

Influencia de la fermentación del cacao y del uso de cultivos iniciadores sobre las características organolépticas del chocolate: un análisis integral

Influence of cocoa fermentation and the use of starter cultures on the organoleptic characteristics of chocolate: a comprehensive analysis

B. S. Rosales-Valdivia ^a, L. García-Curiel ^{b*}, J. G. Pérez-Flores ^{a,b}, E. Contreras-López ^a
E. Pérez-Escalante ^a, C. García-Mora ^c

^a Área Académica de Química, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

^b Área Académica de Enfermería, Instituto de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42060, San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México.

^c Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, 62210 Cuernavaca, Morelos, México.

Resumen

La falta de reproducibilidad en la fermentación tradicional de las habas de cacao puede generar variaciones en las características organolépticas del chocolate, siendo un desafío para mantener estándares consistentes. Esta revisión analizó la influencia de la fermentación y cultivos iniciadores en la producción de chocolate, ofreciendo un panorama general de los factores que afectan su calidad organoléptica. Se abordó la relevancia económica y cultural del cacao y el ciclo de producción del chocolate, destacando la importancia de la fermentación y de sus factores críticos. Los hallazgos revelaron que la fermentación con cultivos iniciadores específicos mejora la degradación de la pulpa, aumenta la producción de metabolitos deseables y enriquece el perfil de sabor y aroma del chocolate, incluyendo sabores a caramelo, frutados, ácidos y amargos, además de incrementar el contenido de polifenoles y flavonoides. En conclusión, la implementación de cultivos iniciadores es clave para mejorar la calidad y consistencia del chocolate, contribuyendo a la producción de chocolates de alta calidad.

Palabras Clave: Cacao, fermentación, cultivos iniciadores, características organolépticas, calidad del chocolate.

Abstract

The lack of reproducibility in the traditional fermentation of cocoa beans can lead to variations in the organoleptic characteristics of chocolate, posing a challenge in maintaining consistent standards. This review examined the influence of fermentation and starter cultures in chocolate production, providing an overview of factors affecting its organoleptic quality. The economic and cultural significance of cocoa and the chocolate production cycle were addressed, emphasizing the importance of fermentation and its critical factors. Findings revealed that fermentation with specific starter cultures enhances pulp degradation, increases the production of desirable metabolites, and enriches the flavor and aroma profile of chocolate, including caramel, fruity, acidic, and bitter notes, while also increasing polyphenol and flavonoid content. In conclusion, implementing starter cultures is vital for enhancing the quality and consistency of chocolate, contributing to producing high-quality chocolates.

Keywords: Cocoa, fermentation, starter cultures, organoleptic characteristics, chocolate quality.

1. Introducción

El cultivo conocido como cacao (*Theobroma cacao* L.) posee una destacada importancia económica a nivel mundial, puede ser observado en la Figura 1. El cacaotero es un árbol

de pequeña estatura cuando se cultiva, con una altura típica que oscila entre 4 y 7 metros, tal como se ilustra en la Figura 1a. Sus flores, de forma estrellada y colores que varían entre el rosa, el púrpura y el blanco, presentan dimensiones que oscilan entre 0.5 y 1 cm de diámetro y entre 2 y 2.5 cm de

*Autor para la correspondencia: Berenice Sarahí Rosales-Valdivia (ro420418@uaeh.edu.mx)

Correo electrónico: Berenice Sarahí Rosales-Valdivia (ro420418@uaeh.edu.mx), Laura García Curiel (laura.garcia@uaeh.edu.mx), Jesús Guadalupe Pérez Flores (jesus_perez@uaeh.edu.mx), Elizabeth Contreras López (elizac@uaeh.edu.mx), Emmanuel Pérez Escalante (emmanuel_perez@uaeh.edu.mx), Coral García Mora (coral.garcia@uaem.edu.mx).

longitud. Estas flores se agrupan en racimos a lo largo del tronco y de las ramas, sostenidas por pedúnculos de 1 a 3 cm de longitud, como se observa en la Figura 1b (Abijaude et al., 2022; Lima et al., 2011).

El fruto, conocido como “mazorca” y presentado en las Figuras 1c y 1d, es una baya grande que alberga entre 30 y 40 semillas de sabor amargo y de tamaño similar a las almendras, con una longitud de 2 a 3 cm, las cuales se encuentran dispuestas en placentación axial, incrustadas en una pulpa formada a partir de las capas exteriores de la testa.

En el esquema de la mazorca de cacao, que se muestra en la Figura 1e, se observa que las semillas carecen de albumen y están rodeadas por una pulpa mucilaginosa de color blanco, que posee un sabor agrídulce. Es importante resaltar que la totalidad del espacio interno de la semilla está ocupado por los dos cotiledones del embrión. Estas semillas son comúnmente conocidas como “habas de cacao” (HC) y son altamente nutritivas, siendo ricas en almidón, proteínas y lípidos. Esto les otorga un valor nutricional significativo (Abijaude et al., 2022; Lima et al., 2011).

Las HC tienen diversas aplicaciones en la industria alimentaria, destacándose su uso como componente esencial en la fabricación de chocolate, como se muestra en la Figura 1f, y en la elaboración de otros productos de confitería (Abijaude et al., 2022; Lima et al., 2011). En este sentido, la industria del chocolate desempeña un papel integral en la economía mundial y en la vida diaria de individuos en todo el planeta, teniendo influencia que trasciende lo económico, alcanzando también aspectos culturales.

Las características organolépticas son esenciales para el chocolate porque influyen en cómo perciben y disfrutan los consumidores el producto. La capacidad de la industria chocolatera para controlar y optimizar estas características desempeña un papel clave en la satisfacción del cliente y el éxito comercial. Por lo tanto, la comprensión de cómo la fermentación del cacao y la aplicación de cultivos iniciadores influyen en estas características resulta de gran importancia para la calidad y la comercialización del chocolate. En ese sentido, la etapa de la fermentación es muy importante y de una gran complejidad durante la producción del chocolate. Los conocimientos en relación con las transformaciones ocurridas durante la fermentación han permitido optimizar el proceso y obtener productos de mayor calidad. A pesar de ello, persisten áreas susceptibles de mejora y control, tales como la gestión de la dinámica microbiana y las condiciones de fermentación, y cómo estas influyen en las características organolépticas del chocolate (Steinau Dueñas, 2017).

El cacao es un cultivo que exige condiciones específicas para prosperar y dar lugar a una cosecha exitosa. En el transcurso de la fermentación, las semillas y la pulpa se colocan en tapetes que están revestidos con hojas de plátano o en cajas de madera. Este procedimiento es clave para el desarrollo de las cualidades buscadas en el cacao. Los microorganismos involucrados en la fermentación abarcan levaduras, bacterias ácido lácticas (BAL) y bacterias ácido acéticas (BAA) (Farrera et al., 2021).

La investigación en torno al papel de los microorganismos en el proceso de fermentación del cacao constituye un aspecto relevante en el ámbito científico, dado que el proceso de fermentación se lleva a cabo de manera tradicional, implicando diversas técnicas que generan una amplia gama de

características organolépticas en el producto final. La introducción del uso de cultivos iniciadores se plantea como una herramienta para elevar la calidad y la consistencia del chocolate. Esto permitiría un control más preciso del proceso de fermentación mediante el desarrollo de procedimientos estandarizados, reduciría los riesgos de contaminación y mejoraría el sabor y el aroma del chocolate, a la vez que fomentaría la innovación en la industria chocolatera (Rodríguez-Velázquez et al., 2022). En definitiva, esta práctica tendría un impacto significativo en la producción de chocolate de alta calidad y en la satisfacción de los consumidores.

Hasta ahora, es esencial comprender cómo la fermentación del cacao y el uso de cultivos iniciadores influyen en las características organolépticas del chocolate para asegurar la calidad del producto, mantener la uniformidad en la producción y satisfacer las cambiantes preferencias del mercado. Además, este enfoque contribuye a la sostenibilidad de la industria y promueve el comercio justo. Los desafíos contemporáneos en la producción de chocolate de excelencia incluyen la necesidad de mantener estándares consistentes y el aumento en la demanda de productos de cacao que sean sostenibles y con perfiles de sabor únicos.

Por lo tanto, el objetivo de esta contribución fue analizar de manera integral la influencia de la fermentación de las HC y la aplicación de cultivos iniciadores en la producción de chocolate, centrándose en las alteraciones que estas variables introducen en las características organolépticas del producto final, con el propósito de proporcionar un panorama general de los factores que influyen en la calidad organoléptica del chocolate y contribuir al conocimiento en la industria chocolatera.

2. Proceso de producción del chocolate

El proceso de producción del chocolate, representado en la Figura 2, involucra una secuencia de pasos desde el cultivo de las HC hasta su transporte a las plantas de fabricación del chocolate o su venta al público. Estos pasos comienzan con la atención a factores ambientales y agrícolas en la etapa de cultivo, que abarcan desde la preparación del suelo y la selección de las semillas, hasta la siembra, el riego, el mantenimiento de los cultivos y la aplicación de fertilizantes. La cosecha es la siguiente fase, donde se evalúa la madurez de los frutos, se recolectan y se separan las mazorcas. Luego, las mazorcas se desgranán para extraer tanto la pulpa como las HC, que son sometidas a un proceso de fermentación. Durante este proceso, que dura de 2 a 8 días según la variedad de cacao y las condiciones ambientales, se persiguen tres objetivos: (1) prevenir la germinación de las HC, (2) eliminar la pulpa circundante y (3) dar inicio al desarrollo de los aromas característicos del chocolate. La fermentación conlleva la generación de jugos de pulpa que contienen alcoholes y ácidos, y se produce un aumento de la temperatura. Esta fermentación natural es inducida por microorganismos que se transfieren a las HC a través de las manos de los trabajadores, los recipientes, las superficies y las herramientas utilizadas para cortar las mazorcas (Fowler, 2008; Predan et al., 2019; Rodríguez-Campos et al., 2012).

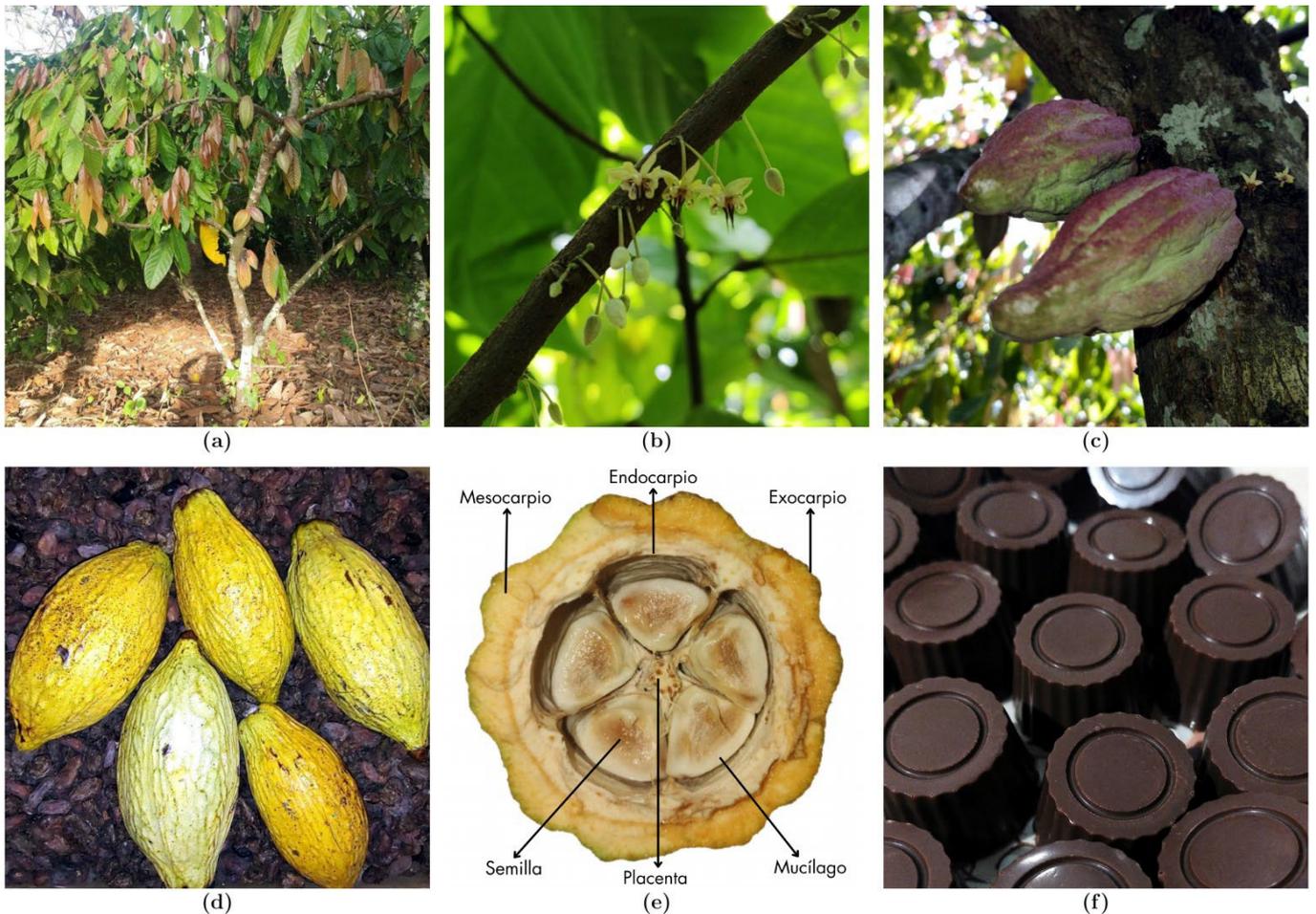


Figura 1: *Theobroma cacao* L., morfología y aplicación. (a) Árbol de cacao o cacaotero, (b) flor de cacao, (c) cacao criollo, (c) cacao forastero, (e) esquema de la mazorca de cacao y (f) bombones de chocolate.

Posteriormente a la fermentación, las HC se someten a un proceso de secado al sol, que dura aproximadamente una semana, para alcanzar un nivel de humedad del 7 a 8%, necesario para disuadir el crecimiento de mohos durante el almacenamiento y conservar sus cualidades. Se sugiere comenzar el secado a una temperatura aproximada de 50°C, incrementándola gradualmente hasta estabilizarla alrededor de los 60°C. Evitar temperaturas superiores a los 70°C es esencial, ya que esto interferiría con el proceso de desarrollo de los aromas iniciado durante la fermentación, volviendo las HC quebradizas y difíciles de manejar, además de mantener cierta acidez en el pH. Durante esta etapa, los aromas continúan desarrollándose, el proceso de pardeamiento persiste y se disminuyen los niveles de astringencia, de amargor y de acidez. Una vez que las HC están fermentadas, secas y enfriadas, se almacenan en sacos para su transporte a las plantas de procesamiento de chocolate o para su comercialización a distribuidores y al público en general (Fowler, 2008; Predan et al., 2019; Rodríguez-Campos et al., 2012).

Después de que las HC llegan a la fábrica, se someten a un proceso de limpieza y fragmentación para separar la cáscara, que es muy ligera y pesa menos. A continuación, se inicia la etapa de torrefacción, donde las HC previamente limpias y trituradas se tuestan a temperaturas que oscilan entre 120 y 150°C durante un período de 25 minutos. En este punto, se

determinan las características esenciales del producto final, incluyendo su color, aroma y sabor, ya que durante este proceso las HC desarrollan más de 400 aromas distintivos. La temperatura y el tiempo de tostado son variables críticas que deben ser controladas con precisión para obtener un sabor específico de chocolate (Toker et al., 2020).

Las HC fragmentadas y tostadas que resultan de este proceso se conocen como “grué de cacao” o “nibs de cacao”. Posteriormente, estos nibs de cacao se someten a una molienda adicional y se alcanzan temperaturas más elevadas. Debido a su alto contenido de manteca, se transforman en una masa viscosa conocida como “licor de cacao” o “pasta de cacao”, la cual constituye el ingrediente principal del chocolate, y además, de ella se obtienen el cacao en polvo (cocoa) y la manteca de cacao (Toker et al., 2020).

La producción de chocolate se inicia vertiendo los ingredientes necesarios en una mezcladora, variando estos ingredientes dependiendo del tipo de chocolate a elaborar. En la elaboración de chocolate negro, se mezcla la pasta de cacao, la manteca de cacao y el azúcar refinada. Mientras que, para producir chocolate con leche, se mezcla la pasta de cacao, la manteca de cacao, el azúcar refinado y la leche. Finalmente, para producir chocolate blanco, se mezcla la manteca de cacao, el azúcar refinado y la leche.

La textura de las mezclas resultantes es inicialmente granulosa, por lo que se someten a un proceso de refinación,

en el cual se pasan a través de máquinas con rodillos hasta obtener un polvo fino. Este proceso es esencial para conferir al chocolate su deseada finura y calidad. Posteriormente, se lleva a cabo el proceso de conchado, que tiene como objetivo que la mezcla alcance la máxima finura y suavidad, y desarrolle todos sus aromas. En esta etapa, la masa de chocolate se mezcla, corta y airea mientras se calienta a una temperatura específica (>40°C), y este proceso puede durar varias horas o días. Durante el conchado, se reducen los aromas amargos y ácidos, y se potencian los aromas más apreciados en el chocolate. Se incorporan ingredientes y aditivos alimentarios, como la manteca de cacao, la esencia de vainilla y la lecitina con el fin de mejorar la fluidez de la mezcla y enriquecer el sabor (Toker et al., 2019). Por lo tanto, el conchado, junto con la torrefacción, son procesos

fundamentales en la elaboración del chocolate. En este punto, la mezcla se convierte en chocolate propiamente dicho.

A continuación, se procede con el proceso de templado, también conocido como temperado, el cual implica someter el chocolate a una serie de cambios de temperatura cuidadosamente controlados para lograr la cristalización de la manteca de cacao. La cristalización es la fase en la cual, la manteca de cacao experimenta la transición de estado líquido a sólido, y este proceso debe llevarse a cabo siguiendo procedimientos específicos y temperaturas precisas. Es importante señalar que, si se desean agregar ingredientes adicionales como almendras, galletas, avellanas u otros, este es el momento idóneo, ya que después se procederá a las etapas de moldeo, embalaje, almacenamiento y distribución (Toker et al., 2020).

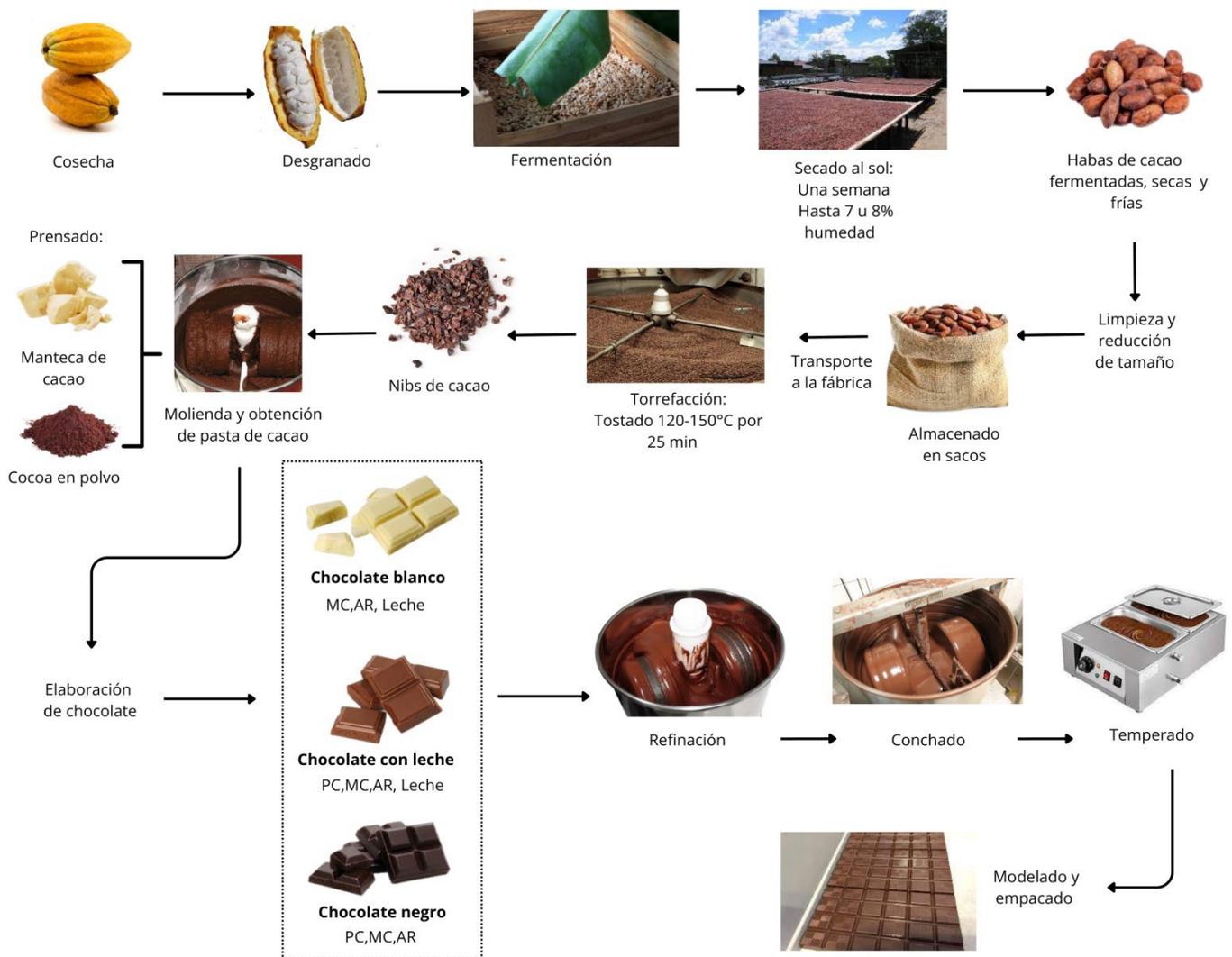


Figura 2: Diagrama del proceso de producción del chocolate. En este diagrama, se han codificado algunos ingredientes clave utilizados en la elaboración del chocolate de la siguiente manera: Licor de cacao o pasta de cacao (PC), azúcar refinada (AR) y manteca de cacao (MC).

Al concluir la sección sobre el proceso de producción del chocolate, es importante destacar cómo cada etapa, desde la selección de ingredientes hasta el conchado, contribuye a la calidad final del producto. Sin embargo, también es fundamental reconocer que la base de todas estas características organolépticas deseables se determinan durante la fermentación de las HC. Este proceso inicial es crítico para el desarrollo del sabor y aroma característicos del chocolate, pero también prepara el cacao para las etapas subsiguientes de producción. Por lo tanto, una revisión del proceso de fermentación, que se discutirá en la siguiente sección, resulta necesario para apreciar plenamente cómo se construye la complejidad del sabor del chocolate.

3. Proceso de fermentación de las habas de cacao

3.1. Fases del proceso de fermentación

El proceso de fermentación de las HC, representado en varias etapas en la Figura 3, y que también es conocido como “cura” o “preparación” de las HC, desempeña un papel fundamental en la producción de chocolate, ya que posibilita el desarrollo de compuestos precursores del sabor y del aroma. Este proceso se realiza de manera artesanal, empleando cajas de madera que están revestidas con hojas de plátano, y la duración de esta etapa depende de la variedad de las HC (De Vuyst & Weckx, 2016).

La fermentación de las HC inicia una serie de cambios bioquímicos que influyen en el pH y ocasionan alteraciones en el color, aroma y sabor del cacao. Durante esta etapa, las HC pasan de un tono violeta a marrón, los cotiledones adquieren un sabor astringente, los azúcares se convierten en alcohol debido a la acción de las levaduras y, posteriormente, se transforman en ácido acético bajo la influencia de las bacterias ácido acéticas (BAA) (Teneda Llerena, 2016).

El proceso de fermentación se inicia al abrir las mazorcas para extraer las HC y la pulpa. A continuación, se desencadena una fermentación espontánea, seguida de un proceso de secado. La pulpa es rica en agua, azúcares, pentosas y ácido cítrico, además de poseer un pH ácido que propicia el crecimiento de levaduras. Estas levaduras descomponen la pectina de la pulpa y conducen a una fermentación anaerobia de los azúcares en etanol, al mismo tiempo que consumen el oxígeno, lo que facilita la proliferación de bacterias ácido lácticas (BAL) (Rodríguez-Velázquez et al., 2022).

Las BAL, a su vez, descomponen el ácido cítrico, convirtiéndolo en ácido láctico, ácido acético y manitol. Mientras esto ocurre, las levaduras continúan hidrolizando las pectinas, lo que disminuye la viscosidad del mucílago y promueve la oxigenación del entorno. En este punto, con un ambiente aeróbico y menos ácido, las bacterias acéticas empiezan a desarrollarse (Wacher, 2011).

Las BAA posteriormente convierten en ácido acético el etanol producido por las levaduras mediante una reacción exotérmica. La presencia de etanol y ácido acético penetra a través de la cáscara de las semillas en los cotiledones, disminuyendo el pH interno y elevando la temperatura interna del grano. Esto induce la formación de compuestos precursores del sabor y la degradación de los pigmentos. Finalmente, se desarrollan bacterias del género *Bacillus*, las cuales producen enzimas que catalizan reacciones que

generan olores y sabores indeseables, pero que también contribuyen a la producción de ácidos orgánicos y sabores, como el 2,3-butanodiol (Wacher, 2011).

3.2. Levaduras

Las levaduras proliferan durante las etapas iniciales de la fermentación, sin embargo, su número disminuye debido a la prolongada actividad fermentativa, el incremento del pH, la presencia de etanol, la conversión de ácido acético y el aumento de temperatura (Rodríguez-Velázquez et al., 2022).

En la fase inicial del proceso de fermentación, *Hanseniopsis opuntiae* y *Hanseniopsis uvarum* destacan como las levaduras predominantes, ya que exhiben baja tolerancia al etanol y al calor, y además, presentan una buena resistencia a los ácidos. En las fases subsiguientes de la fermentación, comúnmente, *Saccharomyces cerevisiae* se convierte en la levadura predominante, ya que puede crecer en rangos ligeramente más altos de pH, posee actividad pectinolítica y muestra una mayor tolerancia al etanol y al calor. No obstante, también se han reportado otras especies como *Kluyveromyces marxianus*, *Pichia membranifaciens*, *Pichia kudriavzevii* y algunas especies de *Candida* en esta etapa (De Vuyst & Weckx, 2016; Rodríguez-Velázquez et al., 2022).

3.3. Bacterias ácido lácticas

Cuando la pulpa de las HC se expone al aire en mayor medida, se generan las condiciones propicias para el desarrollo de las BAL y las BAA. Algunas de las BAL de relevancia incluyen *Leuconostoc pseudomesenteroides*, *Fructobacillus pseudoficulneus*, *Fructobacillus tropeaoli*, *Lactobacillus cacaonum*, *Lactobacillus fabifermentans* y *Lactobacillus plantarum*. Estas se consideran como un grupo inicial de BAL en el proceso de fermentación, y luego, las bacterias estrictamente heterofermentativas como *Lactobacillus fermentum* continúan con el proceso (De Vuyst & Weckx, 2016).

3.4. Bacterias ácido acéticas

En la fase aerobia de la fermentación, se promueve el crecimiento y desarrollo de BAA. Las especies más destacadas de BAA identificadas en la fermentación del cacao pertenecen al género *Acetobacter*, entre las que se encuentran *A. pasteurianus*, *A. ghanaensis*, *A. senegalensis*, siendo *Acetobacter pasteurianus* la más prevalente. Esto se debe a su capacidad antioxidante frente al etanol, manitol y ácido láctico, así como su resistencia al calor (De Vuyst & Weckx, 2016).

3.5. Composición química de las habas de cacao

Las HC por naturaleza contienen sustancias fenólicas en porciones elevadas, aproximadamente del 12-18% en peso seco, de los cuales el 95% de ellos son monómeros de flavonoides y oligómeros de procianidina (Othman et al., 2007). Estos compuestos determinan el sabor y la calidad del grano, pues producen la astringencia y sabor amargo, además de ser los responsables de las propiedades antioxidantes de los mismos. Así mismo, se reporta que las HC contienen entre alrededor del 0.2 y 4% en peso seco del grano y sin grasa de

teobromina y cafeína respectivamente, los cuales actúan estimulando el sistema nervioso central (Grassia et al., 2019). En cuanto a los responsables del aroma presentes en el cacao, se encuentran principalmente el 2-metilbutanal, 2-metilpropanal y 3-metilbutanal, los cuales se encargan de darle ese aroma a chocolate (Rodríguez-Velázquez et al., 2022).

La composición del grano de cacao ha demostrado que contiene al menos un 50 % de grasas, de las cuales el 97% son triacilglicéridos que se dividen en ácido palmítico en un rango del 24.1 al 27.1%, ácido esteárico del 32.9 al 37.6%, ácido oleico en una porción que va del 32.7 al 37.6%, así como ácido linoleico que oscila entre el 2.3 y el 3.7% (Rodríguez-Velázquez et al., 2022).

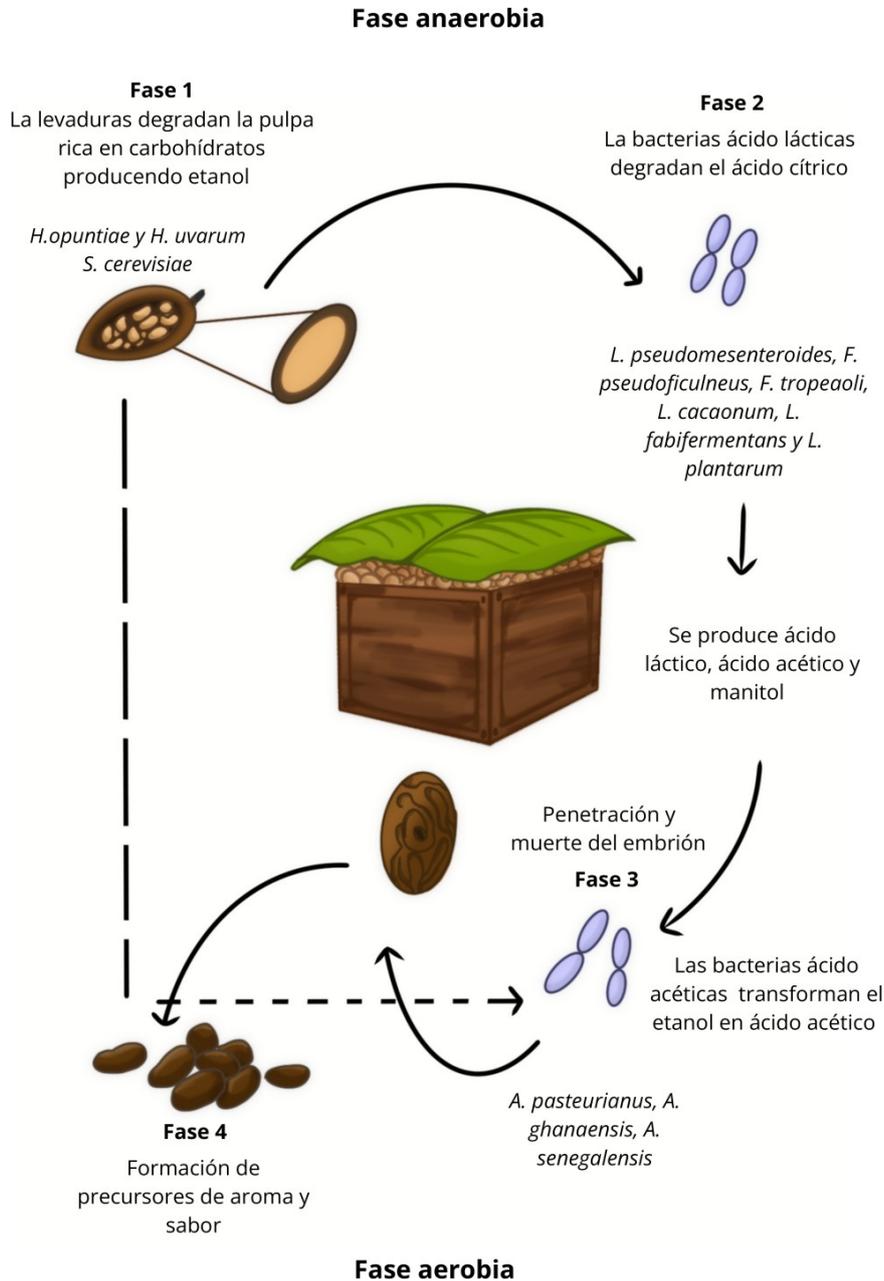


Figura 3: Proceso de fermentación de las habas de cacao.

Las proteínas de importancia presentes en el grano de cacao incluyen albumina, prolamina, globulina y glutelinas, representando entre el 10 y el 15% de peso seco (Bertazzo et al., 2013).

Además, el grano de cacao también contiene minerales como calcio, potasio, magnesio, sodio, fósforo, cromo, cobre, hierro, magnesio, molibdeno, selenio y zinc, donde destaca el

potasio como el macroelemento más abundante (Grassia et al., 2019).

3.6. Parámetros físicos y químicos

El proceso de fermentación desencadena una serie de alteraciones fisicoquímicas fundamentales que contribuyen al surgimiento del sabor y aroma del chocolate. El crecimiento

microbiano y las reacciones durante la fermentación se ven considerablemente influenciados por factores como la temperatura, el pH y la humedad. Durante este proceso, se generan alcoholes, ácidos y compuestos fenólicos como parte de las reacciones, lo que conducen a la inactivación del embrión del grano de cacao. Esto, a su vez, contribuye a la disminución del sabor amargo y a la aparición de las reacciones bioquímicas características que definen el perfil de sabor del chocolate (Teneda Llerena, 2016).

Los metabolitos generados durante la fermentación, como el etanol y los ácidos láctico y acético, pueden ingresar al cotiledón. Esto conlleva a una disminución significativa del pH, que pasa de un nivel neutro de 7 a valores más ácidos en el rango de 4.0-5.5, acompañada de un aumento de la temperatura a 45°C o incluso superior. Estas condiciones extremas provocan la inactivación del embrión y desencadenan reacciones enzimáticas en las que los productos resultantes se consideran precursores esenciales del aroma y sabor característicos del chocolate.

En una fase posterior, durante la etapa de tostado, se generan alteraciones en el color del cacao gracias a las reacciones de Maillard. Estas reacciones originan una variedad de moléculas, como pirazinas, alcoholes, cetonas, aldehídos de Strecker, piroles, furanos, terpenos y alcoholes terpénicos. Estas moléculas desempeñan un papel fundamental en la formación de las características de sabor presentes en el chocolate (Santander Muñoz et al., 2020).

La astringencia y el sabor amargo del grano de cacao provienen principalmente por la reducción en la cantidad de polifenoles, que se convierten en quinonas o taninos de elevado peso molecular debido a la actividad de las polifenol oxidasas (Calvo et al., 2021).

Las características físicas de las HC fermentadas se pueden clasificar en dos categorías: externas e internas. En cuanto a las características externas, estas se refieren al tamaño del grano, que debe ser uniforme dentro de un lote, su forma redondeada y plana, su color, que varía según la variedad del grano pero generalmente es de tonos rojo-pardos, y su aroma, que debe ser agradable y acorde con el producto. Además, es de vital importancia que la cutícula se mantenga intacta, ya que esto previene la entrada de insectos y microorganismos no deseados. Por otro lado, las características internas abarcan aspectos como el color, que debe ser de tonalidades castañas o castaño pálido, también dependiendo de la variedad del grano. En cuanto al sabor, se espera que sea una combinación de amargura, astringencia, notas aromáticas, matices frutales y un toque a nuez (Teneda Llerena, 2016).

Al concluir la exploración del proceso de fermentación de las HC, se ha comprendido cómo este paso crítico inicia transformaciones bioquímicas clave que afectan directamente el color, aroma y sabor del cacao. Estas alteraciones fisicoquímicas, desencadenadas por una compleja interacción de microorganismos, prepara al cacao para las etapas subsiguientes de producción y establecen la base para las propiedades organolépticas del chocolate. Al avanzar hacia la siguiente sección, se revisará cómo estas transformaciones bioquímicas influyen específicamente en las características sensoriales del chocolate, explorando la conexión directa entre los métodos de fermentación empleados y la calidad organoléptica del producto final.

4. Influencia de la fermentación en las propiedades organolépticas del chocolate

La fermentación de las HC es un proceso que involucra numerosos factores clave para alcanzar los estándares deseados en la producción de chocolate y sus derivados. Entre estos factores se incluyen la temperatura del ambiente, el pH, el contenido de humedad, el contenido de azúcares, ácidos, polifenoles, alcoholes y la temperatura de la masa en fermentación y la diversidad microbiana (Romero-Cortes et al., 2013).

El desarrollo de los compuestos deseables en las HC está estrechamente vinculado al proceso de fermentación y al posterior secado. Durante la fermentación, se produce la descomposición del mucílago que rodea las HC, generando alcohol y ácidos, al mismo tiempo que se incrementa la temperatura. Este aumento térmico resulta en la inactivación del embrión del grano, dando lugar a una serie de cambios químicos esenciales para el desarrollo del aroma en el chocolate (Romero-Cortes et al., 2013).

Un aspecto importante de este proceso es la migración del ácido acético al interior del cotiledón, generando una disminución del pH dentro del grano. Simultáneamente, se produce la oxidación de los polifenoles y la formación de taninos de elevado peso molecular que no son solubles en agua (Romero-Cortes et al., 2013).

4.1. Desarrollo de precursores de sabor, aroma y compuestos volátiles deseables

El papel fundamental del sabor y el aroma se manifiesta significativamente en la creación de perfiles sensoriales de alta calidad en productos relacionados con el cacao. Durante el procesamiento de las HC, se producen transformaciones químicas que influyen en la formación de sabores y aromas específicos, divididos en componentes no volátiles y volátiles.

Dentro de los componentes no volátiles precursores del sabor y del aroma, se describen los siguientes (Aprotosoai et al., 2016; Febrianto et al., 2022):

- I. **Alcaloides.** La teobromina (3,7-dimetilxantina) es el alcaloide predominante en las HC, junto con metilxantinas como la cafeína y la teofilina. Estos compuestos contribuyen al sabor ácido del cacao y a la palatabilidad de los productos relacionados con el cacao.
- II. **Polifenoles.** En lo que respecta a los polifenoles, en las HC destacan tres grupos principales: las catequinas, las antocianinas y las proantocianinas. No obstante, su cantidad y composición varían según distintos factores, tales como el origen, el genotipo, el grado de madurez y el proceso de producción de las HC. Entre las catequinas más representativas se encuentran la epicatequina, catequina, galocatequina y epigallocatequina. Dentro de la porción de antocianinas se encuentran leucoantocianinas L1, L2, L3, y L4, así como cianidina-3- β -D-galactósido y cianidina-3- α -L-arabinósido. En cuanto a las proantocianinas más relevantes, se destacan la B1, B2, B3, B4, B5, C1 y D. Además, en menor cantidad se encuentran flavonas como apigenina, luteolina, kaempferol, acompañadas de ácidos polifenólicos como el ácido cafeico, clorogénico,

cumárico, ferúlico y siríngico. Estos compuestos desempeñan un papel trascendental al conferir sabores frutales y notas verdes al licor de cacao, al mismo tiempo que contribuyen a reducir la astringencia y el amargor en el producto final.

- III. **Proteínas.** Las proteínas representan aproximadamente entre un 10% y un 16% del peso seco de las HC. Estas incluyen albuminas, globulinas, péptidos hidrofóbicos y aminoácidos libres, que participan en las reacciones de Maillard durante el tostado, contribuyendo a los componentes característicos del sabor del cacao.
- IV. **Carbohidratos.** Las HC contienen alrededor del 2 al 4% (m/m) de azúcares libres (fructosa, glucosa, sacarosa, galactosa, sorbosa, xilosa, arabinosa, manitol e inositol) y aproximadamente el 12 % (m/m) de polisacáridos (almidón, pectinas, celulosa, pantanosas y mucílago). Durante la fermentación, la sacarosa se descompone en fructosa y glucosa debido a la actividad de la invertasa, lo cual es esencial para la reacción de Maillard. Por otro lado, los componentes volátiles del cacao son fundamentales para la formación de los precursores de aroma y sabor más importantes, los cuales suelen originarse durante el proceso de fermentación y tostado gracias a las reacciones de Maillard y a los productos resultantes de la degradación de Strecker. Estos componentes incluyen diversas clases químicas, como alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, pirazinas, ácidos y fenoles.

Dentro de los componentes volátiles precursores del sabor y del aroma, se describen los siguientes (Aprotosoai et al., 2016; Fang et al., 2020):

- I. **Alcoholes.** La producción de alcoholes se debe tanto a la actividad microbiana durante el proceso de fermentación como a la degradación térmica de los aminoácidos. Sin embargo, estos alcoholes tienden a disminuir debido a la volatilización durante el proceso de tostado. Estos alcoholes aportan a las HC una amplia gama de aromas, que incluyen notas frutales, florales y herbáceas. Específicamente, el 2-Heptanol contribuye a los aromas frutales, herbáceos, florales y picantes presentes en el cacao. Además, el Linalol y el 2-feniletanol son los componentes predominantes que se encuentran en los nibs de cacao.
- II. **Aldehídos y cetonas.** Estos compuestos suelen formarse durante la degradación de aminoácidos libres mediante el proceso de tostado. Un alto contenido de estos compuestos es beneficioso para el desarrollo de un sabor óptimo en las HC. Durante la fermentación, se generan aldehídos como el 2-Metilbutanal y el 3-Metilbutanal, que aportan notas de malta y chocolate al cacao. Además, los aldehídos se condensan para formar fenilcetonas, que proporcionan al cacao y al chocolate en general sus características notas aromáticas. También, el 5-metil-2-fenil-2-hexanal contribuye a crear notas de cacao amargo. Por otro lado, la acetofenona aporta matices dulces y florales, mientras que la acetoína actúa como precursor de la tetrametilpirazina, un componente activador del sabor del cacao.
- III. **Ésteres.** Los ésteres son compuestos que aportan sabores frutales característicos a las HC sin tostar. Por ejemplo, el 2-Fenilacetato proporciona notas florales y

de miel, mientras que el acetato de 3-metil-1-butanol es un componente fundamental para la calidad aromática del cacao.

- IV. **Pirazinas.** Estos compuestos desempeñan un papel fundamental en la creación del aroma característico del cacao. La mayoría de estas sustancias se originan a partir de α -aminocetonas como resultado de las reacciones de Maillard y de la degradación de Strecker durante el proceso de tostado. Entre las pirazinas más relevantes se encuentran las alquilpirazinas con sus diversos sustituyentes, así como las tetrametilpirazinas y las trimetilpirazinas, que aportan notas persistentes de nuez, grasa y cacao al perfil aromático del cacao.

4.2. *Disminución de astringencia y amargor*

La capacidad de desarrollar sabores específicos está principalmente determinada por el genotipo, aunque las intensidades pueden cambiar según las condiciones de cultivo. Las HC frescas carecen de los compuestos químicos precursores necesarios para la formación del sabor del chocolate, por lo que durante la fermentación se generan estos compuestos, especialmente los polifenoles, que se dispersan en las semillas. Resulta fundamental el proceso posterior a la cosecha, que incluye la fermentación y el secado (Salazar, 2017).

Durante la fermentación, la pulpa de la fruta se descompone y en las HC se desarrollan los compuestos químicos precursores del sabor a chocolate. Esto resulta en una disminución en la intensidad de las notas amargas y astringentes, disminución que continúa durante el secado (Salazar, 2017).

El proceso de fermentación es una secuencia compleja que implica la participación de diversos microorganismos. Inicialmente, aparecen las levaduras, seguidas por condiciones anaeróbicas y microaeróbicas que propician el establecimiento de BAL. Finalmente, bajo condiciones aeróbicas, surgen las BAA. La presencia de levaduras contribuye a reducir la viscosidad, permitiendo que la masa de pulpa de cacao se drene mediante la secreción de enzimas pectinolíticas que descomponen las paredes celulares de la pulpa. Esto, a su vez, facilita la entrada de aire, fomentando el crecimiento de bacterias, especialmente las BAL y las BAA (Salazar, 2017).

4.3. *Producción de compuestos volátiles deseables*

A nivel mundial, el cacao Criollo (CC) es ampliamente reconocido por su alta calidad y es utilizado en la producción de chocolates finos. La fermentación juega un papel fundamental en su proceso de producción, ya que es en esta etapa donde se originan la mayoría de los compuestos aromáticos que le otorgan su distintivo perfil de sabor y aroma.

Se distinguen dos grupos botánicos principales de cacao: el Criollo y el Forastero. Aunque el CC constituye únicamente el 5% de la producción mundial, se destaca por su aroma agradable y penetrante, siendo altamente valorado por su calidad excepcional. Las semillas de cacao fino se caracterizan por exhibir notas aromáticas particulares que no se encuentran en el cacao de calidad inferior que se comercializa a granel.

Los compuestos volátiles desempeñan un papel fundamental en la distinción del cacao fino de aroma y en la determinación de su calidad. Sustancias como el 2-pentanol y el β -linalool se asocian con notas florales y de hierba de limón, respectivamente. Tanto la etapa de fermentación como la de tostado son clave para la formación del aroma. Durante la fermentación, se generan precursores del aroma, como aminoácidos libres, péptidos de cadena corta y azúcares reductores, a partir de los cuales se cree que se desarrolla el distintivo aroma del cacao durante el proceso subsiguiente de tostado. Este último es indispensable para realzar el aroma, el color y los compuestos volátiles del chocolate.

Al analizar las sustancias volátiles específicas presentes en el cacao tostado, se pueden percibir matices aromáticos de nuez en las almendras tostadas del CC. Los compuestos volátiles más destacados se clasifican en diversas familias químicas, como alcoholes, pirazinas, aldehídos y ácidos. La cantidad de estos compuestos tiene un impacto significativo en la calidad sensorial del CC. Además, el CC contiene linalool, cuya concentración puede aumentar hasta ocho veces durante la fermentación, contribuyendo de manera positiva a su calidad aromática y se considera responsable de sus distintivas notas florales (Mori Mestanza et al., 2021).

4.4. Inhibición de compuestos deterioradores

La fermentación es un proceso natural que se inicia al cortar el fruto, permitiendo que la pulpa entre en contacto con diversos microorganismos. Estos microorganismos descomponen los compuestos presentes en la pulpa, facilitando así su separación de las semillas y dando lugar a la formación de productos químicos que atraviesan la cubierta exterior de las semillas. Además, se generan reacciones microbianas que provocan cambios en el interior del grano y crean un entorno microbiano propicio para el desarrollo de los parámetros organolépticos vinculados a la calidad, el sabor y el aroma (De Vuyst & Weckx, 2016).

El método de fermentación desempeña un papel fundamental en la determinación de la calidad del producto final, especialmente en el aroma (*flavour*). El proceso de fermentación se inicia al abrir los frutos maduros y amontonar las semillas, cubiertas de pulpa, en una pila o recipiente fabricado con diversos materiales. Al separar las HC de la pulpa, esta última se inocula naturalmente con diversos microorganismos presentes en el entorno. Las levaduras y bacterias se multiplican en la pulpa, descomponiendo los azúcares y reduciendo la viscosidad del mucílago al degradar polisacáridos como la pectina. La disminución de la concentración de pectina facilita que la pulpa se drene en su mayor parte en forma líquida, simplificando su eliminación. La fermentación resulta de una compleja interacción entre los componentes originales, los distintos microorganismos presentes y sus metabolitos. En este proceso, varios factores, como el cultivo de la planta, el grado de madurez de las mazorcas, las condiciones climáticas y las prácticas específicas de cada agricultor, ejercen influencia (Ozturk & Young, 2017).

El proceso de fermentación se descompone en dos etapas fundamentales: la fase anaerobia, en la que las levaduras convierten el azúcar en alcohol bajo condiciones de bajo oxígeno y un pH inferior a 4, y la fase en la que las BAL transforman los azúcares y ciertos ácidos orgánicos en ácido láctico. La evaluación de variables fisicoquímicas durante el

proceso de fermentación se relaciona directamente con la calidad final de las HC. La temperatura, los sólidos solubles totales, el pH y la acidez son parámetros críticos que afectan los atributos organolépticos de las HC (Sarbu & Csutak, 2019).

La relación entre la cantidad de grano y el tamaño del recipiente de fermentación influye en las variables fisicoquímicas de la pulpa y el grano, afectando así la calidad de la fermentación y la percepción sensorial de las HC. A medida que se incrementa la cantidad de grano y pulpa utilizada en la fermentación, los cambios en la temperatura de la masa impactan positivamente en la calidad, acidez e intensidad del aroma a cacao percibido en las HC. La proporción entre la masa del grano y el volumen del recipiente de fermentación se convierte en un factor crítico para regular la temperatura durante este proceso (Álvarez et al., 2018; Moreno-Martínez et al., 2019).

Habiendo revisado cómo la fermentación de las HC influye en las propiedades organolépticas del chocolate, resulta evidente que este proceso es fundamental para definir el perfil sensorial del producto final. Sin embargo, para alcanzar un nivel de precisión y consistencia aún mayor en estas características, la ciencia ha dirigido su atención hacia la utilización de cultivos iniciadores, los cuales prometen mejorar la eficiencia y la predictibilidad del proceso de fermentación y ofrecen una herramienta valiosa para manipular y optimizar las cualidades organolépticas del chocolate. En la siguiente sección, se revisará cómo su aplicación intencionada puede marcar la diferencia en la producción de chocolate, elevando la calidad y satisfaciendo las cambiantes preferencias del mercado.

5. Cultivos iniciadores

5.1. Cultivo iniciador

Un cultivo iniciador se refiere a una cepa o conjunto de microorganismos específicos que se utilizan al principio del proceso de fermentación. Su función principal es guiar y dirigir la fermentación para inducir cambios específicos en la composición química y en las características organolépticas del producto, buscando obtener un producto más homogéneo y de excelencia. La incorporación selectiva de un cultivo iniciador en un proceso de fermentación ofrece ventajas significativas, como un mayor control del proceso, una reducción en el riesgo de problemas durante la fermentación, una mayor estabilidad, la mejora del perfil sensorial y la garantía de la seguridad alimentaria del producto final (Sulieman, 2017).

Los cultivos iniciadores se consideran ingredientes alimentarios permitidos y se comercializan en forma de preparados que incluyen concentrados de una o más especies de microorganismos. La selección de microorganismos para la formulación de cultivos iniciadores destinados a la producción de alimentos y bebidas fermentadas implica un proceso sistemático que incluye pruebas de resistencia al estrés, evaluación de la producción de metabolitos de interés y valoración de parámetros tecnológicos de manera organizada. El objetivo es reducir el número de candidatos potenciales y seleccionar las cepas que posean la mayor cantidad de propiedades funcionales deseables, al tiempo que se descartan aquellas que puedan tener características no deseadas (Sulieman, 2017).

5.2. Cultivos iniciadores en la fermentación del cacao y características organolépticas

En las fermentaciones espontáneas tradicionales, los microorganismos ingresan de manera no controlada a la masa de fermentación, y su origen es variado, ya que pueden provenir del suelo, la cáscara de las mazorcas, de herramientas de cosecha, de manos de los agricultores, de cajas de fermentación y de las hojas de plátano utilizadas para el revestimiento (Díaz-Muñoz & De Vuyst, 2022). Este proceso espontáneo conlleva la falta de reproducibilidad del proceso y de las características organolépticas, además de aumentar el riesgo de contaminación por microorganismos no deseados.

La incorporación de cultivos iniciadores en la fermentación de las HC ha sido principalmente de carácter experimental, y son pocas las empresas que los utilizan en su proceso de producción. El propósito de estos cultivos iniciadores es mejorar la calidad final de las HC y homogeneizar los compuestos obtenidos durante la fermentación. Se han evaluado diversas combinaciones de cultivos iniciadores en el proceso de fermentación del cacao, siendo los grupos principales para esta tarea las levaduras, las BAL y las BAA, así como bacterias del género *Bacillus*.

Es fundamental identificar las especies presentes y determinar cuáles son dominantes, eligiendo levaduras y cepas bacterianas iniciales capaces de prevalecer sobre el proceso espontáneo. La capacidad del cultivo inicial para controlar la microbiota nativa es uno de los principales criterios para su utilización en la mejora de la calidad del cacao. Posteriormente, se deben seleccionar cepas con actividad pectinolítica para inducir la degradación del mucílago del grano de cacao, lo que facilitará el secado de las HC y la producción de metabolitos responsables del sabor del producto final (Salazar, 2017).

Durante la fermentación del cacao, una variedad de microorganismos iniciadores participa en la formación de compuestos esenciales para el proceso fermentativo, lo cual influye significativamente en las propiedades organolépticas

del producto final. Para mejorar la calidad de la fermentación, se han introducido cultivos iniciadores de microorganismos que son capaces de llevar a cabo este proceso de manera eficiente. Estos cultivos deben incluir al menos una cepa de cada grupo de microorganismos, como levaduras, BAL y BAA. Sin embargo, es esencial seleccionar cuidadosamente la cepa de BAL apropiada para evitar la sobreproducción de ácido láctico, lo cual podría impactar negativamente en la calidad de las HC (Batista et al., 2016; Moreno-Martínez et al., 2019).

En las fermentaciones de cacao, se encuentran una serie de microorganismos prominentes, incluyendo levaduras como *Pichia kluyveri*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia kudriavzevii*, *Torulaspota delbrueckii* y *Kluyveromyces marxianus*, que se utilizan como cultivos iniciales en el proceso de fermentación de las HC. Asimismo, destacan las BAL como *Lactiplantibacillus plantarum* y *Limosilactobacillus fermentum*, mientras que en el grupo de las BAA predomina *Acetobacter pasteurianus*, todas ellas han sido empleadas en la formulación de los cultivos iniciadores (Díaz-Muñoz & De Vuyst, 2022).

La diversidad de métodos de fermentación y cultivos iniciadores empleados en la producción de cacao, como se evidencia en la Tabla 1, demuestra la complejidad y la variabilidad de factores que influyen en las características finales del chocolate. La utilización de diferentes cepas de levaduras, BAL y BAA, junto con distintos métodos de fermentación como cajas de madera, bolsas de plástico o fermentadores continuos, resulta en perfiles organolépticos y fisicoquímicos únicos para cada variedad de cacao. Las investigaciones revelaron desde chocolates con notas más dulces y menos ácidas hasta aquellos que presentan mejoras en la puntuación hedónica y una influencia significativa en la producción de metabolitos. Este abordaje detallado destaca la importancia de entender y controlar el proceso de fermentación para obtener chocolates con características específicas, ofreciendo valiosa información para la industria chocolatera y los productores de cacao.

Tabla 1: Cultivos iniciadores y sus efectos en las características fisicoquímicas y organolépticas del chocolate.

Variedad	Método de fermentación	Cultivo iniciador	Efecto en chocolate	Referencias
<i>Theobroma cacao</i> L (PH15)	ND	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> , <i>Acetobacter pasteurianus</i> .	Diferencias significativas en el amargor, dulzor y notas a cacao comparados con la fermentación espontánea.	(Magalhães da Veiga Moreira et al., 2017)
Forastero	Cajas de madera	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> H5S5K23, <i>Lactobacillus fermentum</i> 222, <i>Acetobacter pasteurianus</i> 386B, <i>L. fermentum</i> 222 y <i>A. pasteurianus</i> 386B	Chocolates con características organolépticas estándares, superando las desviaciones de sabor.	(Lefeber et al., 2012)

<i>Theobroma cacao</i> L (híbridos CEPEC2002 Y FA13)	Cajas de madera	<i>Pichia kluyveri</i> CCMA-UFLA 0237, <i>Saccharomyces cerevisiae</i> CCMA-UFLA 0200	Chocolates menos ácidos y más dulces, influencia en la composición de compuestos orgánicos volátiles y cambios en el perfil proteico	(Moreira et al., 2021)
<i>Theobroma cacao</i> var. <i>Forastero</i>	Cajas de madera	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> MTCC 1703, <i>Lactobacillus plantarum</i> MTCC 5422, <i>Acetobacter aceti</i> MTCC 3347	Mejor puntuación en la escala hedónica realizada comprada con la fermentación espontánea e influencia en la producción de metabolitos (antocianinas, polifenoles y alcohol)	(Saunshi et al., 2020)
<i>Forastero</i>	Bolsas del plástico	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> var. <i>Chervalieri</i>	Aumento en el índice de fermentación (disminución del tiempo de fermentación) y degradación de la pulpa, así como en el contenido de acetato.	(Cempaka et al., 2014)
<i>Theobroma cacao</i> (granos brasileños y ghaneses)	Fermentador continuo	<i>L. plantarum</i> 80, <i>L. fabifermentans</i> LMG 24289 ^T , <i>L. cacaonum</i> LMG 24284 ^T	Incremento en la producción de ácido cítrico, manitol, producción de sabor mantequilla, acetoina y 2.3-butandiol	(Lefebvre et al., 2011)
<i>Forastero</i> (granos ghaneses)	Cajas de plástico	<i>Lactobacillus fermentum</i> L18, <i>Acetobacter pasteurianus</i> A149, <i>K. Marxianus</i> KM16-6	Mayores cantidades de 2- metoxifenol, benzil alcohol, fenil acolo, benzil acetato y fenetil acetato, así como obtención de sabores a caramelo, frutados, ácidos y amargos	(Crafack et al., 2014)
Cacao PBM 123, BR25, MCBC 1 Y MCBC 8	Matraces Erlenmeyer	<i>Haansenispora thailandica</i> MH979675 Y <i>Pichia kudruavxevii</i> MH979681,	Mayor contenido de polifenoles y flavonoides	(Ooi et al., 2020)
Trinitario	Cajas de madera	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> 120, <i>Lactobacillus plantarum</i> 14, <i>Lactobacillus fermentum</i> 16, <i>Acetobacter pasteurianus</i> 98, <i>Acetobacter tropicalis</i> 61	Perfil volátil más deseable, especialmente mayor contenido de alcoholes y aldehídos, menor acidez y mayor contenido en pirazinas	(Alvarez-Villagomez et al., 2022)
<i>Theobroma cacao</i> y <i>forastero</i> (granos ghaneses)	Bandejas de plástico	<i>Lactobacillus fermentum</i> L18, <i>Acetobacter pasteurianus</i> A149, <i>Kluyveromyces marxianus</i> KM16-6, <i>Pichia kluyveri</i> CB24-15	Mayor intensidad en la dulzura, sabores frutales, aroma a cacao, mayor acidez, amargor y astringencia	(Crafack et al., 2013)

6. Abreviaciones y acrónimos

BAL	bacterias ácido lácticas
BAA	bacterias ácido acéticas
CC	cacao Criollo
HC	habas de cacao

7. Conclusiones

En esta revisión fue analizada la influencia de la fermentación de las HC y la aplicación de cultivos iniciadores en la producción de chocolate. El enfoque se centró en las alteraciones que estas variables introducen en las características organolépticas del producto final. Los resultados de la revisión brindaron un panorama general de los factores que influyen en la calidad organoléptica del chocolate. El conocimiento brindado aquí en forma de revisión busca ser un valioso recurso para los involucrados en esta industria, desde los agricultores de cacao hasta los chocolateros y los consumidores del chocolate, que comparten una pasión por la creación y apreciación de chocolates excepcionales.

Esta revisión contribuyó al conocimiento al destacar la importancia de la fermentación y el uso de cultivos iniciadores en la fermentación del cacao. El uso de estos cultivos iniciadores proporciona diversas ventajas que impactan positivamente en la calidad final del producto. Permite un control preciso del proceso de fermentación, orientando la selección de cepas para dirigir cambios específicos en la composición química y las características organolépticas del cacao, resultando en un producto homogéneo. Reduce el riesgo de problemas durante la fermentación, al prevenir el crecimiento de microorganismos no deseados. Influyen en la producción de metabolitos clave, logrando un producto final con características organolépticas superiores. Además, contribuyen a la inocuidad alimentaria al utilizar microorganismos conocidos por su seguridad y beneficios para la salud. El control sobre la microbiota nativa facilita la selección de cepas con propiedades específicas, como la actividad pectinolítica, esencial para la calidad del cacao al facilitar la degradación del mucílago, el secado de las HC y la generación de metabolitos responsables del sabor final del producto.

Con base en todo lo anterior, se espera que estos hallazgos impulsen prácticas más informadas y estandarizadas en la producción de chocolate, beneficiando así a la industria y a los consumidores.

Referencias

- Abijaude, J., Sobreira, P., Santiago, L., & Greve, F. (2022). Improving Data Security with Blockchain and Internet of Things in the Gourmet Cocoa Bean Fermentation Process. *Sensors*, 22(8). DOI: 10.3390/s22083029
- Álvarez, C., Liconte, N., Pereira, Y., De Fariás, A., Buscena, I., & Lares, M. (2018). Perfil de calidad comercial del cacao venezolano (*Theobroma cacao* L.). *Novum Scientiarum*, 3(7), 21–32. <https://core.ac.uk/download/pdf/277658247.pdf>
- Álvarez-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. DOI: 10.1016/j.fbio.2022.101669
- Aptosoaie, 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. DOI: 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. DOI: 10.1007/s13197-015-2132-5
- Bertazzo, A., Comai, S., Mangiarini, F., & Chen, S. (2013). Composition of Cacao Beans. In *Chocolate in Health and Nutrition* (pp. 105–117). Humana Press. DOI: 10.1007/978-1-61779-803-0_8
- Calvo, A. M., Botina, B. L., García, M. C., Cardona, W. A., Montenegro, A. C., & Criollo, J. (2021). Dynamics of cocoa fermentation and its effect on quality. *Scientific Reports*, 11(1), 16746. DOI: 10.1038/s41598-021-95703-2
- Cempaka, L., Aliwarga, L., Purwo, S., & Penia Kresnowati, M. T. A. (2014). Dynamics of cocoa bean pulp degradation during cocoa bean fermentation: Effects of yeast starter culture addition. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, 46(1), 14–25. DOI: 10.5614/j.math.fund.sci.2014.46.1.2
- 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. DOI: 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. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2013.06.024
- De Vuyst, L., & Weckx, S. (2016). The cocoa bean fermentation process: from ecosystem analysis to starter culture development. In *Journal of Applied Microbiology* (Vol. 121, Issue 1, pp. 5–17). Blackwell Publishing Ltd. DOI: 10.1111/jam.13045
- Díaz-Muñoz, C., & De Vuyst, L. (2022). Functional yeast starter cultures for cocoa fermentation. *Journal of Applied Microbiology*, 133(1), 39–66. DOI: 10.1111/jam.15312
- Fang, Y., Li, R., Chu, Z., Zhu, K., Gu, F., & Zhang, Y. (2020). Chemical and flavor profile changes of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) during primary fermentation. In *Food Science & Nutrition* (Vol. 8, pp. 4121–4133). DOI: 10.1002/fsn3.1701
- Ferrera, L., Colas de la Noue, A., Strub, C., Guibert, B., Kouame, C., Grabulos, J., Montet, D., & Teyssier, C. (2021). Towards a starter culture for cocoa fermentation by the selection of acetic acid bacteria. *Fermentation*, 7(1). DOI: 10.3390/fermentation7010042
- Febrianto, N. A., Wang, S., & Zhu, F. (2022). Chemical and biological properties of cocoa beans affected by processing: a review. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 62, pp. 8403–8434). DOI: 10.1080/10408398.2021.1928597
- Fowler, M. S. (2008). Cocoa Beans: From Tree to Factory. In *Industrial Chocolate Manufacture and Use* (Vol. 3, pp. 10–47). Wiley. DOI: 10.1002/9781444301588.ch2
- Grassia, M., Salvatori, G., Roberti, M., Planeta, D., & Cinquanta, L. (2019). Polyphenols, methylxanthines, fatty acids and minerals in cocoa beans and cocoa products. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(3), 1721–1728. DOI: 10.1007/s11694-019-00089-5
- Lefeber, T., Janssens, M., Moens, F., Gobert, W., & De Vuyst, L. (2011). Interesting starter culture strains for controlled cocoa bean fermentation revealed by simulated cocoa pulp fermentations of cocoa-specific lactic acid bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(18), 6694–6698. DOI: 10.1128/AEM.00594-11
- 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. DOI: 10.1016/j.fm.2011.12.021
- Lima, L. J. R., Almeida, M. H., Rob Nout, M. J., & 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. DOI: 10.1080/10408391003799913
- Magalhães da Veiga Moreira, I., de Figueiredo Vilela, L., da Cruz Pedroso Miguel, M. G., Santos, C., Lima, N., & Freitas Schwan, R. (2017). Impact of a Microbial Cocktail Used as a Starter Culture on Cocoa Fermentation and Chocolate Flavor. *Molecules* (Basel, Switzerland), 22(5). DOI: 10.3390/molecules22050766

- Moreira, I., Costa, J., Vilela, L., Lima, N., Santos, C., & Schwan, R. (2021). Influence of *S. cerevisiae* and *P. kluyveri* as starters on chocolate flavour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(10). DOI: 10.1002/jsfa.11082
- Moreno-Martínez, E., Gavanzo-Cárdenas, Ó. M., & Rangel-Silva, F. A. (2019). Evaluation of the Physical and Sensory Characteristics of Cocoa Liquor Associated with Sowing Models. *Ciencia y Agricultura*, 16(3), 75–90. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_agricultura/article/view/98
- Mori Mestanza, D., Zuta Chamoli, V., Barrena Gurbillón, M. Á., Oliva Cruz, M., & Chávez Quintana, S. G. (2021). Análisis de los compuestos volátiles de cacao nativo fino de aroma de granos tostados y sin tostar. *Revista Científica Pakamuros*, 9(4), 133–147. DOI: 10.37787/pakamuros-unj.v9i4.243
- Ooi, T. S., Ting, A. S. Y., & Siow, L. F. (2020). Influence of selected native yeast starter cultures on the antioxidant activities, fermentation index and total soluble solids of Malaysia cocoa beans: A simulation study. *LWT-Food Science and Technology*, 122, 1–8. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.108977
- Othman, A., Ismail, A., Abdul Ghani, N., & Adenan, I. (2007). Antioxidant capacity and phenolic content of cocoa beans. *Food Chemistry*, 100(4), 1523–1530. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.12.021
- Ozturk, G., & Young, G. M. (2017). Food Evolution: The Impact of Society and Science on the Fermentation of Cocoa Beans. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(3), 431–455. DOI: 10.1111/1541-4337.12264
- Predan, G. M. I., Lazăr, D. A., & Lungu, I. I. (2019). Cocoa industry-from plant cultivation to cocoa drinks production. In *Caffeinated and Cocoa Based Beverages: Volume 8. The Science of Beverages (Vol. 8, pp. 489–507)*. Elsevier. DOI: 10.1016/B978-0-12-815864-7.00015-5
- Rodríguez-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. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.10.078
- Rodríguez-Velázquez, N. D., Chávez-Ramírez, B., Gómez De La Cruz, I., Vásquez-Murrieta, M.-S., & Estrada De Los Santos, P. (2022). El cultivo del cacao, sus características y su asociación con microorganismos durante la fermentación. *Alianzas y Tendencias BUAP*, 7(25), 36–51. DOI: 10.5281/zenodo.6326782
- Romero-Cortes, T., Salgado-Cervantes, M. A., García-Alamilla, P., García-Alvarado, M. A., del C Rodríguez-Jimenes, G., Hidalgo-Morales, M., & Robles-Olvera, V. (2013). Relationship between fermentation index and other biochemical changes evaluated during the fermentation of Mexican cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(10), 2596–2604. DOI: 10.1002/jsfa.6088
- Salazar, L. G. (2017). Aislamiento y caracterización de microorganismos durante el proceso de fermentación de *Theobroma Cacao L.* de la variedad “Chuncho” obtenida en Cuzco, Perú. *International Microbiology*, 13(3), 1–93. http://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/upch/1436/Aislamiento_SalazarAlvarez_Lilian.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Santander, M., Rodríguez, J., Vaillant, F. E., & Escobar, S. (2020). An overview of the physical and biochemical transformation of cocoa seeds to beans and to chocolate: Flavor formation. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition (Vol. 60, Issue 10, pp. 1593–1613)*. Taylor and Francis Inc. DOI: 10.1080/10408398.2019.1581726
- Sarbu, I., & Csutak, O. (2019). The Microbiology of Cocoa Fermentation. In *Caffeinated and Cocoa Based Beverages (pp. 423–446)*. Elsevier. DOI: 10.1016/B978-0-12-815864-7.00013-1
- 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 and Biotechnology*, 50(3), 272–280. DOI: 10.1080/10826068.2019.1689508
- Steinau Dueñas, I. A. (2017). Evaluación de la incidencia de la fermentación en la calidad del grano de cacao trinitario en Caluco, Sonsonate, El Salvador. *Agrociencia. Serie Fitociencia*, 1(1). <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/14635/1/13101640.pdf>
- Suliman, A. (2017). *Microbial Starter Cultures*. In Lambert Academic Publishing.
- Teneda Llerena, W. F. (2016). Mejoramiento del Proceso de Fermentación del Cacao. (*Theobroma cacao L.*) Variedad Nacional y Variedad CCN51. Universidad Internacional de Andalucía. DOI: 10.56451/10334/3743
- Toker, O. S., Palabiyik, I., & Konar, N. (2019). Chocolate quality and conching. In *Trends in Food Science and Technology (Vol. 91, pp. 446–453)*. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.tifs.2019.07.047
- Toker, O. S., Palabiyik, I., Pirouzian, H. R., Aktar, T., & Konar, N. (2020). Chocolate aroma: Factors, importance and analysis. In *Trends in Food Science and Technology (Vol. 99, pp. 580–592)*. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.03.035
- Wacher, M. del C. (2011). Microorganismos y chocolate. *Revista Digital Universitaria*, 12(4), 3–9. <http://www.revista.unam.mx/vol.12/num4/art42/art42.pdf>