consorcios microbianos como inóculo, la tendencia es similar, pero hay mayor producción de ácidos y menor presencia de compuestos orgánicos volátiles, lo que podría afectar la calidad sensorial del cacao.

En cuanto al secado del cacao, es crucial que este proceso se realice de manera lenta para permitir la eliminación del ácido acético presente en los granos y el desarrollo de sabores y aromas característicos, como notas afrutadas, florales y a nueces. Tanto el secado natural como el secado mixto controlado cumplen con esta condición. Sin embargo, según nuestro trabajo, hemos llegado a la conclusión de que el secado al sol es el método más adecuado para obtener la mejor calidad de cacao, ya que permite que los granos se sequen de manera natural y lenta sin que la testa se endurezca.

Desde el punto de vista sensorial y de calidad hay múltiples métodos que se basan en puntuaciones utilizando escalas hedónicas, sin embargo, no todos utilizan la misma escala de valoración. En este sentido, se reconoce que la propuesta de “Cacao of excellence” es una buena alternativa, ya que a nuestro juicio es el mejor método de evaluación sensorial pues incluye una

valoración individual de atributos sensoriales y además da una puntuación global que es fácilmente entendible.

6 Recomendaciones

Se recomienda estudiar más a fondo las funciones de los microorganismos presentes en la fermentación de cacao mediante el uso de enfoques metagenómicos, lo que podría ayudar para investigaciones en el desarrollo de nuevas tecnologías y prácticas de fermentación del cacao, y así diseñar estrategias efectivas, mejorando la eficiencia del proceso y la calidad del producto final, con el fin de tener un impacto positivo en la sostenibilidad y la rentabilidad de cacao a largo plazo.

Las evaluaciones físicas y sensoriales del cacao están estrechamente relacionadas y ambas son importantes para determinar la calidad del producto final. Las evaluaciones físicas pueden afectar directamente las características sensoriales del cacao, mientras que las evaluaciones sensoriales precisan información valiosa sobre las características organolépticas del cacao, ayudando a identificar sabores y aromas específicos. Por ejemplo, la prueba de corte permite una verificación visual sobre el nivel de fermentación de los granos, aunque se debe tener en cuenta que no es suficiente para relacionarlo a atributos sensoriales, por lo tanto, se recomienda analizar conjuntamente los resultados de la prueba de corte de granos de cacao y el perfil sensorial del producto final para entender los posibles cambios fisicoquímicos presentes en los granos.

Debido a la dispersión en los métodos de evaluación sensorial del producto final del cacao (ya sea licor o chocolate), se recomienda optar por la creación y adopción de un conjunto de estándares y metodologías que se puedan aplicar en todo el mundo de manera consistente. Para esto, a nuestro punto de vista sería necesario llevar a cabo una serie de acciones como: creación de un comité internacional compuesto por expertos en la evaluación sensorial, incluidos investigadores, productores de cacao, fabricantes de chocolate y expertos en normativas y

regulaciones alimentarias; desarrollo de una metodología estándar que incluya procedimientos para la selección de paneles de degustación, entrenamiento de panelistas, protocolos de evaluación y análisis de datos; validación de la metodología por las diferentes regiones productoras de cacao para garantizar su aplicabilidad; implementación de la metodología y capacitación de los evaluadores sensoriales en todo el mundo; y adopción de normativas y regulaciones alimentarias. Lo anterior requeriría de un esfuerzo colaborativo y coordinado entre diferentes autores de la industria del cacao y chocolate.

Referencias bibliográficas

- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Ryan, A. (2008). Flavor Formation and Character in Cocoa and Chocolate: A Critical Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(9), 840-857. 10.1080/10408390701719272
- Alvarez-Villagomez, K. G., Ledesma-Escobar, C. A., Priego-Capote, F., Robles-Olvera, V. J., & García-Alamilla, P. (2022). Influence of the starter culture on the volatile profile of processed cocoa beans by gas chromatography–mass spectrometry in high resolution mode. *Food Bioscience*, 47, 101669. 10.1016/j.fbio.2022.101669
- Alviárez Gutierrez, E., Caetano, A. C., Ramirez Hoyos, Y., Granda Santos, M., & Leiva Espinoza, S. (2022). Physicochemical and organoleptic profile of the native fine aroma cocoa from northeastern area of Peru. *Ciência E Tecnologia De Alimentos*, 4210.1590/fst.06422
- Aprotosoai, A. C., Luca, S. V., & Miron, A. (2016). Flavor Chemistry of Cocoa and Cocoa Products—An Overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 73-91. 10.1111/1541-4337.12180
- Batista, N. N., Ramos, C. L., Dias, D. R., Pinheiro, A. C. M., & Schwan, R. F. (2016). The impact of yeast starter cultures on the microbial communities and volatile compounds in cocoa fermentation and the resulting sensory attributes of chocolate. *Journal of Food Science and Technology*, 53(2), 1101-1110. 10.1007/s13197-015-2132-5
- Batista, N. N., Ramos, C. L., Ribeiro, D. D., Pinheiro, A. C. M., & Schwan, R. F. (2015). Dynamic behavior of *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia kluyveri* and *Hanseniaspora uvarum* during spontaneous and inoculated cocoa fermentations and their effect on sensory characteristics of chocolate. *Food Science & Technology*, 63(1), 221-227. 10.1016/j.lwt.2015.03.051

Cacao of excellence. (s.f.). What is Cacao of Excellence? Cacao of Excellence.

<https://www.cacaoofexcellence.org/about-us/what-is-cacao-of-excellence>

Calva-Estrada, S. J., Utrilla-Vázquez, M., Vallejo-Cardona, A., Roblero-Pérez, D. B., & Lugo-Cervantes, E. (2020). Thermal properties and volatile compounds profile of commercial dark-chocolates from different genotypes of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) from Latin America. *Food Research International*, 136, 109594. 10.1016/j.foodres.2020.109594

Celso, G., Chagas Junior, A., Ferreira, N. R., Helena De Aguiar Andrade, E., Diniz Do Nascimento, L., Campos De Siqueira, F., & Santos Lopes, A. (2021). Molecules profile of volatile compounds of On-Farm fermented and dried cocoa beans inoculated with *Saccharomyces cerevisiae* KY794742 and *Pichia kudriavzevii* KY794725

Cemin, P., Reis Ribeiro, S., de Candido de Oliveira, F., Leal Leães, F., Regina dos Santos Nunes, M., Wagner, R., Sant, & Anna, V. (2022). Chocolates with Brazilian cocoa: Tracking volatile compounds according to consumers' preference. *Food Research International*, 159, 111618. 10.1016/j.foodres.2022.111618

Counet, C., Ouwerx, C., Rosoux, D., & Collin, S. (2004). Relationship between procyanidin and flavor contents of cocoa liquors from different origins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(20), 6243. 10.1021/jf040105b

Crafack, M., Keul, H., Eskildsen, C. E., Petersen, M. A., Saerens, S., Blennow, A., Skovmand-Larsen, M., Swiegers, J. H., Petersen, G. B., Heimdal, H., & Nielsen, D. S. (2014). Impact of starter cultures and fermentation techniques on the volatile aroma and sensory profile of chocolate. *Food Research International*, 63, 306-316. 10.1016/j.foodres.2014.04.032

Crafack, M., Mikkelsen, M. B., Saerens, S., Knudsen, M., Blennow, A., Lowor, S., Takrama, J., Swiegers, J. H., Petersen, G. B., Heimdal, H., & Nielsen, D. S. (2013). Influencing cocoa

- flavour using *Pichia kluyveri* and *Kluyveromyces marxianus* in a defined mixed starter culture for cocoa fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 167(1), 103-116. 10.1016/j.ijfoodmicro.2013.06.024
- Compañía Nacional de Chocolates S.A.S. (2017). El grano de cacao y su calidad [Folleto]. <https://chocolates.com.co/wp-content/uploads/2018/05/el-grano-del-cacao-y-su-calidad.pdf>
- De Vuyst, L., & Weckx, S. (2016). The cocoa bean fermentation process: from ecosystem analysis to starter culture development. *Journal of Applied Microbiology*, 121(1), 5-17. 10.1111/jam.13045
- Deus, V. L., Cerqueira E Silva, Mariana Barros de, Maciel, L. F., Miranda, L. C. R., Hirookas, E. Y., Soares, S. E., Ferreira, E. d. S., & Bispo, E. d. S. (2018). Influence of drying methods on cocoa (*Theobroma cacao* L.): antioxidant activity and presence of ochratoxin A. *Ciência E Tecnologia De Alimentos*, 38(suppl 1), 278-285. 10.1590/fst.09917
- Díaz-Muñoz, C., Van de Voorde, D., Comasio, A., Verce, M., Hernandez, C. E., Weckx, S., & De Vuyst, L. (2021). Curing of Cocoa Beans: Fine-Scale Monitoring of the Starter Cultures Applied and Metabolomics of the Fermentation and Drying Steps. *Frontiers in Microbiology*, 11, 616875. 10.3389/fmicb.2020.616875
- Díaz-Muñoz, C., Van de Voorde, D., Tuenter, E., Lemarcq, V., Van de Walle, D., Soares Maio, J. P., Mencía, A., Hernandez, C. E., Comasio, A., Sioriki, E., Weckx, S., Pieters, L., Dewettinck, K., & De Vuyst, L. (2023). An in-depth multiphasic analysis of the chocolate production chain, from bean to bar, demonstrates the superiority of *Saccharomyces cerevisiae* over *Hanseniaspora opuntiae* as functional starter culture during cocoa fermentation. *Food Microbiology*, 109, 104115. 10.1016/j.fm.2022.104115

- Díaz-Valderrama, J. R., Leiva-Espinoza, S. T., & Aime, M. C. (2020). The History of Cacao and Its Diseases in the Americas. *Phytopathology*, 110(10), 1604-1619. 10.1094/PHYTO-05-20-0178-RVW
- Dzelagha, B. F., Ngwa, N. M., & Nde Bup, D. (2020). A Review of Cocoa Drying Technologies and the Effect on Bean Quality Parameters. *International Journal of Food Science*, 2020, 8830127-11. 10.1155/2020/8830127
- Efraim, P., Pezoa-García, N. H., Jardim, D. C. P., Nishikawa, A., Haddad, R., & Eberlin, M. N. (2010). Influência da fermentação e secagem de amêndoas de cacau no teor de compostos fenólicos e na aceitação sensorial. *Ciência E Tecnologia De Alimentos*, 30(suppl 1), 142-150. 10.1590/S0101-20612010000500022
- Escobar, S., Santander, M., Zuluaga, M., Chacón, I., Rodríguez, J., & Vaillant, F. (2021). Fine cocoa beans production: Tracking aroma precursors through a comprehensive analysis of flavor attributes formation. *Food Chemistry*, 365, 130627. 10.1016/j.foodchem.2021.130627
- Fedecacao. (2023). Producción cacaotera presentó una reducción del 10% en 2022 por lluvias. Federación nacional de cacaoteros. <https://www.fedecacao.com.co/post/producci%C3%B3n-cacaotera-present%C3%B3-una-reducci%C3%B3n-del-10-en-2022-por-lluvias>
- Figueroa-Hernández, C., Mota-Gutierrez, J., Ferrocino, I., Hernández-Estrada, Z. J., González-Ríos, O., Cocolin, L., & Suárez-Quiroz, M. L. (2019). The challenges and perspectives of the selection of starter cultures for fermented cocoa beans. *International Journal of Food Microbiology*, 301, 41-50. 10.1016/j.ijfoodmicro.2019.05.002

- Furtado, W. V. d. S., Vaz Júnior, O. A., Veras, A. A. d. O., Gomes de Sá, Pablo Henrique Caracciol, & Antunes, A. M. (2020). Low-cost automation for artificial drying of cocoa beans: A case study in the Amazon. *Drying Technology*, 40(1), 42-49. 10.1080/07373937.2020.1767644
- García-Alamilla, P., Salgado-Cervantes, M. A., Barel, M., Berthomieu, G., Rodríguez-Jimenes, G. C., & García-Alvarado, M. A. (2007). Moisture, acidity and temperature evolution during cacao drying. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1159-1165. 10.1016/j.jfoodeng.2006.04.005
- Guehi, T. S., Zahouli, I. B., Ban-Koffi, L., Fae, M. A., & Nemlin, J. G. (2010). Performance of different drying methods and their effects on the chemical quality attributes of raw cocoa material. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(8), 1564-1571. 10.1111/j.1365-2621.2010.02302.x
- Hii, C. L., Abdul Rahman, R., Jinap, S., & Che Man, Y. B. (2006). Quality of cocoa beans dried using a direct solar dryer at different loadings. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(8), 1237-1243. 10.1002/jsfa.2475
- Hii, C. L., Law, C. L., & Cloke, M. (2009). Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa. *Journal of Food Engineering*, 90(2), 191-198. 10.1016/j.jfoodeng.2008.06.022
- Hii, C. L., Law, C. L., Cloke, M., & Suzannah, S. (2009). Thin layer drying kinetics of cocoa and dried product quality. *Biosystems Engineering*, 102(2), 153-161. 10.1016/j.biosystemseng.2008.10.007

- Hii, C. L., Law, C. L., Cloke, M., & Sharif, S. (2011). Improving Malaysian cocoa quality through the use of dehumidified air under mild drying conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(2), 239-246. 10.1002/jsfa.4176
- Hinne, M., Abotsi, E. E., Van de Walle, D., Tzompa-Sosa, D. A., De Winne, A., Simonis, J., Messens, K., Van Durme, J., Afoakwa, E. O., De Cooman, L., & Dewettinck, K. (2020). Pod storage with roasting: a tool to diversifying the flavor profiles of dark chocolates produced from 'bulk' cocoa beans? (Part II: quality and sensory profiling of chocolates). 10.13210.1016/j.foodres.2020.109116
- Hinne, M., Abotsi, E. E., Van de Walle, D., Tzompa-Sosa, D. A., De Winne, A., Simonis, J., Messens, K., Van Durme, J., Afoakwa, E. O., De Cooman, L., & Dewettinck, K. (2019). Pod storage with roasting: A tool to diversifying the flavor profiles of dark chocolates produced from 'bulk' cocoa beans? (part I: aroma profiling of chocolates). *Food Research International*, 119, 84-98. 10.1016/j.foodres.2019.01.057
- Ho, V. T. T., Zhao, J., & Fleet, G. (2014). Yeasts are essential for cocoa bean fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 174, 72-87. 10.1016/j.ijfoodmicro.2013.12.014
- Huerta-Conde, J. A., Schorr-Galindo, S., Figueroa-Hernández, C., Hernández-Estrada, Z. J., Suárez-Quiroz, M. L., & González-Rios, O. (2021). Isolation of autochthonous microorganisms to formulate a defined inoculum for small-scale cocoa fermentation. *Revista Mexicana De Ingeniería Química*, 20(1), 241-257. 10.24275/rmiq/Bio1869
- Jinap, S., Thien, J., & Yap, T. N. (1994). Effect of drying on acidity and volatile fatty acids content of cocoa beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 65(1), 67-75. 10.1002/jsfa.2740650111

- Kongor, J. E., Hinneh, M., de Walle, D. V., 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. 10.1016/j.foodres.2016.01.012
- Kotey, R., Asomaning Odoom, D., Kumah, P., Oppong Akowuah, J., Fobi Donkor, E., Kwatei Quartey, E., Kofi Sam, E., Owusu-Kwarteng, J., Gyasi Santo, K., Kwami-Adala, F., & Owusu Boateng, D. (2022). Effects of Fermentation Periods and Drying Methods on Postharvest Quality of Cocoa (*Theobroma Cacao*) Beans in Ghana. *Journal of Food Quality*, 2022, 1-14. 10.1155/2022/7871543
- Lasisi, D. (2014). A Comparative Study of Effects of Drying Methods on Quality of Cocoa Beans. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 3(1)
- Lefeber, T., Papalexandratou, Z., Gobert, W., Camu, N., & De Vuyst, L. (2012). On-farm implementation of a starter culture for improved cocoa bean fermentation and its influence on the flavour of chocolates produced thereof. *Food Microbiology*, 30(2), 379-392. 10.1016/j.fm.2011.12.021
- Lemarcq, V., Monterde, V., Tuentner, E., Walle, D. V. d., Pieters, L., Sioriki, E., & Dewettinck, K. (2022). Flavor diversification of dark chocolate produced through microwave roasting of cocoa beans. *Food Science & Technology*, 159, 113198. 10.1016/j.lwt.2022.113198
- Lima, L. J. R., Almeida, M. H., Nout, M. J. R., & Zwietering, M. H. (2011). *Theobroma cacao* L., “The Food of the Gods”: Quality Determinants of Commercial Cocoa Beans, with Particular Reference to the Impact of Fermentation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(8), 731-761. 10.1080/10408391003799913
- Liu, M., Liu, J., He, C., Song, H., Liu, Y., Zhang, Y., Wang, Y., Guo, J., Yang, H., & Su, X. (2017). Characterization and comparison of key aroma-active compounds of cocoa liquors

- from five different areas. *International Journal of Food Properties*, 20(10), 2396-2408.
10.1080/10942912.2016.1238929
- Mayumi, E., Konagano, H., Ferreira, R., Albuquerque Chagas-Junior, C., Da Silva Martins, H., Santos, A., Abreu, M. B., & Ferreira, N. R. (2022). *Cladosporium cladosporioides* starter culture can positively influence flavour and bioactive compounds of fermented and dried cocoa beans from the Amazon biome. *Journal of Food and Nutrition Research*, 61(3)
- Menezes, A. G. T., Batista, N. N., Ramos, C. L., Silva, Adriana Reis de Andrade e, Efraim, P., Pinheiro, A. C. M., & Schwan, R. F. (2016). Investigation of chocolate produced from four different Brazilian varieties of cocoa (*Theobroma cacao* L.) inoculated with *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Research International*, 81, 83-90.
10.1016/j.foodres.2015.12.036
- Moreira, I. M. d. V., Vilela, L. d. F., Santos, C., Lima, N., & Schwan, R. F. (2018). Volatile compounds and protein profiles analyses of fermented cocoa beans and chocolates from different hybrids cultivated in Brazil. *Food Research International*, 109, 196-203.
10.1016/j.foodres.2018.04.012
- Mota-Gutierrez, J., Botta, C., Ferrocino, I., Giordano, M., Bertolino, M., Dolci, P., Cannoni, M., & Cocolin, L. (2018). Dynamics and Biodiversity of Bacterial and Yeast Communities during Fermentation of Cocoa Beans. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(19)10.1128/AEM.01164-18
- Oliveira, M. M., Cerqueira, B. V., Barbon, S., & Barbin, D. F. (2021). Classification of fermented cocoa beans (cut test) using computer vision. *Journal of Food Composition and Analysis*, 97, 103771. 10.1016/j.jfca.2020.103771

- Ooi, T. S., Ting, A. S. Y., & Siow, L. F. (2021). Physicochemical properties, antioxidant content, volatile organic compounds and sensory profile of cocoa beans fermented with yeast starter cultures. Hindawi Limited. 10.1111/jfpp.15893
- Perea Villamil, J. A. (2019). El cacao desde la ciencia: de la semilla al chocolate. Ediciones UIS.
- Pereira, G. V., Da Cruz Pedrozo Miguel, Maria Gabriela, Ramos, C. L., & Schwan, R. F. (2012). Microbiological and Physicochemical Characterization of Small-Scale Cocoa Fermentations and Screening of Yeast and Bacterial Strains To Develop a Defined Starter Culture. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(15), 5395-5405. 10.1128/AEM.01144-12
- Pereira, G., Alvarez, J., Neto, D. P. d. C., Soccol, V. T., Tanobe, V. O. A., Rogez, H., Góes-Neto, A., & Soccol, C. R. (2017). Great intraspecies diversity of *Pichia kudriavzevii* in cocoa fermentation highlights the importance of yeast strain selection for flavor modulation of cocoa beans. *Food Science & Technology*, 84, 290-297. 10.1016/j.lwt.2017.05.073
- Ramos, C. L., Dias, D. R., Miguel, Maria Gabriela da Cruz Pedrozo, & Schwan, R. F. (2014). Impact of different cocoa hybrids (*Theobroma cacao* L.) and *S. cerevisiae* UFLA CA11 inoculation on microbial communities and volatile compounds of cocoa fermentation. *Food Research International*, 64, 908-918. 10.1016/j.foodres.2014.08.033
- Robledo Giraldo, S., Osorio Zuluaga, G. A., & López Espinosa, C. (2014). Networking en pequeña empresa: una revisión bibliográfica utilizando la teoría de grafos. *Revista Vínculos*, 11(2), 6-16. <https://doi.org/10.14483/2322939X.9664>
- 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

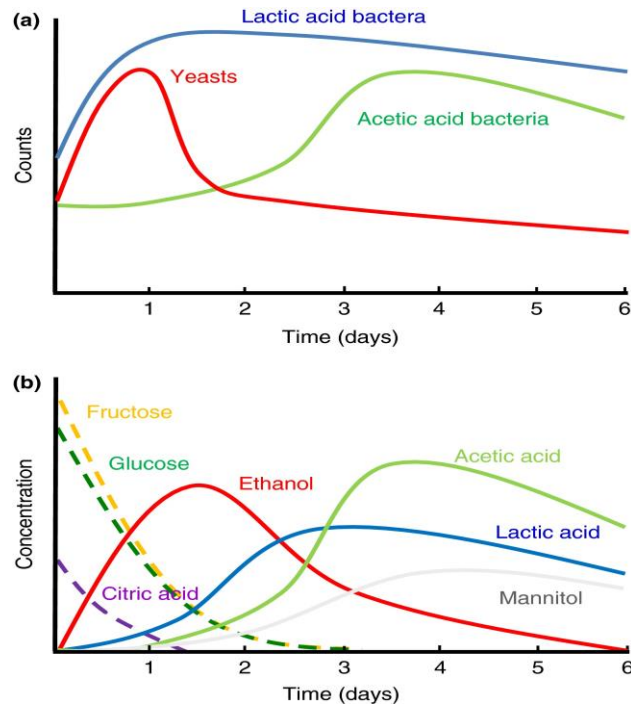
- temperature on volatile compounds in cocoa. *Food Chemistry*, 132(1), 277-288.
10.1016/j.foodchem.2011.10.078
- Rojas, M., Hommes, A., Heeres, H. J., & Chejne, F. (2022). Physicochemical Phenomena in the Roasting of Cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Food Engineering Reviews*, 14(3), 509-533.
10.1007/s12393-021-09301-z
- Romanens, E., Näf, R., Lobmaier, T., Pedan, V., Leischtfeld, S. F., Meile, L., & Schwenninger, S. M. (2018). A lab-scale model system for cocoa bean fermentation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(7), 3349-3362. 10.1007/s00253-018-8835-6
- Romanens, E., Pedan, V., Meile, L., & Miescher Schwenninger, S. (2020). Influence of two anti-fungal *Lactobacillus fermentum*-*Saccharomyces cerevisiae* co-cultures on cocoa bean fermentation and final bean quality. *PloS One*, 15(10), e0239365.
10.1371/journal.pone.0239365
- Rottiers, H., Tzompa Sosa, D. A., Lemarcq, V., De Winne, A., De Wever, J., Everaert, H., Bonilla Jaime, J. A., Dewettinck, K., & Messens, K. (2019). A multipronged flavor comparison of Ecuadorian CCN51 and Nacional cocoa cultivars. *European Food Research & Technology*, 245(11), 2459-2478. 10.1007/s00217-019-03364-3
- Sandhya, M. V. S., Yallappa, B. S., Varadaraj, M. C., Puranaik, J., Rao, L. J., Janardhan, P., & Murthy, P. S. (2016). Inoculum of the starter consortia and interactive metabolic process in enhancing quality of cocoa bean (*Theobroma cacao*) fermentation. *Food Science & Technology*, 65, 731-738. 10.1016/j.lwt.2015.09.002
- Santander Muñoz, M., Rodríguez Cortina, J., Vaillant, F. E., & Escobar Parra, S. (2020). An overview of the physical and biochemical transformation of cocoa seeds to beans and to

- chocolate: Flavor formation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(10), 1593-1613. 10.1080/10408398.2019.1581726
- Santhanam, A., Hii, C. L., Law, C. L., Shariff, S., & Djaeni, M. (2017). Effects of drying on the production of polyphenol-rich cocoa beans. *Drying Technology*, 35(15), 1799-1806. 10.1080/07373937.2016.1276072
- Santos, D. S., Rezende, R. P., Santos, T. F. d., Marques, E. d. L. S., Ferreira, A. C. R., Silva, Adriana Barros de Cerqueira e, Romano, C. C., Santos, D. W. d. C., Dias, J. C. T., & Tavares Bisneto, J. D. (2020). Fermentation in fine cocoa type Scavina: Change in standard quality as the effect of use of starters yeast in fermentation. *Food Chemistry*, 328, 127110. 10.1016/j.foodchem.2020.127110
- Saunshi, Y. B., Sandhya, M. V. S., Rastogi, N. K., & Murthy, P. S. (2020). Starter consortia for on-farm cocoa fermentation and their quality attributes. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 50(3), 272-280. 10.1080/10826068.2019.1689508
- Schwan, R. F., & Wheals, A. E. (2004). microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(4), 205-221. 10.1080/10408690490464104
- Torres-Moreno, M., Tarrega, A., & Blanch, C. (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. 10.1080/19476337.2020.1860137
- Valencia-Hernandez, D. S., Robledo, S., Pinilla, R., Duque-Méndez, N. D., & Olivar-Tost, G. (2020). SAP Algorithm for Citation Analysis: An improvement to Tree of Science. *Ingeniería E Investigación*, 40(1), 45-49. 10.15446/ing.investig.v40n1.77718

- Viesser, J. A., de Melo Pereira, G. V., de Carvalho Neto, D. P., Rogez, H., Góes-Neto, A., Azevedo, V., Brenig, B., Aburjaile, F., & Soccol, C. R. (2021). Co-culturing fructophilic lactic acid bacteria and yeast enhanced sugar metabolism and aroma formation during cocoa beans fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 339, 109015. 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.109015
- Visintin, S., Ramos, L., Batista, N., Dolci, P., Schwan, F., & Cocolin, L. (2017). Impact of *Saccharomyces cerevisiae* and *Torulaspota delbrueckii* starter cultures on cocoa beans fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 257, 31-40. 10.1016/j.ijfoodmicro.2017.06.004
- Zuluaga, M., Robledo, S., Arbelaez-Echeverri, O., Osorio-Zuluaga, G. A., & Duque-Méndez, N. (2022). Tree of Science - ToS: A Web-Based Tool for Scientific Literature Recommendation. Search Less, Research More. *Issues in Science and Technology Librarianship*, (100)10.29173/istl2696
- Zuluaga, M., Robledo, S., Osorio-Zuluaga, G. A., Yathe, L., Gonzalez, D., & Taborda, G. (2016). Metabolomics and pesticides: systematic literature review using graph theory for analysis of references *Metabolómica y Pesticidas: Revisión sistemática de literatura usando teoría de grafos para el análisis de referencias*. *Nova*, 14(25), 121-138. <https://doi.org/10.22490/24629448.1735>
- Żyżelewicz, D., Budryn, G., Oracz, J., Antolak, H., Kręgiel, D., & Kaczmarska, M. (2018). The effect on bioactive components and characteristics of chocolate by functionalization with raw cocoa beans. *Food Research International*, 113(C), 234-244. 10.1016/j.foodres.2018.07.017

Apéndices

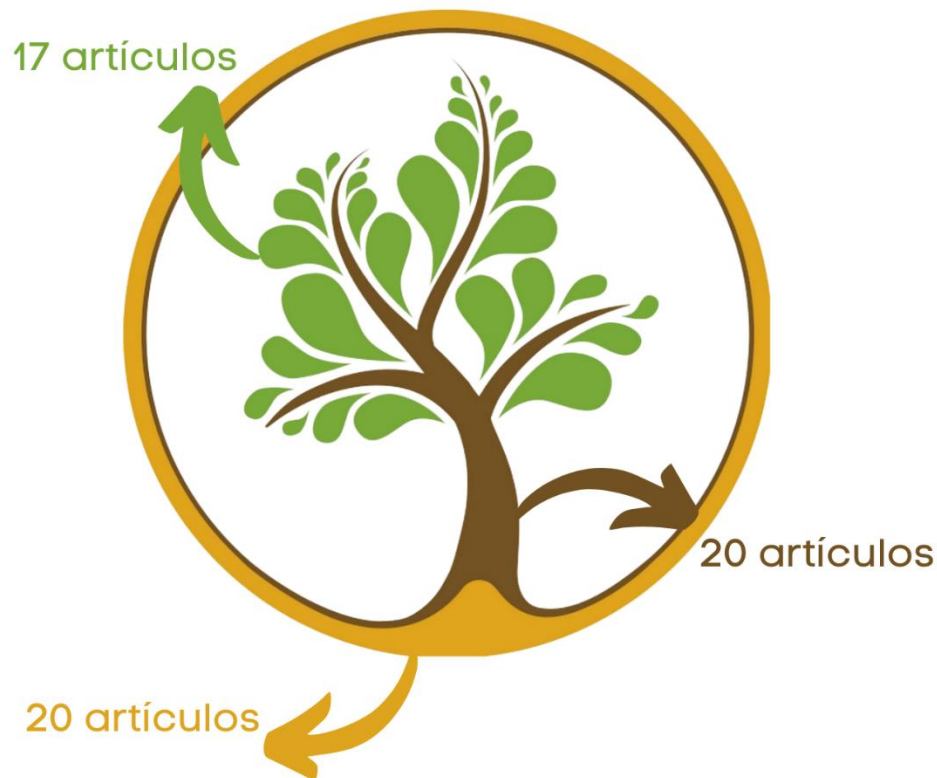
Apéndice A. Dinámica poblacional (a), Degradación de sustrato y producción de metabolitos de una fermentación espontánea de cacao (b).



Nota. Tomado de: (De Vuyst & Weckx, 2016).

Apéndice B. Representación gráfica del árbol Tree of Science para las 7 ecuaciones de búsqueda.

Tree of science ecuación de búsqueda (1)



Raíz

- The Microbiology of Cocoa Fermentation and its Role in Chocolate Quality. Schwan RF. (2004)
- Theobroma cacao L, "The Food of the Gods": Quality Determinants of Commercial Cocoa Beans, with Particular Reference to the Impact of Fermentation. Lima . (2011)

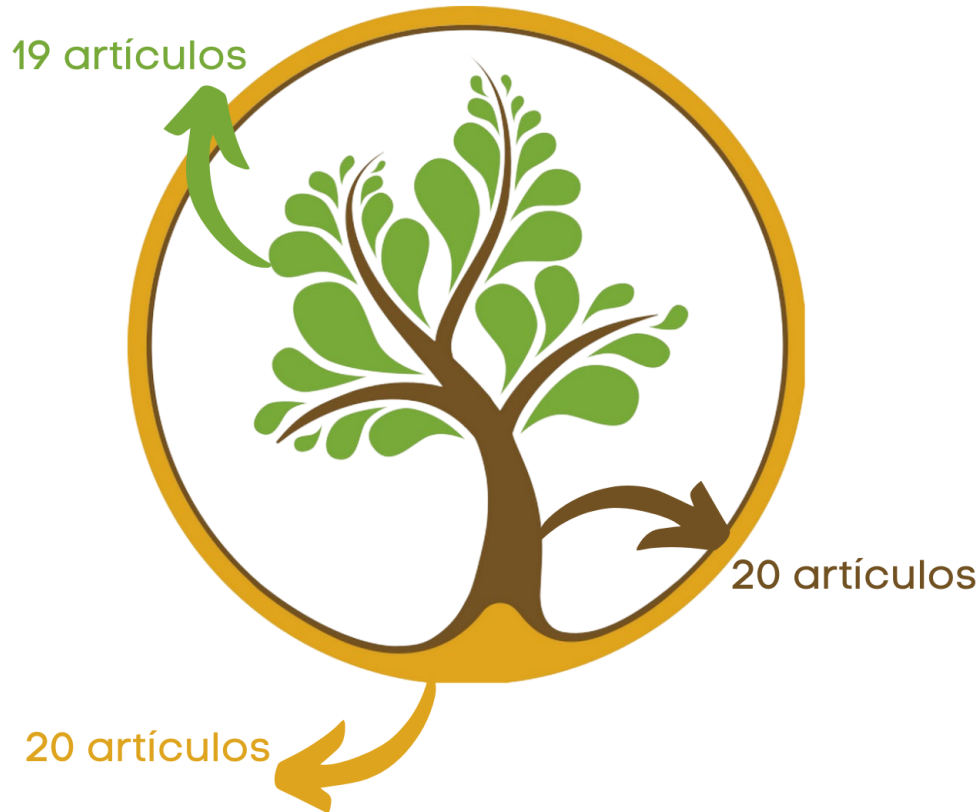
Tronco

- The cocoa bean fermentation process: from ecosystem analysis to starter culture development. De Vuyst L. (2016)
- The challenges and perspectives of the selection of starter cultures for fermented cocoa beans. Figueroa-Hernandez C. (2019)

Hojas

- Isolation of autochthonous microorganisms to formulate a defined inoculum for small-scale cocoa fermentation. Huerta-Conde, JA. (2021)
- An in-depth multiphasic analysis of the chocolate production chain, from bean to bar, demonstrates the superiority of *Saccharomyces cerevisiae* over *Hanseniaspora opuntiae* as functional starter culture during cocoa fermentation. Diaz-Muñoz, C. (2023)

Tree of science ecuación de búsqueda (2)



Raíz

- Microbial succession and the dynamics of metabolites and sugars during the fermentation of three different cocoa (*Theobroma cacao* L.) hybrids. Moreira IMD. (2013)
- Inoculum of the starter consortia and interactive metabolic process in enhancing quality of cocoa bean (*Theobroma cacao*) fermentation. Sandhya MVS. (2016)

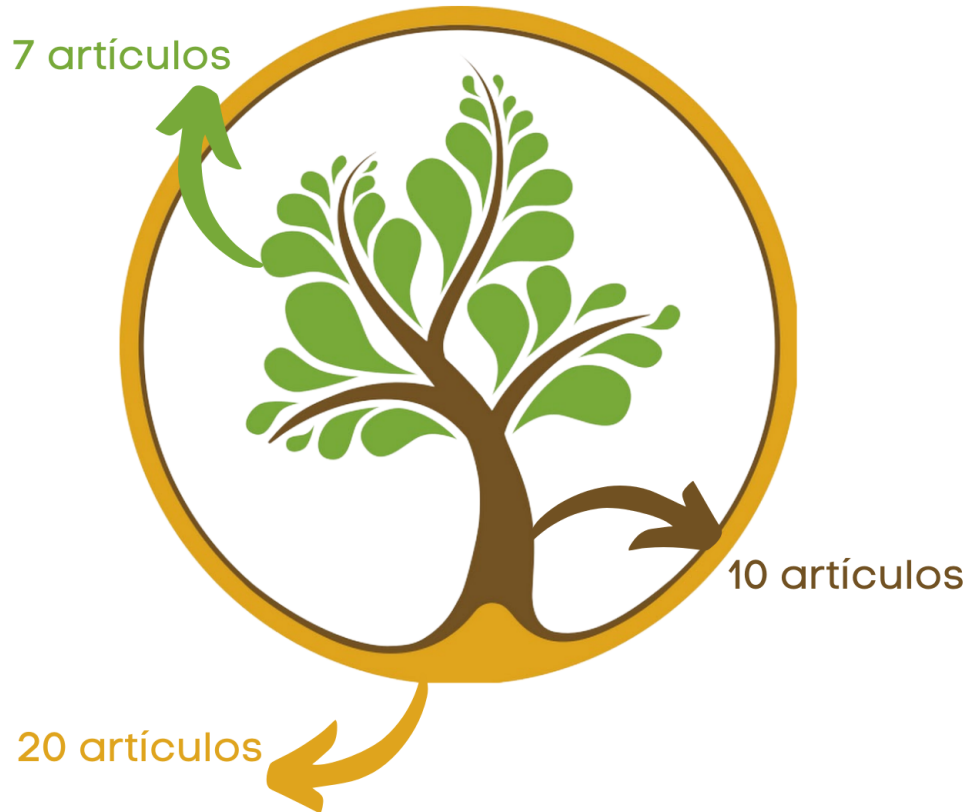
Tronco

- Great intraspecies diversity of *Pichia kudriavzevii* in cocoa fermentation highlights the importance of yeast strain selection for flavor modulation of cocoa beans. Pereira GVM. (2017)
- Curing of Cocoa Beans: Fine-Scale Monitoring of the Starter Cultures Applied and Metabolomics of the Fermentation and Drying Steps. Diaz-Muñoz, C. (2021)

Hojas

- Screening Wild Yeast Isolated from Cocoa Bean Fermentation Using Volatile Compounds Profile. Sandoval-Lozano, CJ. (2022)
- Physicochemical properties, antioxidant content, volatile organic compounds and sensory profile of cocoa beans fermented with yeast starter cultures. Ooi, TS. (2021)

Tree of science ecuación de búsqueda (3)



Raíz

- Dynamic behavior of *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia kluyveri* and *Hanseniaspora uvarum* during spontaneous and inoculated cocoa fermentations and their effect on sensory characteristics of chocolate. Batista NN. (2015)
- Dynamics and Biodiversity of Bacterial and Yeast Communities during Fermentation of Cocoa Beans. Mota-Gutierrez J. (2018)

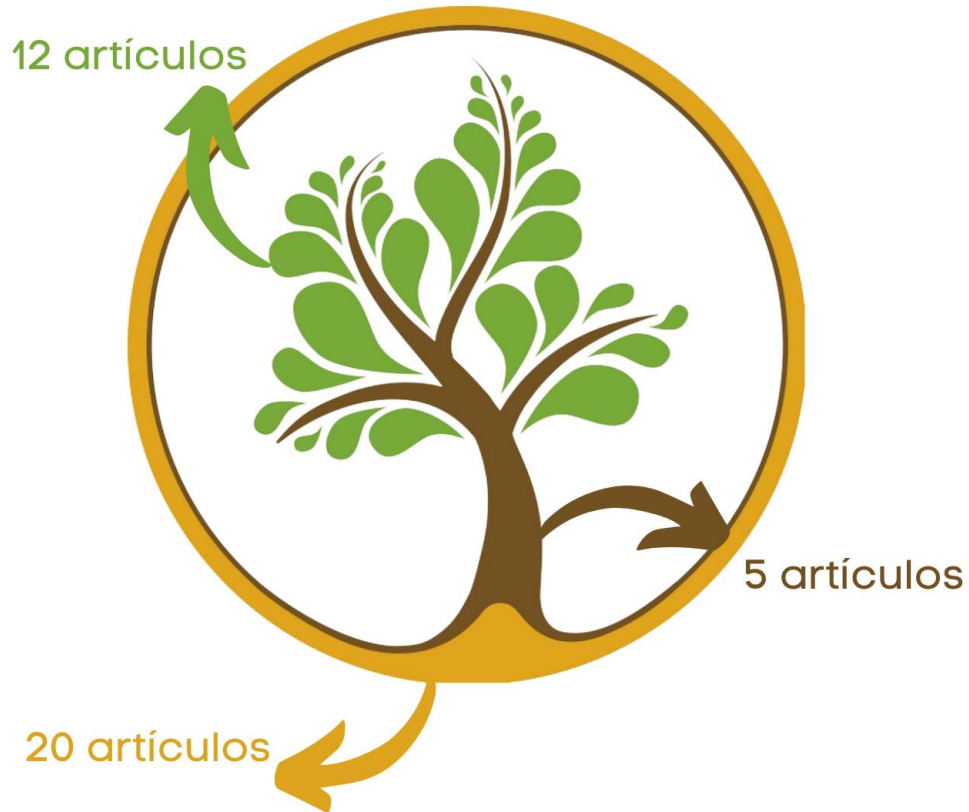
Tronco

- Impact of *Saccharomyces cerevisiae* and *Torulasporea delbrueckii* starter cultures on cocoa beans fermentation. Visintin S. (2017)
- Starter consortia for on-farm cocoa fermentation and their quality attributes. Saunshi YB. (2020)

Hojas

- Sensory evaluation of chocolate bar production materials of dry cocoa seeds in various fermentation treatments. Nurhayati, N. (2021)
- *Saccharomyces cerevisiae* and *Pichia manshurica* from Amazonian biome affect the parameters of quality and aromatic profile of fermented and dried cocoa beans. Ferreira, OD. (2022)

Tree of science ecuación de búsqueda (4)



Raíz

- Changes in Key Aroma Compounds of Criollo Cocoa Beans During Roasting. Frauendorfer F. (2008)
- Cocoa and health: a decade of research. Cooper KA. (2008)

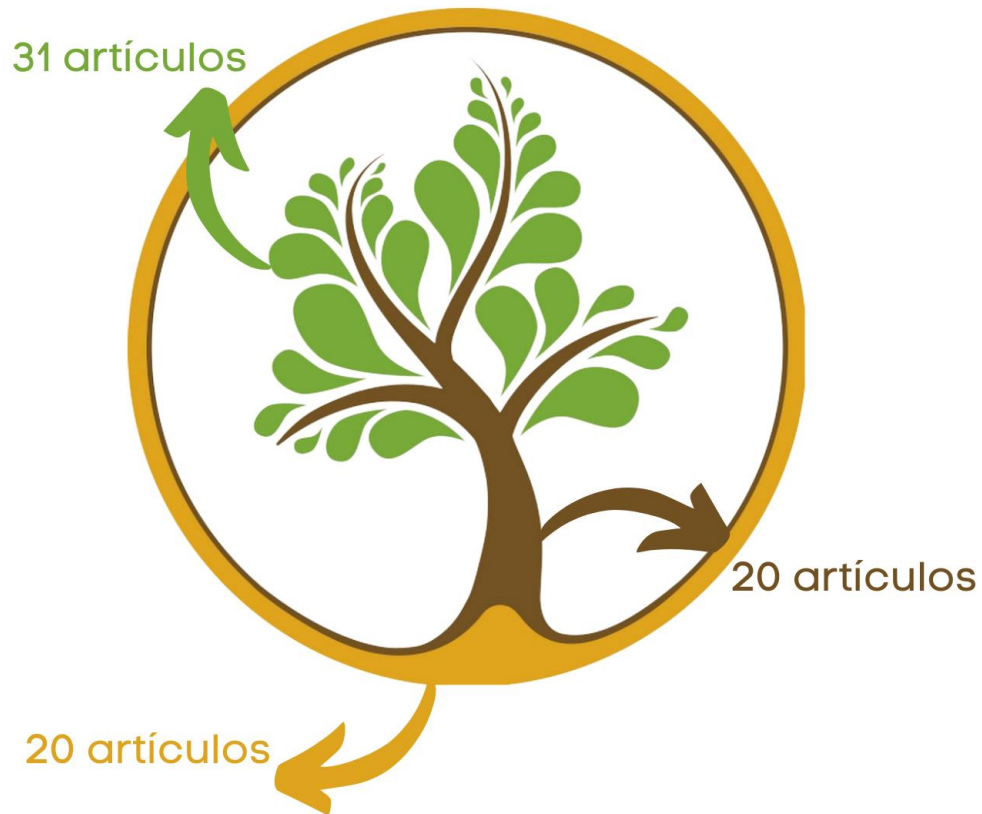
Tronco

- Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa. Hii, CL (2009)
- Influence of cocoa beans fermentation and drying on the polyphenol content and sensory acceptance. Efraim P. (2010)

Hojas

- Effect of fermentation time and drying temperature on volatile compounds in cocoa. Rodriguez-Campos, J. (2012)
- Effects of Fermentation Periods and Drying Methods on Postharvest Quality of Cocoa (Theobroma Cacao) Beans in Ghana. Kotey, RN. (2022)

Tree of science ecuación de búsqueda (5)



Raíz

- Effect of drying on acidity and volatile fatty acids content of cocoa beans. Jinap (1994)
- Dynamics and species diversity of communities of lactic acid bacteria and acetic acid bacteria during spontaneous cocoa bean fermentation in vessels. Lefeber T. (2011)

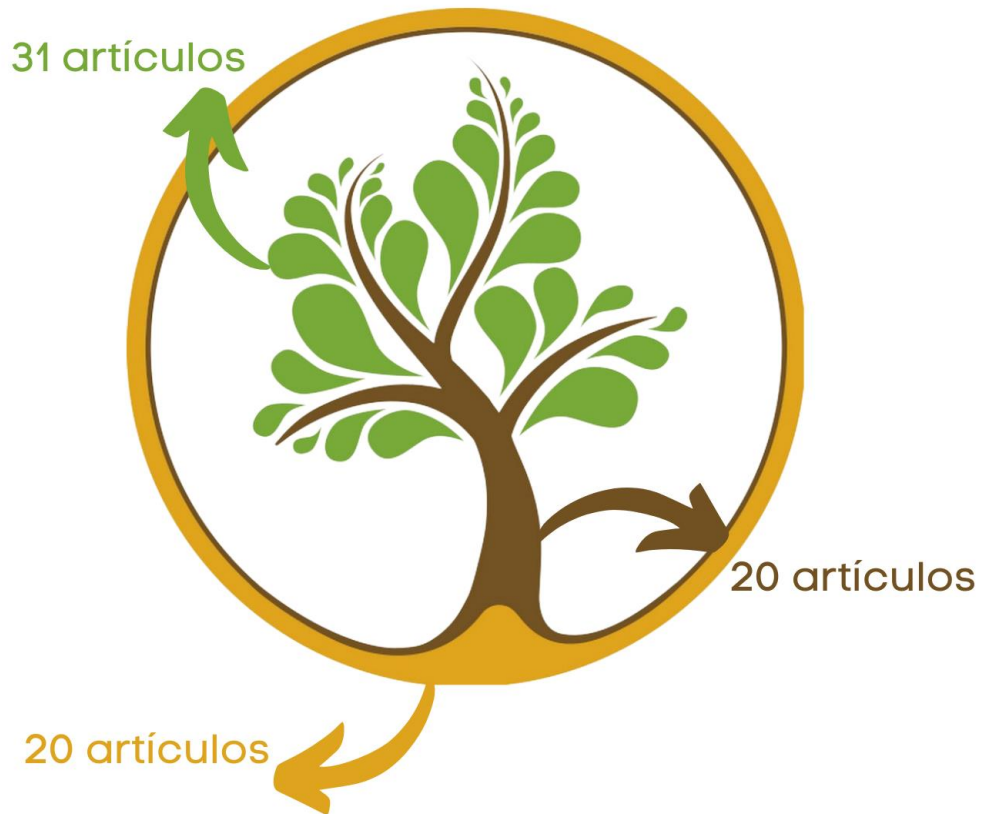
Tronco

- A lab-scale model system for cocoa bean fermentation. Romanens E. (2018)
- Physicochemical Phenomena in the Roasting of Cocoa (*Theobroma cacao* L.). Rojas M. (2022)

Hojas

- A Review of Cocoa Drying Technologies and the Effect on Bean Quality Parameters. Dzelagha (2020)
- Effects of drying on the production of polyphenol-rich cocoa beans. Menon (2017)

Tree of science ecuación de búsqueda (6)



Raíz

- Flavor Chemistry of Cocoa and Cocoa Products—An Overview. Aprotosoaie AC. (2016)
- Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile — A review. Kongor JE (2016)

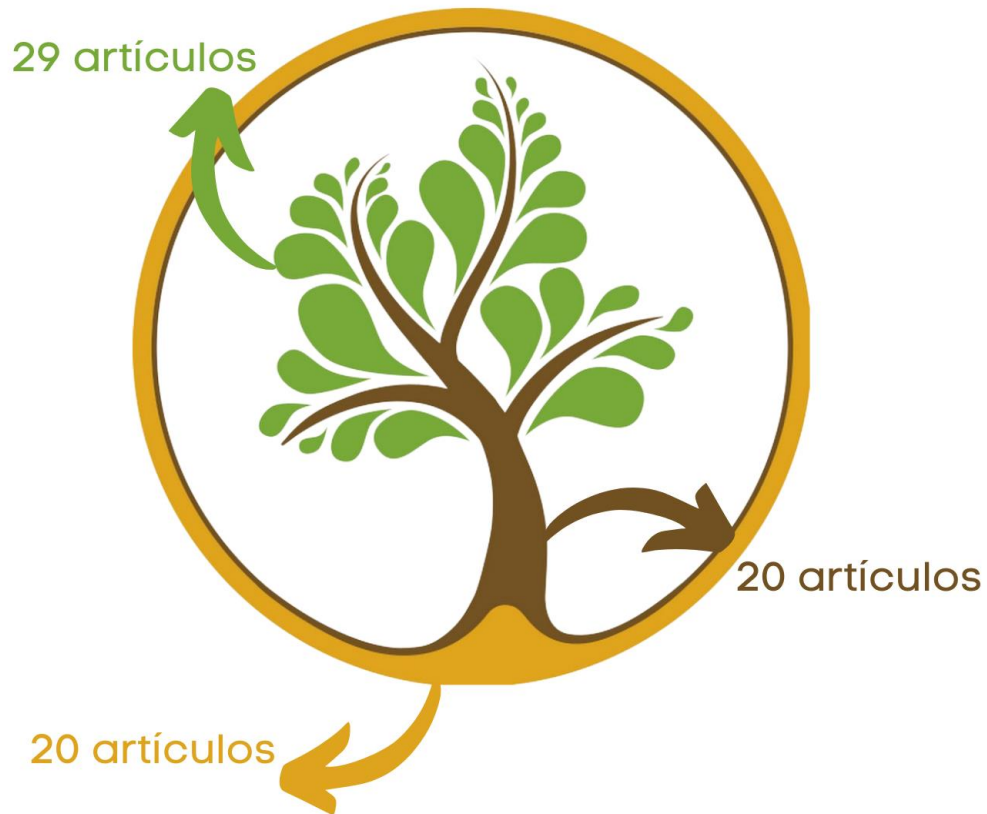
Tronco

- Impact of different cocoa hybrids (*Theobroma cacao* L.) and *S. cerevisiae* UFLA CA11 inoculation on microbial communities and volatile compounds of cocoa fermentation. Ramos CL (2014)
- Profile of Volatile Compounds of On-Farm Fermented and Dried Cocoa Beans Inoculated with *Saccharomyces cerevisiae* KY794742 and *Pichia kudriavzevii* KY794725. Chagas (2021)

Hojas

- *Cladosporium cladosporioides* starter culture can positively influence flavour and bioactive compounds of fermented and dried cocoa beans from the Amazon biome. Konagano (2022)
- Physicochemical and organoleptic profile of the native fine aroma cocoa from northeastern area of Peru. Alvarez Gutierrez (2022)

Tree of science ecuación de búsqueda (7)



Raíz

- Relationship between Procyanidin and Flavor Contents of Cocoa Liquors from Different Origins. Counet C (2004)
- Flavor Formation and Character in Cocoa and Chocolate: A Critical Review. Afoakwa (2008)

Tronco

- Characterization and comparison of key aroma-active compounds of cocoa liquors from five different areas. Liu, MY (2017)
- A multipronged flavor comparison of Ecuadorian CCN51 and Nacional cocoa cultivars. Rottiers H. (2019)

Hojas

- Pod storage with roasting: A tool to diversifying the flavor profiles of dark chocolates produced from 'bulk' cocoa beans? (Part II: Quality and sensory profiling of chocolates). Hinneh, M. (2020)
- Classification of fermented cocoa beans (cut test) using computer vision. Oliveira (2021)

Apéndice C. Imagen de la prueba de corte



Nota. Tomado de: (Oliveira et al., 2021).

Apéndice D. Muestra de granos bien fermentados (A), Muestra de granos insuficientemente fermentados (B), Muestra de granos sin fermentar o pizarrosos (C), Muestra de granos mohosos (D).



A



B



C



D

Nota. Tomado de: Compañía Nacional de Chocolates S.A.S. (2017).

Apéndice E. Representación gráfica de la rueda del sabor.



Nota. Tomado de: (Cacao of excellence, s.f.)

Apéndice F. Estado del arte.

FERMENTACIÓN		
Título: Comportamiento dinámico de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Pichia kluyveri</i> y <i>Hanseniaspora uvarum</i> durante fermentaciones espontáneas e inoculadas de cacao y su efecto sobre las características sensoriales de chocolate.	Autores: Nadia Nara Batista, Cintia Lacerda Ramos, Disney Diaz Ribeiro, Ana Carla Marques Pinheiro, Rosane Freitas Schwan	
	Año	Institución
	2015	Universidad Federal de Lavras, Brasil
<p>Descripción: Se investigó la dinámica de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> UFLA CA11, <i>Pichia kluyveri</i> UFLA YCH194 y <i>Hanseniaspora uvarum</i> UFLA YCH203 durante la fermentación inoculada y espontánea de cacao, evaluando las características sensoriales del chocolate. Las fermentaciones duraron aproximadamente 7 días, se utilizaron 100 kg de granos de cacao y el cultivo iniciador alcanzó una concentración de 1×10^7 células/g de cacao. Dicho cultivo aceleró el consumo de carbohidratos y; por lo tanto, se observaron las concentraciones más altas de etanol alcanzando el pico de producción alrededor de 8 g/kg entre 48 y 72 horas, debido a la presencia de <i>S. cerevisiae</i> que acelera el proceso de fermentación. Cabe resaltar que se esperaba mayor concentración de ácido acético en la fermentación inoculada, sin embargo, ésta fue similar para las 2 fermentaciones, lo que puede ser ocasionado por la alta temperatura de la masa de fermentación que favorece la evaporación del etanol. Se llegó a la conclusión que la inoculación con levaduras produjo chocolate con notas agrias y de café más fuertes que el chocolate producido por la fermentación espontánea.</p>		
SECADO		
Título: Cinética de secado en capa fina del cacao y calidad del producto seco.	Autores: C.L. Hii, C.L. Law, M. Cloke, S. Suzannah	
	Año	Institución
	2009	Universidad de Nottingham, Malasia
<p>Descripción: Se comparó la calidad de los granos secos producidos a partir del secado al sol y al aire caliente artificial. Los ensayos de secado se realizaron en capa delgada usando luz solar natural y por aire caliente dentro de un horno ventilado con aire a temperaturas de 60 °C, 70 °C y 80 °C. También se hizo una comparación con granos de cacao liofilizados que se secaron a -30 °C durante 24 h (secado principal) y a -50 °C durante 6 h (secado final) y así evaluar la calidad. Los atributos de calidad evaluados fueron el color, textura y contenido de polifenoles. Los autores concluyeron que el tiempo de secado fue mayor en el secado al sol debido a la menor temperatura de secado, que fluctuó de acuerdo con las condiciones ambientales; por otra parte, los análisis de color no mostraron diferencias significativas entre las muestras secadas al sol y en horno, pero los granos liofilizados mostraron valores altos de brillo. Los análisis estadísticos demostraron que las muestras</p>		

secadas al horno tuvieron valores de dureza más altos que las que fueron secadas al sol, esto podría deberse a que la cáscara se observó arrugada y pegada al cotiledón, por otro lado, la fracturabilidad fue más alta en las muestras secadas al horno a 60° C. Cabe resaltar que los granos liofilizados presentaron los valores más bajos de dureza y fracturabilidad ya que el producto tiende a ser poroso y frágil. Finalmente, los análisis de polifenoles no mostraron diferencias significativas entre las muestras secadas al horno, sin embargo, en el secado al sol se mostraron los contenidos más bajos de polifenoles debido a la mayor duración de secado a temperatura ambiente.

EVALUACIÓN DE CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL

Título: Comparación del sabor de los cultivos de cacao ecuatoriano CCN51 y Nacional	Autores: Hayley Rottiers, Daylan Amelia Tzompa Sosa, Valérie Lemarcq, Ann De Winne, Jocelyn De Wever, Helena Everaert, Julio Andrés Bonilla Jaime, Koen Dowettinck, Kathy Messens	
	Año	Institución
	2019	Universidad de Gante, Bélgica

Descripción: Se caracterizó y comparó el perfil de sabor de diferentes híbridos nacional (EET103, EET559, EET576 y EET577) y CCN51, y así evaluar el efecto del genotipo. Los granos secos fermentados se procesaron en licor y sus propiedades sensoriales y la composición volátil fueron analizadas por panelistas capacitados y cromatografía de gases de microextracción en fase sólida con espacio de cabeza y espectrometría de masas (HS-SPME-GC-MS), por otro lado, se evaluaron unos parámetros de calidad como el recuento de granos, índice de fermentación y prueba de corte. Se identificaron y semicuantificaron 70 volátiles, entre ellos, 16 y 14 volátiles que confieren notas aromáticas frutales y florales, respectivamente. La variedad CCN51 se caracterizó principalmente por volátiles activos con olor indeseables, mientras que los híbridos EET contenían la mayor concentración de la mayoría de los volátiles florales y frutales. Los datos sensoriales destacaron las diferencias organolépticas entre los licores finos y a granel, es decir, el sabor ácido y afrutado de EET difería mucho de los atributos de sabor amargo, astringente y desagradable de CCN51. El índice de fermentación de las diferentes variedades de cacao osciló entre 1,33 y 1,36, confirmando que todos los granos estaban totalmente fermentados, a pesar de la menor proporción de granos marrones de CCN51, acorde con la prueba de corte calculada que fue significativamente más baja para CCN51 que para los híbridos EET.

Apéndice G. Artículos utilizados para el análisis de fermentación.

Autor	Variedad de cacao	Método de fermentación	Microorganismos utilizados como cultivo iniciador	Rampa de temperatura, toma de muestras	Efecto sobre la fermentación
(Lefeber et al., 2012)	Trinitario	4 montones de 130 kg	<p><i>Lactobacillus fermentum 222:</i> Convertidor de ácido cítrico, productor de manitol y 2,3-butanodiol. <i>Acetobacter pasteurianus 386B:</i> Oxidante de etanol, ácido láctico y productor de ácido acético.</p>	No hay rampa de temperatura. Toma de muestras cada 0, 24, 48, 72 y 96 h.	<p>Proceso de fermentación más rápido en comparación con F. espontáneas. Mayor conversión de ácido cítrico y producción de ácido láctico. Diferencias en las concentraciones de metabolitos producidos en la pulpa, debido a las diferencias en las comunidades de levadura y el impacto de éstas a lo largo de la fermentación.</p>
		3 montones de 130 kg			
		500 kg en cajas de madera			
		500 kg en cajas de madera	<p><i>Saccharomyces cerevisiae H5S5K23:</i> Tolerante al etanol y no convertidor de ácido cítrico. <i>Lactobacillus fermentum 222:</i> Convertidor de ácido cítrico, productor de manitol y 2,3-butanodiol. <i>Acetobacter pasteurianus 386B:</i> Oxidante de etanol, ácido láctico y productor de ácido acético.</p>		<p>La adición de la levadura permitió una producción consistente de etanol y ácido acético.</p>
		3 montones de 150 kg			

(Crafack et al., 2013)	Forastero	20 kg en Cajas de plástico	<p><i>Pichia kluyveri</i>: Levadura altamente aromática. <i>Lactobacillus fermentum</i> L18: No se especifica. <i>Acetobacter pasteurianus</i> A149: No se especifica</p> <p><i>Kluyveromyces marxianus</i> KM16-6: Levadura con actividad pectinolítica. <i>Lactobacillus fermentum</i> L18: No se especifica. <i>Acetobacter pasteurianus</i> A149: No se especifica.</p>	No hay rampa de temperatura. Toma de muestras cada 12 h durante 3 días y cada 24 h hasta el día 5.	Consumo más rápido de carbohidratos.
(Ramos et al., 2014)	Trinitario	Cajas de madera con 60 kg	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> UFLA CA11: Aroma y sabor del chocolate	No hay rampa de temperatura. Toma de muestras cada 0, 12, 36, 60, 84, 108, 132 y 156 h.	Aceleró el proceso de fermentación, ya que los carbohidratos se metabolizaron más rápido. Mayor producción de etanol.
(Batista et al., 2015)	Trinitario	Cajas de madera con 100 kg de cacao	<p><i>Saccharomyces cerevisiae</i>: Acelera proceso de fermentación.</p> <p><i>Hanseniaspora uvarum</i> y <i>Pichia kluyveri</i>: Se caracterizan por su tolerancia al estrés.</p>	No hay rampa de temperatura. Toma de muestra cada 0, 24, 48, 72, 96, 120, 144 y 168 h.	Los carbohidratos se consumieron rápidamente. Mayor concentración de etanol.
(Batista et al., 2016)	Trinitario	Cajas de madera con 100 kg de cacao	<p><i>Saccharomyces cerevisiae</i>: Acelera proceso de fermentación.</p> <p><i>Hanseniaspora uvarum</i> y <i>Pichia kluyveri</i> se caracterizan por su tolerancia al estrés.</p>	No hay rampa de temperatura. Toma de muestras cada 0, 24, 48, 72, 96, 120, 144 y 168 h.	Alta concentración de ésteres. La inoculación afectó los perfiles de compuestos volátiles y sus concentraciones relativas. Inhibición de BAL.

(Sandhya et al., 2016)	Forastero	Cajas de madera con 10 kg de cacao	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> y <i>Acetobacter aceti</i> : Utilizados como consorcios iniciadores en niveles apropiados permitieron una fermentación acelerada de los granos de cacao frente a la fermentación natural.	No hay rampa de temperatura. Toma de muestras cada 0, 24, 48, 72, 96, 120, 144 y 168 h.	Consumo rápido de azúcares, mayor producción de alcohol, ácido acético y ácido láctico. Degradación mejorada de antocianinas y polifenoles.
(Pereira et al., 2017)	N/A	400 g de cacao en un erlenmeyer de 1 L	<i>Pichia kudriavzevii</i> LPB06 y LPB07: Capacidad para producir compuestos aromáticos volátiles.	Rampa de Temperatura: 28 °C a las 0 h, 30 °C a las 12 h, 32 °C a las 24 h, 35 °C a las 36 h, 38 °C a las 48 h, 42 °C a las 60 h, 46 °C a las 72 h y 48 °C a las 84 h, 96 h, 108 h, 120 h, 132 h y 144 h. Toma de muestras diariamente.	Proceso de fermentación más acelerado. Eficiente metabolismo de azúcares y formación de etanol. Mayor número de COV detectados.
(Visintin et al., 2017)	Trinitario	Cajas de madera con 300 kg de granos de cacao	<i>Torulaspora delbrueckii</i> : Tiene actividades enzimáticas que pueden tener un impacto importante en el perfil de aroma del chocolate.	No hay rampa de temperatura. Toma de muestras cada 0, 24, 48, 72, 96, 120, 144 y 168 h.	Mayores compuestos de aldehídos y cetonas. Aumento de temperatura lento.
			<i>Saccharomyces cerevisiae</i> : Resistencia a temperatura, pH, etanol. Se usa la mezcla de <i>S. cerevisiae</i> y <i>T. delbrueckii</i> .		Rápido consumo de carbohidratos y ácido cítrico. Aceleró el aumento de temperatura y pH.
(Mota-Gutierrez et al., 2018)	Trinitario	Cajas de madera con 200 kg y montones de 100 kg	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> ID67	No hay rampa de temperatura. Toma de muestras cada 0, 48, 96, y 120 h.	Sin diferencias significativas en los metabolitos medidos según la inoculación.

	Trinitario	Cajas de madera con 200 kg y montones de 100 kg	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> ID67 y <i>Torulaspora delbrueckii</i> ID103: Las cepas se eligieron según el estudio hecho por Visintin (2017)		
(Saunshi et al., 2020)	Forastero	Cajas de madera con 50 kg de cacao	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>, <i>Lactobacillus plantarum</i> y <i>Acetobacter aceti</i>: Las cepas se caracterizan por fácil adaptación a la materia prima, desarrollo de calidad sensorial, prolongación de la vida útil, minimización del tiempo de procesamiento, inhibición de patógenos relacionados con los alimentos y propiedades no toxigénicas.	No hay rampa de temperatura. Toma de muestras cada 0, 24 y 72 h.	Proceso de fermentación más rápido. Diferencias en los parámetros fisicoquímicos y concentraciones de alcohol, polifenoles y antocianinas en granos fermentados.
(Romanens et al., 2020)	Mezcla de trinitario y forastero	Cajas de madera con 180 kg	<i>Lactobacillus fermentum</i> 223 y <i>Saccharomyces cerevisiae</i> H290: Cepas con actividad antifúngica contra hongos filamentosos, tolerancia al estrés por calor y metabolitos.	No hay rampa de temperatura. Toma de muestras a la hora 0 y después cada 24 h.	Proceso de fermentación más lento, menor cantidad de granos bien fermentados. Niveles más bajos de O ₂ en la pulpa lo que afectó la actividad de AAB. Degradación más lenta de la pulpa.
(Santos et al., 2020)	Trinitario	Cajas de madera con 45 kg	<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>: Cepa seleccionada para mejorar la calidad de los granos de cacao.	No hay rampa de temperatura. Toma de muestras cada 0, 12, 24, 36, 48, 60, 72, 84, 96, 108, 120 h. La fermentación duró 144 h.	Generó granos secos y con pH más bajo.
			<i>Torulaspora delbrueckii</i>: Cepa seleccionada para mejorar la calidad de los granos de cacao.		Granos con menor acidez. Estas cepas acumularon la mayor

			<p><i>Candida parapsilosis</i>: Cepa seleccionada para mejorar la calidad de los granos de cacao.</p> <p><i>Pichia Kluyveri</i>: Cepa seleccionada para mejorar la calidad de los granos de cacao.</p> <p><i>Pichia galeiformis</i>: Cepa seleccionada para mejorar la calidad de los granos de cacao.</p> <p><i>Issatchenkia orientalis</i>: Cepa seleccionada para mejorar la calidad de los granos de cacao.</p> <p><i>Saccharomyces cerevisiae</i>: Cepa seleccionada para mejorar la calidad de los granos de cacao.</p> <p><i>Pichia membranifaciens</i>: Cepa seleccionada para mejorar la calidad de los granos de cacao.</p>		<p>cantidad de cambios fisicoquímicos, observados en aminoácidos libres, acidez titulable y análisis de azúcares reductores, que son relevantes para el sabor.</p> <p>Aumento de las concentraciones de aminoácidos libres. Mayor porcentaje de granos marrones.</p> <p>Menores concentraciones de azúcares reductores.</p> <p>El pH fue mayor, menor producción de ácidos orgánicos y concentración de azúcares reductores.</p> <p>Menor concentración de azúcares reductores.</p>
(Díaz-Muñoz et al., 2021)	Trinitario	Cajas plásticas con 20 kg	<p><i>Saccharomyces cerevisiae</i> IMDO 050523, <i>Limosilactobacillus fermentum</i> IMDO 0611222 y <i>Acetobacter pasteurianus</i> IMDO 0506386: Cepas seleccionadas por aportar calidad consistente de los granos y mejorar el sabor.</p>	No hay rampa de temperatura. Toma de muestras cada 0, 6, 20, 44, 68 y 92 h.	Proceso de fermentación más rápido. Mayor aumento de temperatura. Consumo más rápido de carbohidratos. Mejora de la producción de

			<p><i>Pichia kudriavzevii</i> IMDO 020508, <i>Limosilactobacillus fermentum</i> IMDO 0611222 y <i>Acetobacter pasteurianus</i> IMDO 0506386: Cepas seleccionadas por aportar calidad consistente de los granos y mejorar el sabor.</p>		<p>etanol. Producción mejorada de COV.</p>
			<p><i>Saccharomyces cerevisiae</i> IMDO 050523, <i>Pichia kudriavzevii</i> IMDO 020508, <i>Limosilactobacillus fermentum</i> IMDO 0611222 y <i>Acetobacter pasteurianus</i> IMDO 0506386: Cepas seleccionadas por aportar calidad consistente de los granos y mejorar el sabor.</p>		<p>Producción mejorada de COV.</p>
			<p><i>Lactobacillus plantarum</i> LPBF35: Cepa seleccionada por su alta capacidad de consumo de fructosa, tolerar altas temperaturas y concentraciones de etanol.</p>		<p>Consumo más rápido de carbohidratos. Mejor producción de etanol. Producción mejorada de COV.</p>
(Viesser et al., 2021)	Forastero	Cajas de plástico con 10 kg	<p><i>Lactobacillus plantarum</i> LPBF35 y <i>Pediococcus acidilactici</i> LPBF66: No se especifica</p>	<p>No hay rampa de temperatura. Se tomaron muestras diariamente (0, 24, 48, 72, 96, 120, 144 y 168 h).</p>	<p>Consumo más rápido de fructosa.</p>
					<p>Las BAL no tienen un impacto significativo en la formación de alcoholes o ésteres durante la fermentación.</p>

			<p><i>Pichia fermentans YC5.2:</i> Cepa seleccionada por su alta producción de compuestos activos de sabor y tolerancia a altas temperaturas.</p> <p><i>Lactobacillus plantarum LPBF35:</i> no se especifica</p>		<p>Se incrementó el contenido de etanol, ácido acético y ácido Láctico. Mejor metabolismo de azúcar y formación de aromas. Se provocaron importantes reacciones de desarrollo de color y formación de moléculas claves de sabor.</p>
(Celso et al., 2021)	Forastero	Cajas de madera con 90 kg	<p><i>Saccharomyces cerevisiae:</i> Producción de compuestos aromáticos</p>	N/A	<p>Mayores concentraciones de ácidos orgánicos y pirazinas</p>
			<p><i>Pichia kudriavzevii:</i> Formación de una mayor variedad de compuestos deseables (aldehídos y ésteres)</p>		<p>Producción mejorada de alcohol y aldehídos.</p>
			<p><i>Saccharomyces cerevisiae</i> y <i>Pichia kudriavzevii:</i> Buena interacción entre estas dos especies en relación con la producción de compuestos volátiles deseables</p>		<p>Mayores concentraciones de ésteres y pirazinas.</p>

(Huerta-Conde et al., 2021)	Forastero	Cajas de espuma de poliestireno con 4 kg de cacao	<p><i>Yarrowia Lipolytica</i>: Produce una alta concentración de compuestos sensoriales relevantes como ácido acético y acetato de etilo</p> <p><i>Lactococcus lactis</i>: Produce compuestos aromáticos como diacetilo, acetaldehído y acetato</p> <p><i>Acetobacter aceti</i>: Oxida el etanol y produce ácidos grasos cortos.</p>	No hay rampa de temperatura. Toma de muestras cada 12 h. La fermentación duró 120 h.	Crecimiento de BAL sobre las levaduras. Crecimiento limitado de BAA, lo que da un perfil de temperatura más bajo. El pH aumentó luego de 84 h provocando el crecimiento de hongos filamentosos. Bajo porcentaje de granos de cacao fermentados.
(Ooi et al., 2021)	Trinitario	Cajas de madera con 20 kg	<p><i>Hanseniaspora thailandica</i> (MH979675): Producción alta de polifenoles.</p>	No hay rampa de temperatura. Toma de muestras cada 0, 24, 48, 72, 96 h.	Mayor contenido de polifenoles totales, presencia de alcoholes, terpenos y ácidos. Buen índice de fermentación.
			<p><i>Pichia kudriazevii</i> (MH979681): Producir chocolate con altas notas de cacao y tostado</p>		Presencia de alcoholes, terpenos y ácidos.
			<p><i>Hanseniaspora thailandica</i> (MH979675) y <i>Pichia kudriazevii</i> (MH979681)</p>		Presencia de compuestos volátiles como aldehídos, cetonas, alcoholes, ésteres y terpenos.

<p>(Alvarez-Villagomez et al., 2022)</p>	<p>Trinitario</p>	<p>Cajas de madera (cedro) con 120 kg de cacao</p>	<p><i>Saccharomyces cerevisiae</i> 120: Metaboliza azúcares, tolerante a 40°C, actividad pectinolítica y tolerante al 7,5% de etanol. <i>Lactobacillus plantarum</i> 14 y <i>Lactobacillus fermentum</i> 16: Tolerante al 10% de etanol, producción de ácido láctico y metaboliza azúcares. <i>Acetobacter pasteurianus</i> 98 y <i>Acetobacter tropicalis</i> 61: Oxida el etanol, tolerancia al 7% de etanol y producción de ácido acético</p>	<p>No hay rampa de temperatura. Toma de muestras cada 0, 6, 12, 24, 36, 48, 72, 96, 120 y 144 h.</p>	<p>Se produce un alto contenido de alcohol, aldehídos/cetonas, que podrían convertirse en pirazinas por reacciones de Maillard.</p>
<p>(Mayumi et al., 2022)</p>	<p>Forastero</p>	<p>Cajas de madera con 90 kg</p>	<p><i>Cladosporium cladosporioides:</i> Puede tener la capacidad de excretar enzimas importantes para obtener cacao bien fermentado y también puede ser beneficiosa por actividades contra microorganismos toxinogénicos.</p>	<p>No hay rampa de temperatura. Toma de muestras cada 24 h durante 144 h.</p>	<p>Mayores niveles de ácido acético. Niveles satisfactorios de antioxidantes. Se observó una mayor variedad de compuestos volátiles, que se atribuyen a chocolates de buena calidad. Los niveles de aminos bioactivas fueron más altos en la fermentación con cultivo iniciador, lo que puede ser un indicio de actividades de microorganismos indeseables.</p>

(Díaz-Muñoz et al., 2023)	Trinitario	Cajas plásticas con 36 kg	<p><i>Saccharomyces cerevisiae</i> IMDO 050523: Mayor producción de ésteres y alcoholes superiores durante la fermentación del cacao. Levadura de buen rendimiento, altamente fermentativa, tolerante al etanol y a la temperatura.</p> <p><i>Limosilactobacillus fermentum</i> IMDO 0611222: No se especifica.</p> <p><i>Acetobacter pasteurianus</i> IMDO 0506386: No se especifica.</p>	No hay rampa de temperatura. Toma de muestras cada 0, 6, 12, 24, 48, 72 y 96 h.	Mayor consumo de carbohidratos, concentración de alcoholes y contenido de ésteres y ácido acético.
			<p><i>Hanseniaspora opuntiae</i> IMDO 040108: Muestra un metabolismo altamente fermentativo de sacáridos, convirtiendolos en etanol y CO₂. Finalmente fue una cepa inapropiada como cultivo iniciador.</p> <p><i>Limosilactobacillus fermentum</i> IMDO 0611222: No se especifica y</p> <p><i>Acetobacter pasteurianus</i> IMDO 0506386: No se especifica</p>		Granos de cacao más ácidos y subfermentados lo que provocó la apación de mohos. Fuerte presencia de epicatequina lo que refleja un menor grado de fermentación. Valores de pH y temperatura más bajos a lo largo de la fermentación.

			<p><i>Saccharomyces cerevisiae</i> IMDO 050523: Mayor producción de ésteres y alcoholes superiores durante la fermentación del cacao. Levadura de buen rendimiento, altamente fermentativa, tolerante al etanol y a la temperatura.</p> <p><i>Hanseniaspora opuntiae</i> IMDO 040108: Muestra un metabolismo altamente fermentativo de sacáridos, convirtiendolos en etanol y CO2. Finalmente fue una cepa inapropiada como cultivo iniciador.</p> <p><i>Limosilactobacillus fermentum</i> IMDO 0611222: No se especifica.</p> <p><i>Acetobacter pasteurianus</i> IMDO 0506386: No se especifica.</p>		<p>Concentraciones más bajas de cetonas.</p>
--	--	--	---	--	--

Apéndice H. Artículos utilizados para el análisis de secado.

Autor	Variedad de cacao	Método de secado	Temperatura [°C]	Duración [horas]	Efecto en la calidad del licor y granos de cacao
(Jinap et al., 1994)	Trinitario	Secado al horno	60	20	Granos con tono marrón más claro que los secadas al sol. Se observó que la cáscara estaba arrugada y pegada fuertemente al cotiledón. La capa exterior de los granos (testa) que se secaron a una velocidad excesiva rompió el continuo de difusión o capilaridad y atrapó los compuestos indeseables, como el ácido acético, dentro de los granos. Los granos secados al horno tienen el puntaje de sabor más bajo en acidez.

		Secador samoa por convección forzada	60	10	Los granos tenían un color marrón oscuro medio intenso y un agradable olor a "nuez tostada". Las cáscaras de los granos secados al sol y al aire eran menos frágiles y sin sabor desagradable.
		Mixto. Secado a sombra y posteriormente en horno a 60 °C	Temperatura ambiente y posteriormente 60 °C	120/10	A partir del segundo día los granos aparecen oscuros e hinchados; al mismo tiempo se detecta un olor pútrido, cuya intensidad aumenta con el tiempo. Se observaron manchas de hongos blancos al cuarto día de secado. Altas concentraciones de ácidos grasos volátiles. Sabor de acidez más bajo. Alta puntuación en sabor desagradable como mohó, rancio y jamón.
		Luz solar directa	-	120	Los granos tenían un color marrón oscuro medio intenso y un agradable olor a "nuez tostada". Las cáscaras de los granos secados al sol y al aire eran menos frágiles. Sabor a chocolate bien desarrollado y sabor afrutado.
(Hii et al., 2006)	Trinitario	Luz solar directa 20 kg	-	5 días	Bajo amargor y astringencia. Mayor nivel de sabor a cacao.
		Luz solar directa 30 kg	-	7,5 días	Mayor astringencia y amargor.
		Luz solar directa 60 kg	-	9,5 días	Baja concentración de ácido acético y mayor concentración de ácido isobutírico que se atribuye al mal olor de los granos.

(Hii et al., 2009a)	-	Secado al horno	60	52	Porcentaje más alto de color marrón y el más bajo de granos de color púrpura-marrón y púrpura. Acidez más baja y una buena calidad de sabor según lo evaluado por la prueba de corte.
(Hii et al., 2009b)	-	Secado al horno	60	52	La fracturabilidad de los granos fue la más alta entre todos los tratamientos de secado.
			80	30	Los granos mostraron el valor de dureza más alto.
		Luz solar directa	-	75	Los granos mostraron contenidos más bajos de polifenoles totales y (+)-catequina.
		Liofilizador	a -30 °C (secado principal) y -50 °C (secado final)	30	Valores más bajos de dureza y fracturabilidad; valores alto de brillo.
(Efraim et al., 2010)	Forastero	Luz solar directa		240	Mayor retención de compuestos fenólicos y mejores resultados sensoriales.
		Secado al horno	35	72	No permite la volatilización de los compuestos formados durante la fermentación, como el ácido acético, provocando una disminución del pH y un aumento del valor total de acidez titulable, perjudicando sensorialmente los productos obtenidos.
(Guehi et al., 2010)	Trinitario	Luz solar directa	-	168	Acidez volátil baja. El método de secado al sol de los granos de cacao es el mejor para una calidad óptima.

		Secado al horno	60	-	Alta acidez y pobre desarrollo de sabor. Mayor contenido de ácidos grasos libres.
		Mixto	Temperatura ambiente y posteriormente 60 °C	-	Acidez volátil baja. Calidad similar a los granos secados al sol.
(Rodríguez-Campos et al., 2012)	Forastero	Secado al horno	70	8	Mayor concentración de aldehídos y cetonas.
			80	6	Mayores contenidos de ácidos que producen notas desagradables. Concentración más baja de ácido isobutírico que produce notas desagradables.
		Luz solar directa		120	-
		Samoa convección natural	65	12	Mayor concentración de 3-metil-1-butanol, responsable de notas de sabor deseable. También de alcohol bencílico y el 2-feniletanol que aporta nota de sabor floral.
(Santhanam et al., 2017)	Trinitario	Horno	70	30	Menor contenido de polifenoles, valores bajos de actividad antioxidante. Licor de cacao con mayor astringencia.
		Adsorción	65	24	Valores bajos de actividad antioxidante.
		Horno de vacío	60	24	Alta retención de contenido de polifenoles totales.
		Liofilización	-40	24	Mayor retención de polifenoles totales. Más costoso y consume mucha energía. Licor de cacao más amargo y ácido.

(Deus et al., 2018)	Forastero	Secado con techo de plástico fijo	-	Requiere de 2 a 10 días según el método utilizado o las condiciones climáticas	-
		Samoa convección forzada	60		Reducción en el contenido de compuestos fenólicos.
		Luz solar directa	-		Fue el que más retuvo el contenido de metilxantina y compuestos fenólicos en los granos secos.
		Secado con techo de plástico móvil	-		-
(Kotey et al., 2022)	Mezcla de trinitario y forastero	Secador híbrido de biomasa solar	Osciló entre 35 y 70 °C	72	Más eficiente en la eliminación de la humedad de los granos. Tenían la pureza más alta en general y eran de mejor calidad en comparación con los secados directamente al sol.
		Luz solar directa	32°C	96	-