

Microorganismos asociados en la fermentación y calidad de cacao

Microorganisms associated with the fermentation and quality of cocoa

Adrián Rico^{1*}, Karen Lozano¹, Kevin Trujillo¹,
Claudia Ordoñez¹, Kathryn Guzmán¹

¹. Centro de Formación Agroindustrial, SENA – Servicio Nacional de Aprendizaje, adrico@sena.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-6491-6929>.

¹. Centro de Formación Agroindustrial, SENA – Servicio Nacional de Aprendizaje, klozanor@sena.edu.co, <https://orcid.org/0009-0001-8953-4361>

¹. Centro de Formación Agroindustrial, SENA – Servicio Nacional de Aprendizaje, kstrujillo@sena.edu.co, <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0006-7318-7189>

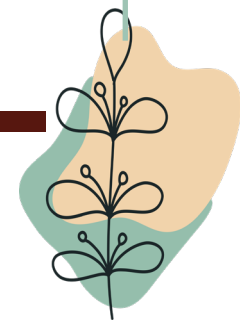
¹. Centro de Formación Agroindustrial, SENA – Servicio Nacional de Aprendizaje, cordoneze@sena.edu.co, <https://orcid.org/0000-0003-1095-4468>

¹. Centro de Formación Agroindustrial, SENA – Servicio Nacional de Aprendizaje, kyguzman@sena.edu.co, <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0003-3289-921X>

* Autor para correspondencia: adrico@sena.edu.co.

Como citar:

Rico, A., Lozano, K., Trujillo, K., Ordoñez, C., y Guzmán, K. (2024). Microorganismos asociados en la fermentación y calidad de cacao. *Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura*, 11(1), 49-79.



Resumen

La fermentación del cacao se inicia con la poscosecha, cuando la mazorca es cortada, retirados sus granos y depositados en recipientes para su proceso de transformación. Este proceso tiene una duración que oscila entre dos y diez días, dependiendo de las condiciones de temperatura ambiente, altitud, humedad relativa, sitio de fermentación, la cantidad de cacao fermentado, el grado de madurez de las mazorcas, el material genético y las prácticas particulares de cada agricultor. Los granos de cacao experimentan transformaciones de descomposición internas y externas al inducir cambios bioquímicos por acción de microorganismos (levaduras y bacterias). La degradación de la pulpa inicia con el contacto con los microorganismos que degradan los compuestos presentes, permitiendo la separación de las semillas y la formación de productos químicos que permean la testa y generan cambios en el cotiledón (dentro del grano). Cuando se producen los cambios de temperatura, se generan cambios dentro del proceso de fermentación que, combinados con los cambios de pH, dan origen al color y del sabor del grano. Una fermentación adecuada se alcanza con temperaturas entre 40°C y 50°C durante todo el proceso. La actividad principal de las levaduras fermentativas es convertir la sacarosa, la fructosa y la glucosa en etanol y CO₂. En este proceso se deben tener en cuenta, factores como el tamaño de la pila (cantidad), la edad de la mazorca después de la cosecha, el tiempo de fermentación, el tiempo de secado y el número y momento de las vueltas/mezclas durante la fermentación. Lograr uniformidad homogénea mejora la calidad y el desarrollo de sabor y aroma óptimos.

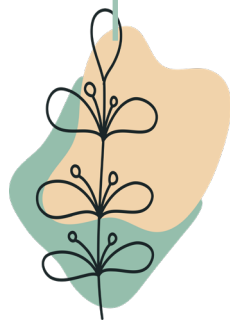
Palabras claves: Acidez, bacterias ácido lácticas, bacterias ácido acéticas, levaduras, pH, temperatura.



Abstract

Fermentation begins with the post-harvest, when the cocoa pod is cut, its beans removed and placed in containers for the fermentation process. The days of fermentation range from two to ten days, depending on the ambient temperature conditions, the fermentation site, the amount of fermented cocoa and the genetic material. Cocoa beans undergo internal and external transformations by inducing significant biochemical changes through the action of microorganisms (yeasts and bacteria). The genetic material, the state of ripeness of the pods, the conditions of temperature, altitude, relative humidity and the practices of each farmer are factors that are taken into account during this process. The degradation of the pulp begins with contact with the complex of microorganisms that degrade the compounds present, allowing the separation of the seeds and the formation of chemical products that permeate the testa and generate changes in the cotyledon (inside the bean). The death of the cotyledon cells degrades and increases their permeability, where the polyphenols (which produce the astringent taste) can diffuse into the adjacent cells where they meet various enzymes that cause hydrolytic reactions due to anaerobic conditions. When the temperature change is activated, changes are generated within the fermentation process, combined with pH changes, giving rise to the color and flavor formation of the grain. Adequate fermentation is achieved if the temperature is higher than 40°C and lower than 50°C during and until the fermentation time is completed. The main activity of fermentative yeasts is to convert sucrose, fructose and glucose into ethanol and CO₂. Several factors have been established in this process such as: the size of the pile (quantity), the age of the cob after harvest, the fermentation time, the drying time and the number and moment of the turns/mixes during fermentation. Achieving homogeneous uniformity improves quality, as well as a unique development of cocoa flavor and aroma.

Keywords: Acidity, lactic acid bacteria, acetic acid bacteria, yeasts, pH, temperature.



Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una fruta tropical muy valiosa por sus atributos medicinales (Tornés, 2013) su árbol tiene pequeñas flores que se encuentran en su tronco y ramas, encargadas de producir una mazorca que contiene granos cubiertos de mucílago rico en azúcares (García, 2017). Las almendras, son fuente de alimento e importancia económica por los niveles de exportación alcanzados (Vélez et al., 2022).

El cacao es originario de la cuenca del Amazonas y las regiones tropicales adyacentes (Montamayor et al., 2002), ha sido un cultivo fundamental para muchas economías desde la época de las civilizaciones precolombinas, como los mayas y aztecas (Alvarado et al., 2023). Estas culturas no solo utilizaban el cacao como bebida y en rituales religiosos, sino que también lo valoraban por sus propiedades benéficas para la salud, por su contenido de antioxidantes y flavonoides, que han demostrado tener efectos positivos en enfermedades cardiovasculares, reducción del estrés y la ansiedad (Oussou et al., 2022).

La calidad del grano de cacao está dada por el material genético, los procesos de cosecha, poscosecha, fermentación, secado y tueste, factores que afectan directamente la calidad final del chocolate (Afoakwa et al., 2008), porque son responsables de desarrollar el aroma y sabor característicos del cacao (Rosales-Valdivia et al., 2024). En este sentido, la selección y utilización de microorganismos desempeñan un papel fundamental en la fermentación del cacao, y por lo tanto, en la calidad final del producto.

La fermentación de los granos de cacao experimenta transformaciones internas y externas al inducir cambios bioquímicos (De Vuyst & Leroy, 2020) significativos por acción de microorganismos (levaduras y bacterias) que mejoran su calidad y forman precursores de sabor, aroma y color característicos de los productos finales (D'Souza et al., 2018). Este proceso, se realiza generalmente de forma espontánea y artesanal en las plantaciones de cacao, y puede diferir por regiones, países o de un productor a otro (Lima et al., 2011).

Los objetivos principales de la fermentación son: 1) eliminar el mucílago (provocado por la aireación de los granos, facilitando el secado posterior) y 2) proporcionar el calor (temperatura superior a 42°C) y el ácido acético necesarios para inhibir la germinación, garantizando la adecuada fermentación de los granos (Thompson et al., 2012). Los componentes de reserva de los cotiledones están distribuidos en 50% de grasa, 15% de compuestos fenólicos, 12% de proteínas y 7% de carbohidratos



(Kadow et al., 2013). Por esta razón, es importante asegurar la uniformidad de los granos en la fermentación, para que los precursores de aroma y sabor se desarrollen de manera proporcional.

Otra variable importante en la fermentación es el pH de la masa de fermentación. Al iniciar el proceso de fermentación el pH de la masa es de 3-4 y se debe principalmente al ácido cítrico (Guehi et al., 2010; Afoakwa et al., 2013). El mucílago contiene sustancias orgánicas (proteínas y azúcares) que favorecen el crecimiento de los microorganismos que intervienen en la producción de etanol, ácido láctico y ácido acético (Santander Muñoz et al., 2020). Estos compuestos se difunden en los granos a través de la testa y posteriormente, inducen reacciones bioquímicas como la hidrólisis de proteínas en los cotiledones que conducen a granos de cacao bien fermentados (Schwan y Wheals, 2004).

Cacao a nivel nacional e internacional

Los principales productores de cacao a nivel internacional están ubicados en regiones donde las condiciones climáticas son favorables para la productividad del cultivo, con alturas entre los 0 y 1200 msnm, temperaturas que oscilan entre 22°C y 30°C, precipitación anual de 1.500 mm a 2.500 mm (FINAGRO, 2020).

La producción mundial de cacao es de 5.874.582 toneladas, siendo los países africanos los mayores productores, con el 74,8% (4.009.000 t.), destacándose Costa de Marfil (37,9%) y Ghana (18,8%). En Asia, los países productores tienen una participación del 5,3% del mercado mundial, siendo Indonesia el mayor productor (667.296 t.). En el continente americano, Ecuador (5,7%), concentra la producción más alta, seguido de Brasil (4,7%), Perú (2,9%), República Dominicana (1,3%) y Colombia (1,1%) con el 15,7% de la producción mundial (FAO, 2023). En Colombia, el área sembrada y la producción entre los años 2014 a 2021 aumentó en un 21,3% y 36,5%, respectivamente.

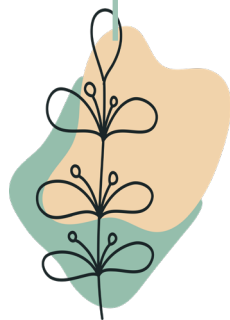
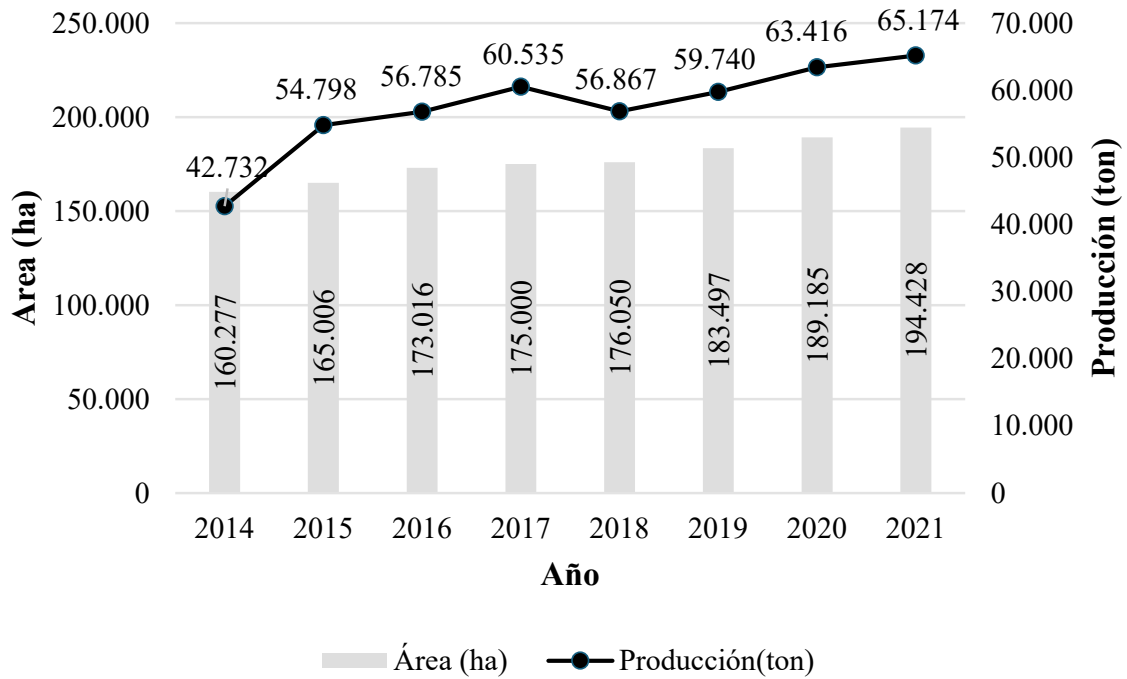


Figura 1.

Área sembrada y producción de cacao en Colombia 2014-2021.¹



Nota. Adaptada de MADR-FEDECACAO (2021)

Colombia se destaca por producir cacao fino en aroma y sabor, con una distinción del 5% de la producción del grano mundial (Cedeño et al., 2022). El departamento de Santander es el principal productor nacional, con una participación del 41% seguido de Antioquia (9%), Arauca (8%), Huila (8%), Tolima (7%) y Nariño (5%) (SIOC, 2021).

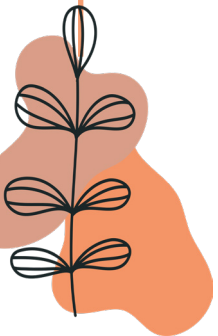
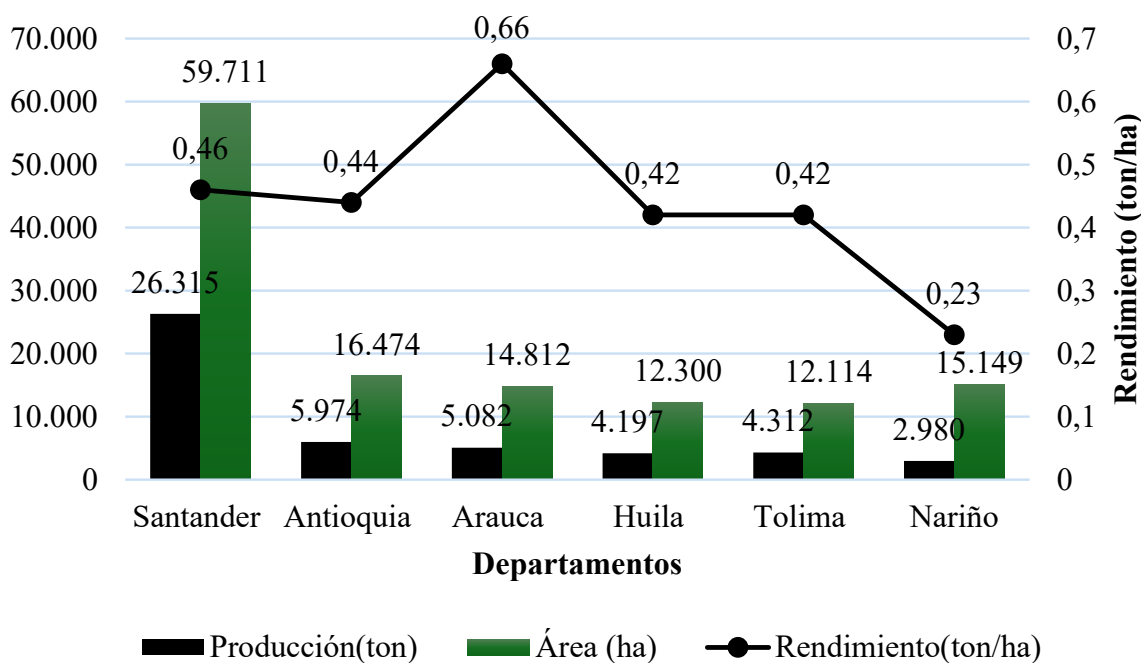


Figura 2.

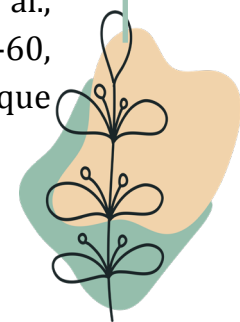
Producción, área sembrada y rendimiento de cacao en Colombia.



Nota. Adaptada de MADR-FEDECACAO (2021).

La buena calidad de la producción de cacao en Colombia proveniente de tres grupos morfogeográficos principales (González et al., 2018): Forastero, Criollo y Trinitario (Cheesman, 1944). El cacao Criollo, originario de América del Sur y América Central (De la Cruz et al., 2012) es el más cultivado en Colombia, pero por ser susceptible a plagas y enfermedades, ha venido siendo sustituido por el cacao forastero (Rodríguez et al., 2019), que cubre un 85% de la producción mundial, debido precisamente a la resistencia a plagas y enfermedades (Romero y Urrego, 2016). El Híbrido, también conocido como Trinitario, es un tipo de cacao de mayor resistencia y productividad, pero de menor calidad en comparación con el criollo (COCOTERRA, 2023; Andrade y Angulo, 2007).

En Colombia, desde mediados del siglo XX y hasta la primera década del siglo XXI, se propagaron de manera generalizada los cacaos híbridos, distribuyéndose en los departamentos de Santander, Arauca, Antioquia, Huila, Nariño y Tolima. Este cacao corresponde al cruzamiento natural entre los Forasteros y Criollos (Gordon et al., 2018). Los genotipos universales más conocidos son: el ICS-1, ICS-39, ICS-40, ICS-60, ICS-95, TSH-565, (Pinzón et al., 2014), originando una semilla híbrida comercial, que



amplió la diversidad de formas y colores del fruto, conservando la calidad genética del cacao fino y de aroma con herencia trinitaria (Aránzazu et al., 2009).

En Colombia existen aproximadamente 65.341 familias que cosecharon 63.416 t. de cacao en 189.185 ha (MADR, 2021). La importancia económica de las zonas cacaoteras en el país se debe principalmente al consumo interno de productos, sumada a las exportaciones que lo catalogan como cacao fino de aroma (95%) (Ríos et al., 2017; Swisscontact, 2014). presentando precios atractivos y diferenciados que han estado en constante crecimiento (Ríos et al., 2017).

A diferencia de otros países productores, Colombia tiene una demanda muy importante como materia prima en chocolatería, permitiendo el desarrollo de la industria nacional, facilitando la comercialización interna de la producción (Abbott et al., 2018). El dinamismo de la industria cacaotera ha contribuido con el recaudo de recursos económicos para el sector, permitiendo su crecimiento, innovación y desarrollo sistemas de servicios (Charry et al., 2019).

Fermentación en cacao

La fermentación inicia con la poscosecha, cuando la mazorca de cacao es cortada, retirados sus granos y depositados en un cajón de madera, recipiente plástico o en pilas, las cuales son cubiertas con hojas de *Musaseas spp.* o sacos (yute o fique) (Thompson et al., 2012). El material genético, el estado fitosanitario del cultivo, el rango de maduración de las mazorcas, las condiciones de temperatura, altitud, humedad relativa y las prácticas de cada agricultor, son los factores que inciden y se tienen en cuenta durante este proceso (Lima et al., 2011). Los días de fermentación oscilan entre dos y diez, de acuerdo con las condiciones de temperatura ambiente, sitio de fermentación, cantidad de cacao fermentado y material genético (Mendoza, 2020; Quevedo, 2018; Thompson et al., 2012; Álvarez et al., 2010; Cubillos et al., 2008).

La placenta une los granos de cacao que están envueltos por el mucílago (pulpa blanca y azucarada); constituido por 82%-87% de agua, 10%-15% de azúcar, 2%-3% de pentosanos, 1%-3% de ácido cítrico y 1%-1,5% de pectina convirtiéndolo en un medio favorable para el crecimiento microbiano (Afoakwa et al., 2008; Fowler y Coutel, 2017). Las levaduras, bacterias ácido lácticas (LAB) y bacterias ácido acéticas (AAB) se desarrollan en condiciones anaeróbicas y aeróbicas, respectivamente e intervienen en la fermentación de cacao (Rojas-Rojas et al., 2021).



La degradación de la pulpa inicia al contacto con los microorganismos que degradan los compuestos presentes, permitiendo la separación de las semillas y la formación de productos químicos que permean la testa y generan cambios en el cotiledón (dentro del grano) (Casco et al., 2023; Penagos, 2019). La muerte de las células del cotiledón degrada y aumentan su permeabilidad, donde los polifenoles (que producen el sabor astringente) se desplazan hacia las células adyacentes encontrándose con diversas enzimas que provocan reacciones hidrolíticas debido a las condiciones anaerobias. Si no se degradan, pasan al grano seco, provocando un color violeta de la almendra, que indica errores en el proceso de fermentación (Teneda, 2016).

Las levaduras presentes en la fase anaerobia, convierten el azúcar en alcohol en condiciones de bajo oxígeno con un pH inferior a 4, y las bacterias ácido lácticas, convierten los azúcares y algunos ácidos orgánicos en ácido láctico. En la fase aeróbica las bacterias del ácido acético (predominantes cuando la disponibilidad de oxígeno es mayor) son responsables de oxidar el alcohol en ácido acético (esta reacción es fuertemente exotérmica) y del aumento de la temperatura (**figura 3**), la cual puede aumentar hasta 50°C (122°F) (Afoakwa, 2016).

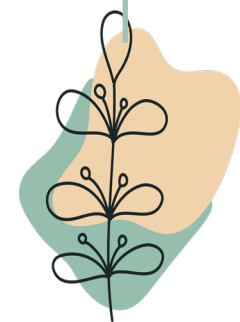
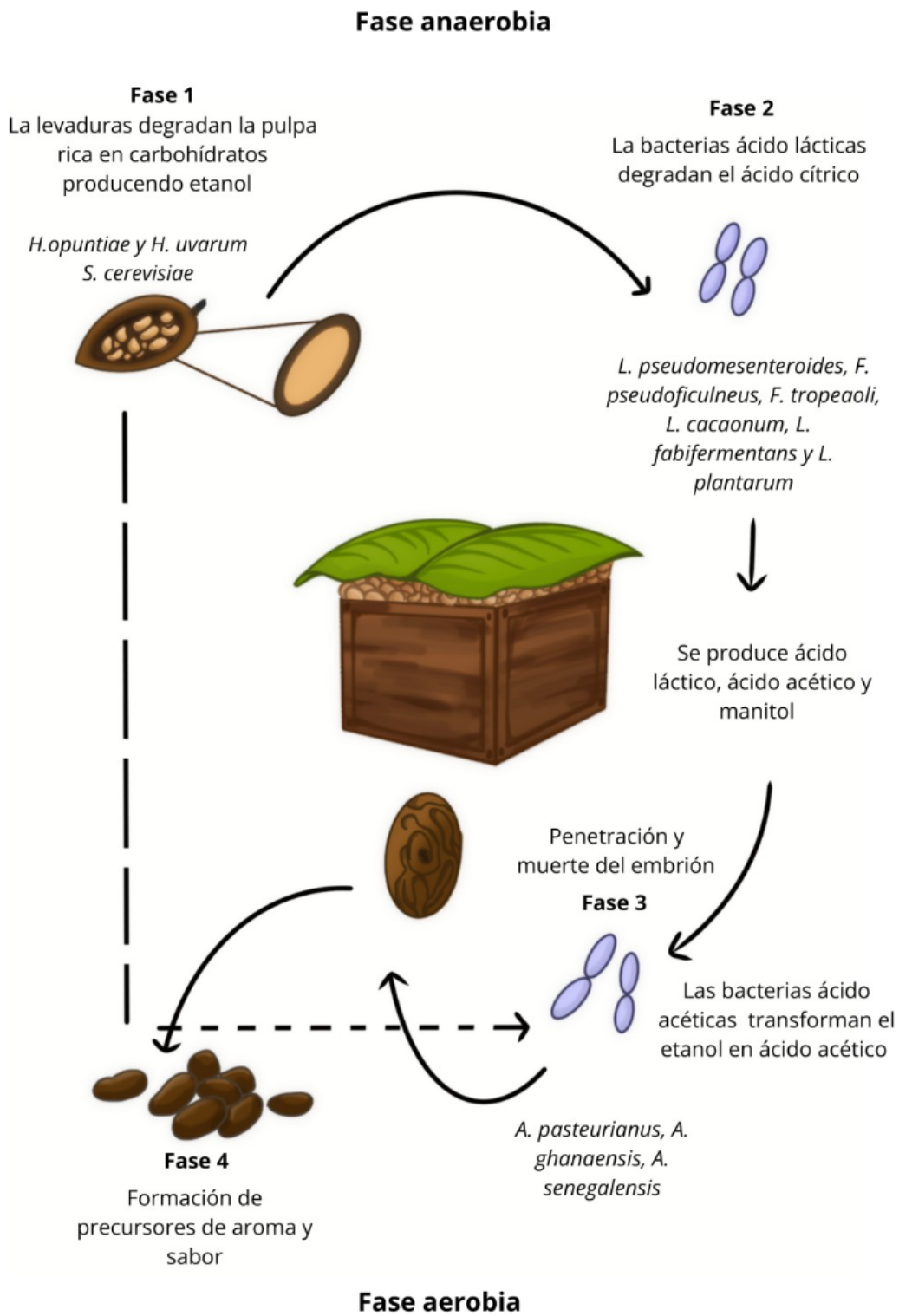


Figura 3.

Proceso de fermentación de los granos de cacao.



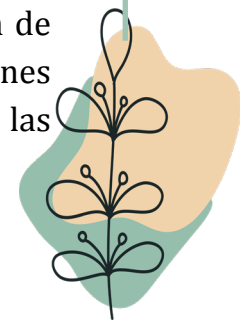
Al activarse el cambio de temperatura se generan cambios dentro de los granos de cacao en fermentación, que combinados con los cambios de pH, dan origen al color y sabor del grano (Viesser et al., 2021). Estos cambios producen compuestos como el etanol y el ácido acético, encargados de promover cambios fisicoquímicos importantes en las almendras (Ordoñez et al., 2019), así como cambios bioquímicos en el descenso del amargor y la astringencia, dando origen a los precursores del aroma y sabor a chocolate (Santander Muñoz et al., 2020; Ortiz et al., 2009). Es así cómo se desarrolla la pigmentación color marrón a partir de compuestos fenólicos (indicativo de la fermentación del grano), calidad física y química (Erazo et al., 2021).

La duración de la fermentación de cacao influye considerablemente en la calidad del producto, según el material genético, la altitud, la temporada de cosecha, las prácticas previas a la cosecha y el método de fermentación. Por ejemplo, la variedad Forastero, con su sabor pronunciado necesita de 5 a 8 días para asegurar el desarrollo completo de sus precursores de sabor, aroma y color; mientras que la variedad Criollo requiere un período más corto (Urbańska et al., 2021; Wood y Lass, 2008). La fermentación bien realizada es la condición previa para obtener un producto de buena calidad, pero si se realiza de manera incorrecta, la liberación de constituyentes aromatizantes específicos durante la fermentación será menor, reduciendo la calidad (Crafack et al., 2013).

Comportamiento de la temperatura y el pH durante la fermentación de cacao

El volumen mínimo para lograr una buena fermentación en el cacao es de 25 kg de granos húmedos (Mosquera et al., 2020; Schwan y Wheals, 2004). Desde el inicio de la fermentación hasta aproximadamente las 48 horas, la fermentación es anaeróbica debido a la densidad de la pulpa que recubre los granos; que cambia al momento de mover o airear la masa, causando enfriamiento temporal seguido de un aumento más rápido de la temperatura, generando una aireación que afecta la sucesión de los microorganismos (Bobiles et al., 2022). De acuerdo con Hatmi et al (2015) y Afoakwa et al (2008), la fermentación adecuada se alcanza con una temperatura superior a 40°C e inferior a 50°C durante todo el tiempo de fermentación.

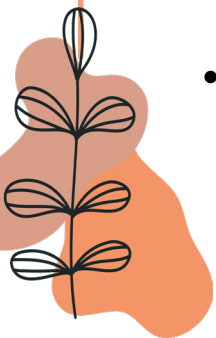
Según un estudio realizado por Bobiles et al (2022), para un proceso de fermentación (*Theobroma cacao* L.) a pequeña escala, con 5 kg de cacao húmedo más adición de cáscara de mazorca de cacao en nueve tratamientos (para mejorar las condiciones de temperatura), la temperatura inicial fue 28,8°C y 29,3°C, ascendió durante las



primeras 24 horas a 30,6°C - 41°C, a las 48 horas, a 35°C - 44°C, a las 72 horas, a 44,4°C - 48°C, a las 96 y 144 horas, a 45°C - 50°C. Mientras que el pH de la pulpa a las 0 horas osciló entre 3,85 y 4,02, a las 24 horas de fermentación estuvo entre 3,70 y 3,94. La tendencia continuó aumentando hasta el final de la fermentación, a las 144 horas, con pH entre 5,14 a 6,76 (Bobiles et al., 2022).

Por otro lado, Leal et al (2023) realizó un ensayo de fermentación durante dos años, evaluando la fermentación en cajones sin limpiar durante 168 horas y cajones limpios con 144 horas. En el primer año, la temperatura de fermentación aumentó gradualmente después de 48 horas en ambos tratamientos. Sin embargo, hubo un retraso en el aumento de la temperatura de la fermentación en la caja limpia, superando los 50°C después de 72 horas (el primer volteo ocurrió a las 96 horas). En la caja sin limpiar, el primer volteo se realizó a las 72 horas. La temperatura promedio en la caja sin limpiar y en la caja limpia fue de 48°C y 49,6°C, respectivamente. A continuación, se describen resultados obtenidos por Leal et al (2023):

- El comportamiento del pH inicial de la pulpa de la semilla en la caja sin limpiar y en la caja limpiada fue de 4,1 y 3,8 respectivamente, el pH inicial de los cotiledones fue de 6,5 y 6,3. En ambas fermentaciones, el pH de los cotiledones comenzó a disminuir después de 72 horas, llegando a valores inferiores a 5 a las 96 horas. El pH final de la pulpa de la semilla y del cotiledón fue similar en las dos cajas (caja sin limpiar: 4,7 y 4,6; caja limpia 4,9 y 4,8).
- Durante el segundo año, la temperatura de la masa de semillas de ambas fermentaciones aumentó después de 60 horas. En la fermentación de la caja sin limpiar, la masa de fermentación tardó más tiempo en alcanzar los 40°C (aprox. 80 horas), y los 50°C alrededor de las 84 horas (el primer volteo se produjo a las 96 horas). Después del primer volteo, la masa de fermentación no recuperó la temperatura, pero la mantuvo a 45°C para el siguiente volteo. Por el contrario, en la fermentación de la caja limpia, la masa de fermentación alcanzó los 40°C más rápido (alrededor de 70 horas), pero llegó a los 50°C sólo a las 120 horas. En la fermentación de caja limpia, el primer volteo de semillas se produjo a las 120 horas y fue el único que ocurrió. Las temperaturas de ambas fermentaciones superaron los 50°C en distintos momentos: en la caja sin limpiar a las 84 horas, y en la caja limpia a las 120 horas; la temperatura media fue de 47,7°C y 46,5°C, respectivamente.
- El pH inicial de la pulpa de la semilla en la caja sin limpiar y en la caja limpia fue de 3,8 y 3,9. El pH inicial de los cotiledones fue de 6,7 para cada fer-



mentación. Los valores se redujeron a 5,0 a las 96 horas. El pH final de la pulpa de la semilla en la caja sin limpiar y en la caja limpia fue de 5,8 y 4,6 y de 5 y 4,7 para los cotiledones.

El estudio anterior se relaciona con los metabolitos generados durante la fermentación, como el etanol y los ácidos láctico y acético, que pueden ingresar al cotiledón. Estas reacciones generan cambios en el pH, que pasa de neutro de 7 a valores más ácidos en el rango de 4-5,5, acompañada de un aumento de temperatura a 45°C o superior. Estas condiciones extremas provocan la inactivación del embrión y desencadenan reacciones enzimáticas en las que los productos resultantes se consideran precursores esenciales de aroma y sabor característicos del chocolate (Rosales-Valdivia et al., 2024).

El efecto del calor y la acidificación se pueden definir como factores clave en relación con la calidad del cacao. Además, se puede deducir que no son los microorganismos, sino sus metabolitos, los necesarios para una fermentación del cacao exitosa (Kadow et al., 2013).

Microorganismos asociados en las diferentes fases de la fermentación de cacao

El microbiota en la fermentación, se involucra en el proceso de degradación del mucílago de los granos de cacao, que influyen en el comportamiento de la temperatura de la masa fermentadora, el pH de la pulpa y la tensión de oxígeno (García-González et al., 2021; Camu et al., 2008). El pH inicial de la pulpa de cacao húmedo es aprox. 3,6; debido al ácido cítrico, el alto contenido de azúcar y el bajo suministro de oxígeno. Esto sucede debido a la estructura compacta que genera la masa del grano de cacao, favoreciendo la presencia de levaduras (las levaduras soportan concentraciones más altas de azúcar y toleran mejor pH bajos), que superan en número a las bacterias ácido lácticas –BAL– y otros organismos durante el primer día (Lima et al., 2011).

Las levaduras utilizan la pulpa ácida y rica en azúcares, para producir etanol con la presencia de algunas bacterias ácido lácticas. La actividad principal de las levaduras fermentativas es convertir la sacarosa, la fructosa y la glucosa en etanol y CO₂. En esta etapa, la acción de la levadura y las bacterias de ácido láctico, eleva la temperatura de la masa entre 30°C - 35°C después de 24 horas y a 35°C - 45°C después de 48 horas (Rojas-Rojas et al., 2021; Nielsen et al., 2007). El pH ácido de la pulpa de cacao se



debe al ácido cítrico, aunque permite el crecimiento de hongos, no es favorable para el crecimiento bacteriano, excepto para las BAL (Ouattara et al., 2016).

A medida que el aire comienza a penetrar en los granos debido a la degradación y la transpiración de la pulpa, la población de levadura disminuye y la población de bacterias del ácido láctico (BAL) aumenta. Alrededor de las 36 horas después de la fermentación, se espera que la población de BAL alcance su punto máximo. La aireación de los granos de cacao se mejora mediante la mezcla manual para ayudar a la penetración y uniformidad en la fermentación; la temperatura aumenta hasta los 45°C después de 72 horas y se mantiene entre los 45°C y 50 °C hasta que se completa la fermentación (Afoakwa et al., 2008).

En la figura 4, Oussou et al (2022) ilustra la liberación de precursores del aroma durante la fermentación del grano de cacao por cepas microbianas y sus actividades enzimáticas relacionadas, donde describe:

- Las proteínas en la pulpa de cacao y dentro de los granos, se metabolizan en péptidos y aminoácidos libres, es decir, precursores internos (tirosina, alanina y leucina) y precursores externos (fenilalanina) por reacción de proteólisis inducida por carboxipeptidasa y ciertas cepas de *Bacillus* y levaduras. Estos son los principales precursores del aroma.
- El ácido acético y el ácido láctico residual, con la acción colaborativa de enzimas endógenas como la endoproteasa aspártica y la carboxipeptidasa activan la producción de los precursores del aroma. La fructosa y la glucosa obtenidas a partir de la sacarosa por la invertasa presente en las levaduras, forman los precursores de los componentes del aroma durante la primera etapa de la fermentación. Las moléculas de sacarosa dentro de los granos también se convierten en glucosa y fructosa por la difusión de etanol, ácido acético y ácido láctico junto con la combinación de calor.
- La fructosa y la glucosa desarrollan activamente las sustancias aromáticas mediante la reacción de aminoácidos y péptidos en el segundo y tercer paso del proceso de poscosecha. Todos los precursores del aroma producidos por la acción microbiana durante la fermentación, son casi similares, la diferencia está en la cantidad, que se puede dar debido al tipo de fermentación, las prácticas, el clima, las condiciones previas a la cosecha y los factores geográficos.

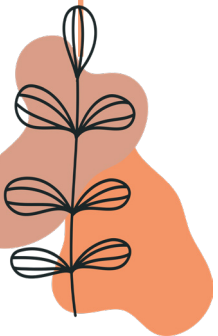
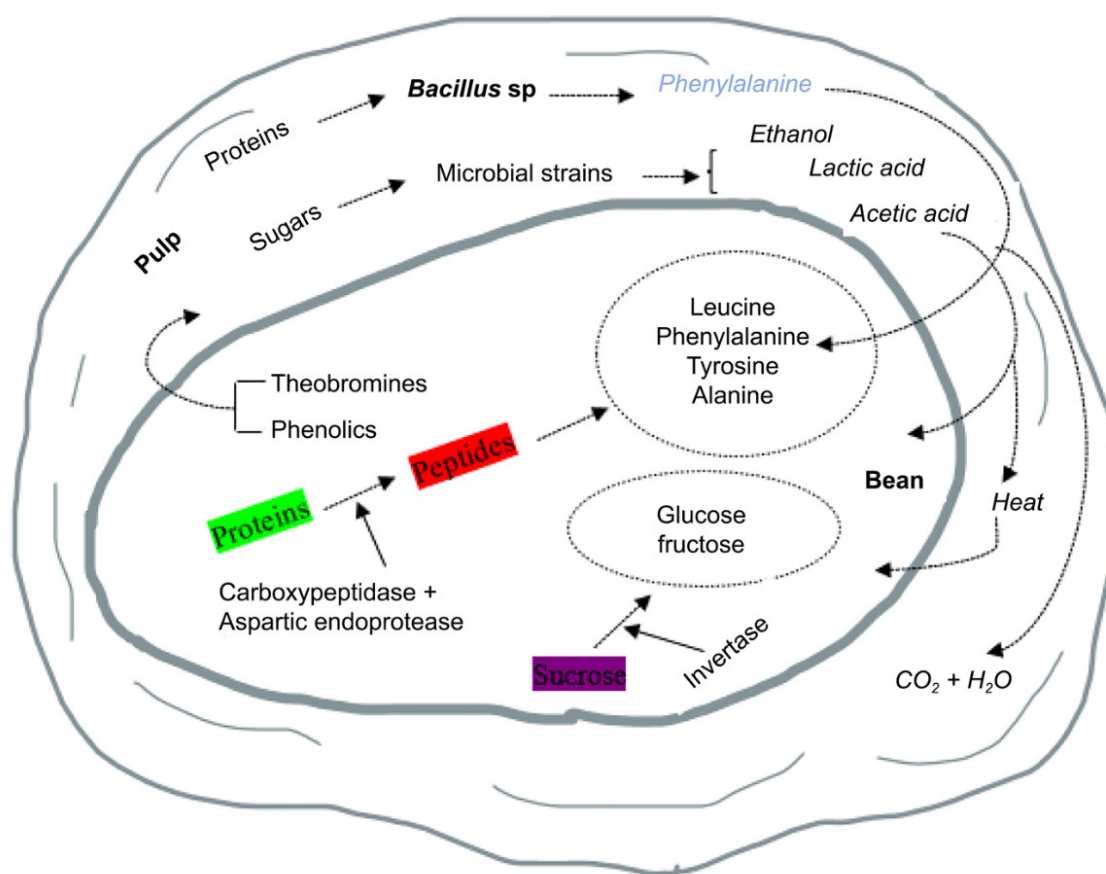


Figura 4.

La liberación de precursores del aroma durante la fermentación del grano de cacao por cepas microbianas y sus actividades enzimáticas relacionadas.



Nota. Oussou et al (2022)

En otros estudios relacionados por Tigrero-Vaca et al (2022), identificaron cambios en la abundancia relativa de taxones bacterianos a lo largo del período de fermentación (**figura 5**). Detectaron un total de 136 géneros bacterianos y 402 especies mediante NGS (métodos de secuenciación dependiente del cultivo y de próxima generación). Los géneros más abundantes al inicio del proceso de fermentación (0 h) fueron *Vibrio*, *Ktedonosporobacter* y *Halobacteroides*. Además, las especies más encontradas en esta etapa de la fermentación fueron *Vibrio anguillarum*, *Halobacteroides halobios* y *Ktedonosporobacter rubrisoli*. Entre las BAL, los géneros *Limosilactobacillus* y *Ligilactobacillus* tuvieron mayor abundancia relativa en las muestras; y en cuanto



a las especies, las más encontradas incluyeron *Limosilactobacillus fermentum* y *Lacticaseibacillus zae*.

Las siguientes 24 horas de fermentación del cacao de aroma fino estuvieron marcadas por la presencia de géneros ambientales, como *Staphylococcus* y *Vibrio*, que estuvieron representados principalmente por *Staphylococcus aureus* y *Vibrio anguillarum*. En este punto temporal de fermentación, los géneros y especies de BAL más abundantes fueron *Limosilactobacillus*, *Acetilactobacillus*, *Limosilactobacillus fermentum* y *Lacticaseibacillus zae*.

El segundo día de fermentación (48 h) estuvo dominado por los géneros ambientales *Zymomonas* y *Erwinia*. Los géneros de BAL también fueron abundantes e incluyeron *Liquorilactobacillus* y *Lentilactobacillus*. Las especies con mayor abundancia relativa en este momento de fermentación fueron *Escherichia coli*, *Vibrio anguillarum*, *Limosilactobacillus fermentum* y *Lacticaseibacillus zae*.

Después de 72 horas de fermentación, los géneros bacterianos más abundantes fueron *Escherichia*, *Pantoea*, *Staphylococcus*, *Limosilactobacillus*, *Lentilactobacillus* y *Acetobacter*. Además, entre las especies prevalentes se encontraron *Escherichia coli*, *Staphylococcus cohnii*, *Vibrio anguillarum*, *Limosilactobacillus fermentum*, *Lacticaseibacillus zae* y *Acetobacter pasteurianus*.

Finalmente, al final de la fermentación (96 h), los géneros y especies más numerosos fueron *Acetobacter*, *Alkalihalobacillus*, *Limosilactobacillus*, *Lentilactobacillus*, *Acetobacter sp.*, *Alkalihalobacillus clausii*, *Limosilactobacillus fermentum* y *Lentilactobacillus hilgardii*.

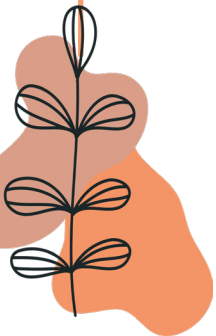
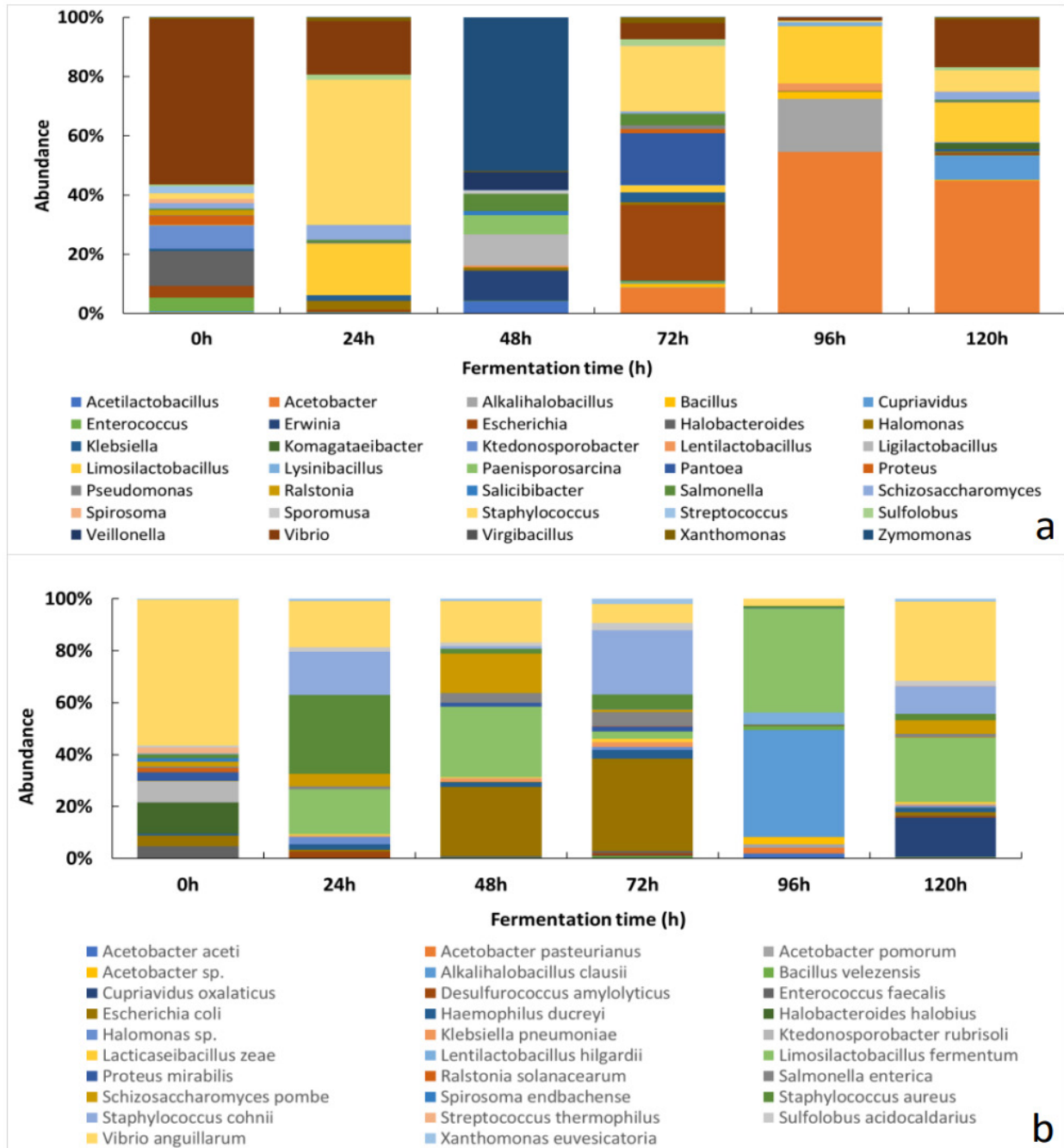
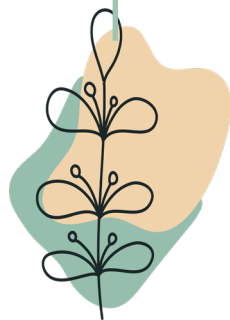


Figura 5.

Abundancia relativa de taxones bacterianos en la fermentación del cacao de sabor fino: (a) 30 géneros bacterianos más abundantes; (b) 30 especies bacterianas más abundante.



Nota. Tigrero-Vaca et al (2022)



Además, hallaron a lo largo del periodo de fermentación un total de 42 géneros y 57 especies de hongos mediante análisis NGS (**figura 6**). Al inicio de la fermentación (0 h), géneros como *Botrytis*, *Tetrapisispora*, *Pichia* y *Cándida* mostraron la mayor abundancia relativa, mientras que las especies más detectadas fueron *Cándida glabrata*, *Cándida orthopsilosis*, *Pichia kudriavzevii* y *Botrytis cinerea*.

Después de 24 h de fermentación, *Pichia*, *Cándida*, *Botrytis* y *Pochonia* fueron los géneros más observados, mientras que *Pichia kudriavzevii*, *Cándida glabrata*, *Botrytis cinerea* y *Pochonia chlamydosporia* fueron las especies más abundantes.

Después de 48 horas de fermentación, *Cándida*, *Pichia* y *Botrytis* fueron los géneros más abundantes, mientras que *Cándida glabrata*, *Pichia kudriavzevii* y *Botrytis cinerea* mostraron la mayor cantidad entre las especies de hongos detectadas.

Después de 72 horas de fermentación, los géneros de hongos más encontrados fueron *Fusarium*, *Kazachstania*, *Botrytis*, *Cándida* y *Zygosaccharomyces*, y las especies de hongos más abundantes, los *Fusarium fujikuroi*, *Botrytis cinerea*, *Cándida glabrata* y *Zygosaccharomyces rouxii*.

La última etapa de fermentación (96 h) se caracterizó por la presencia de géneros, como *Pichia*, *Cándida* y *Lachancea*, que estuvieron representados principalmente por *Pichia kudriavzevii*, *Cándida glabrata* y *Lachancea thermotolerans*.

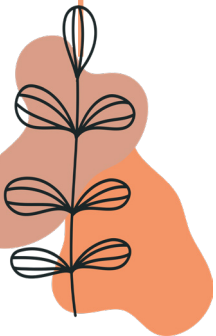
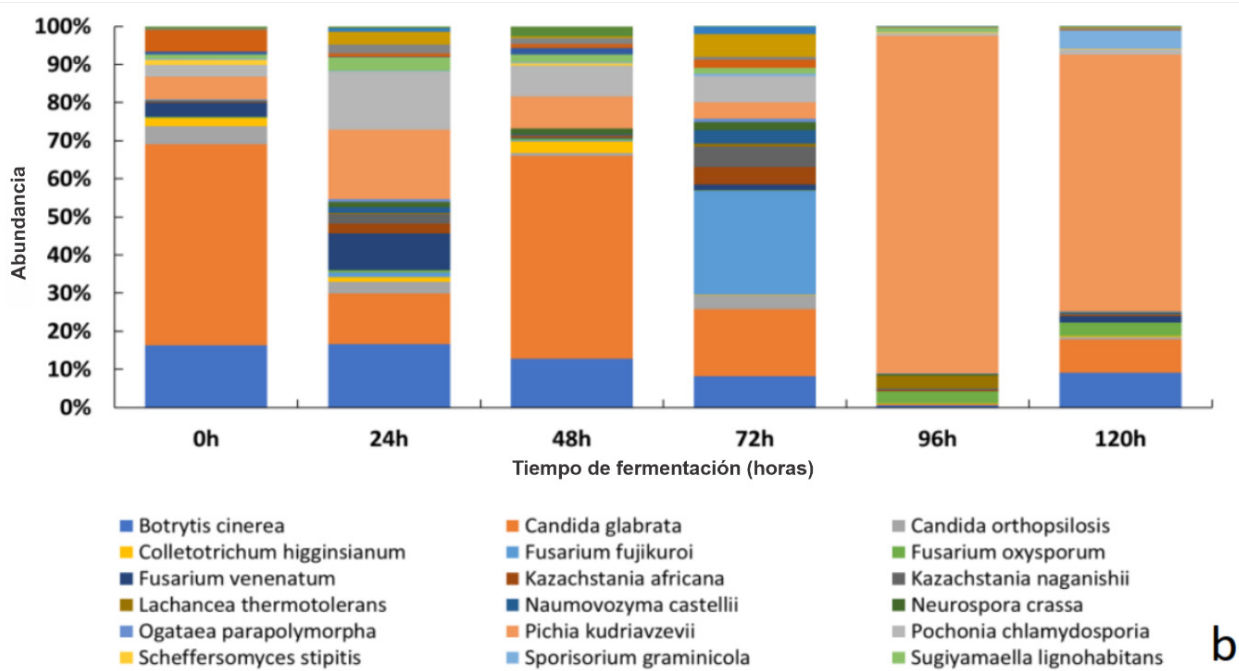
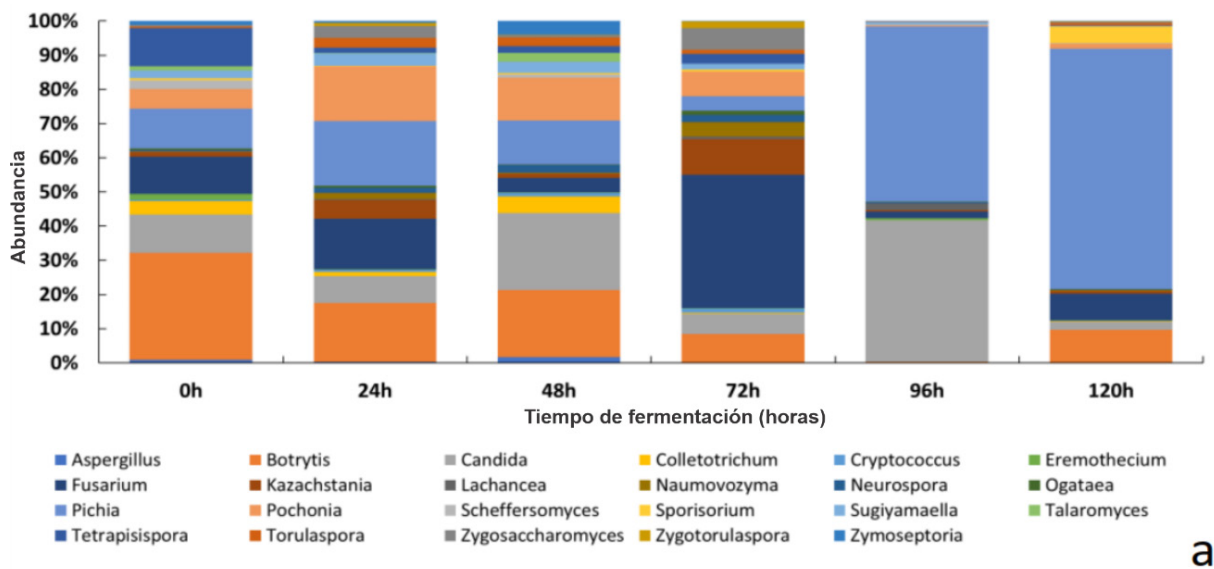
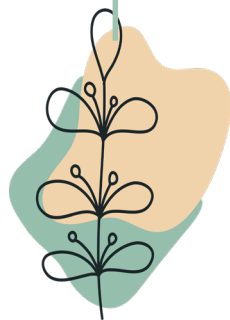


Figura 6.

Abundancia relativa de taxones de hongos en diferentes momentos de fermentación: (a) 30 géneros de hongos más abundantes; (b) 30 especies de hongos más abundantes.



Nota. Tigrero-Vaca et al (2022)



Por otro lado, Leal et al (2023) realizaron aislamientos de levaduras en la pulpa de la semilla de cacao presentes en la fermentación de cajones limpios (168 horas) y sin limpiar (144 horas) (**tabla 2**). La especie más frecuente en ambas fermentaciones fue *W. anomalus*, pero su representatividad fue menor en las realizadas en la caja limpia. El recuento más alto de levaduras se presentó en las primeras 48 horas, después de las 72 horas disminuyó y se estabilizó hasta finalizar la fermentación.

Tabla 2.

Especies de levadura, número de aislamientos y frecuencia relativa obtenidos durante el 1er año en la pulpa de semillas fermentadas de la caja de fermentación limpia y sin limpiar.

Especies de levadura	Caja sin limpiar		Caja limpia	
	Total	%	Total	%
<i>Wickerhamomyces.anomalus*</i>	26	54,2	23	33,8
<i>Cándida quercitrusa</i>	6	12,5	5	7,4
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	5	10,4	4	5,9
<i>Cándida sp.</i>	4	8,3	7	10,3
<i>Wickerhamomyces sp.</i>	2	4,2	4	5,9
<i>Cándida intermedia</i>	1	2,1	13	19,1
<i>Pichia manshurica</i>	1	2,1	4	5,9
<i>Torulaspora delbrueckii</i>	1	2,1	4	5,9
<i>Pichia galeiformis</i>	1	2,1	1	1,5
<i>Meyerozyma guilliermondii</i>	1	2,1	0	0
<i>Pichia kluyveri</i>	0	0	1	1,5
<i>Cándida natalensis</i>	0	0	1	1,5
<i>Saccharomyces chevalieri</i>	0	0	1	1,5
Total	48	100	68	100

Nota **Wickerhamomyces anomalus* es sinónimo de *Cándida pelliculosa*, *Pichia anómala*, *Hansenula anómala*.



Criterios de calidad del grano de cacao como resultado de la fermentación

Los comerciantes prefieren comprar granos húmedos de cacao a los pequeños agricultores, ya que no es común encontrar uniformidad en los granos comerciales, reduciendo las oportunidades de agregar valor (Bobiles et al., 2022). Esta situación se presenta porque no se cuenta con el volumen de granos húmedos necesario para fermentar (Schwan y Wheals, 2004). Una fermentación adecuada requiere al menos 25 kg de granos de cacao para alcanzar la temperatura requerida (45°C - 50°C) (Afoakwa et al., 2008), siendo esta, una cantidad muy elevada para la mayoría de los pequeños cacaocultores que cuentan con áreas menores a tres hectáreas (MinAgricultura, 2021), y no tienen otra opción que vender los granos recién cosechados, omitiendo el proceso de fermentación (Ramos, 2016).

La fermentación es un parámetro que influye en la calidad de los granos fermentados (Rojas-Rojas et al., 2021). En este proceso se han establecido las variables que afectan el óptimo desarrollo de la fermentación: 1) el tamaño de la pila que depende de la cantidad de cacao a fermentar 2) el estado de maduración de la mazorca después de la cosecha, 3) el tiempo de fermentación, 5) el tiempo de secado y 6) el número y momento de los volteos durante la fermentación (Morales, 2020; Camu et al., 2008).

La fermentación del cacao induce cambios bioquímicos en los granos que dan lugar a diferentes calidades: granos pizarrosos (sin fermentar), violetas (poco fermentados) y marrones (completamente fermentados). Esta heterogeneidad de calidad en un conjunto de muestras puede afectar la calidad de los productos finales (Tchouatcheu et al., 2019). En Colombia, la calidad del grano de cacao se realiza a través de la Norma Técnica Colombiana NTC 252:2021, donde se establece la metodología sobre los requisitos de calidad (evalúa presencia de hongos, insectos, impurezas o materias extrañas, residuos y granos planos en granos de cacao secos, porcentaje de humedad y clasificación del grano).

Asimismo, a través de la prueba de guillotina (corte longitudinal a 100 granos de cacao por muestra) (Machado et al., 2018), se evalúan mediante observación, los granos dañados por insectos, germinados y mohosos, además de la coloración interna, clasificándolos en: 1) granos completamente fermentados, 2) parcialmente fermentados, y 3) sin fermentar (NTC 1252, 2021). Los valores para clasificar como grano de cacao premium, deben superar el 70% de granos bien fermentados, masa (peso) en gramos de 100 granos y contenido de humedad del 7%, entre otros (**tabla 3**).

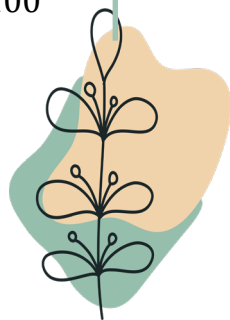


Tabla 3.

Clasificación del cacao en grano para comercialización nacional.

Requisitos físicos y químicos	Clasificación del cacao en grano		
	Premium/ Especial	Estándar	Corriente
Granos bien fermentados, en % mín.	70	65	55
Granos insuficientemente fermentados y violetas, en % máx.	30	35	45
Masa (peso) en gr. de 100 granos	>120	95-120	<95
Contenido de humedad, en % fracción de masa, máx.	7	7,5	7,5
Tolerancias para el cacao en grano			
Contenido de impurezas o materias extrañas, en % fracción de masa, máx.	0	0,3	0,5
Grano con moho interno, número de granos/100 granos, máx.	1	3	5
Grano dañado por insectos o germinados o ambos, número de granos/100 granos, máx.	1	2	3
Contenido de grano partido, número de granos/100 granos, máx.	1	2	5
Contenido de almendra en % fracción de masa, mín.	n.a.	n.a.	40-60
Granos sin fermentar (pizarrosos), en %, máx.	1	3	5
n.a.:	No es aceptable.		
Fracción de masa:	Fracción de la masa que se evalúa respecto a la masa total.		
	El término almendra se refiere al cotiledón o fragmento de cotiledón del grano de cacao.		

Nota. NTC 1252 de 2021

En este sentido, Machado et al (2023) en evaluación de la calidad física y sensorial de grano de *Theobroma cacao* L. en respuesta a procesos de beneficio en municipios del norte del departamento del Huila, encontraron porcentajes de granos bien fermentados entre 48% y 57,67%, clasificándose en la categoría de grano corriente, y granos insuficientemente fermentados con valores que oscilaron en 21,83% y 30,67%.



Estos resultados se pueden dar por un establecimiento inadecuado de protocolos de fermentación. Lo anterior se relaciona con lo propuesto por Murcia-Artunduaga et al (2022), quienes mencionan una relación entre el porcentaje de granos insuficientemente fermentados y el proceso de fermentación de cacao.

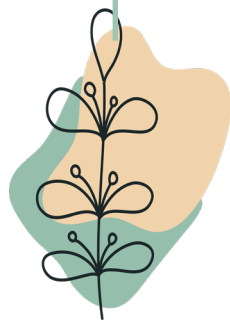
El valor agregado en la venta de granos fermentados será significativo para los agricultores cuando se disponga de la tecnología para fermentar pequeños volúmenes. Dado que el volumen de material fermentable es un requisito (Bobiles et al., 2022). En la actualidad, el proceso de fermentación del cacao que se practica en nuestro planeta es, en su mayoría de forma tradicional. El arte de utilizar cultivos iniciadores para sustituir los microorganismos naturales en la fermentación del cacao, es crucial para el desarrollo del aroma y el sabor, con el fin de lograr uniformidad sostenible y mejora de la calidad, (Hirko et al., 2023).

Conclusiones

El cacao colombiano presenta características particulares en el mercado por estar clasificado como fino y aroma. Los atributos dependen inicialmente del cultivar de la planta, el estado de maduración de las mazorcas, las condiciones climáticas y las prácticas particulares de cada agricultor. El papel de los microorganismos en las fases anaeróbicas y aeróbicas son esenciales para degradar el mucílago y aumentar la temperatura para proporcionar el calor y el ácido acético necesarios para inhibir la germinación de los granos que interviene finalmente en la calidad.

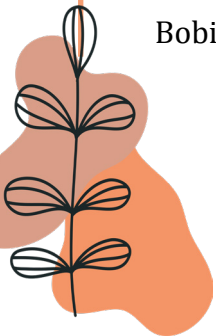
Conflicto de intereses

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un posible conflicto de intereses.

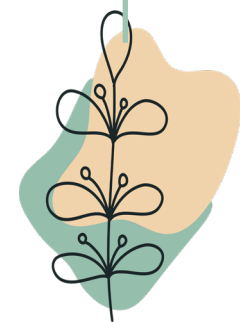


Referencias bibliográficas

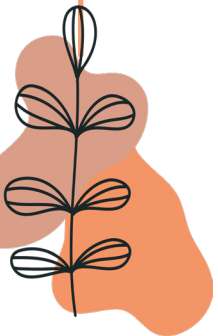
- Abbott, P. C., Benjamin, T. J., Burniske, G. R., Croft, M. M., Fenton, M., Kelly, C. R., Lundy, M., Camayo, R., Wilcox, M. D. (2018). An analysis of the supply chain of cacao in Colombia. Pudue University and the International Center for Tropical Agriculture (CIAT). 208 p.
- Afoakwa, E., Paterson, 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. <https://doi.org/10.1080/10408390701719272>
- Afoakwa, E., Kongor, J., Takrama, J., & Budu, A. (2013). Changes in nib acidification and biochemical composition during fermentation of pulp pre-conditioned cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Food Research Journal*, 20(4), 1843–1853. <https://csirspace.foodresearchgh.org/handle/123456789/1338>
- Afoakwa, E. (2016). History, origin and taxonomy of cocoa. *Chocolate Science and Technology*. <https://doi.org/10.1002/9781118913758.ch1>
- Álvarez, C., Tovar, L., García, H., Morillo, F., Sánchez, P., Girón, C., De Farias, A. (2010). Evaluación de la calidad comercial del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) usando dos tipos de fermentadores. *Revista científica UDO agrícola*, 10(1), 76-87. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3909942>
- Alvarado, M. C., Sanchez, P. D. C., & Polongasa, S. G. N. (2023). Emerging rapid and non-destructive techniques for quality and safety evaluation of cacao: recent advances, challenges, and future trends. *Food Production, Processing and Nutrition*, 5(1), 40. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s43014-023-00157-w>
- Andrade-Aguirre, CM y Angulo-Reynoso, V. (2007). La viabilidad económica del cultivo del cacao en México a través de una economía sostenible (Tesis de pregrado). Universidad de las Américas Puebla. http://caterina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lri/andrade_a_cm/
- Aranzazu, F., Martínez, N., Palencia, G., Coronado, R., Rincón, D. (2009). Manejo del recurso genético para incrementar la producción y productividad del sistema de cacao en Colombia. Unión Temporal Cacao de Colombia Uno. FEDECACAO, CORPOICA y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 29 –109p.
- Bobiles, S. C., Elegado, F. B., Millena, C. G., & Merca, F. E. (2022). Small-scale cacao (*Theobroma cacao* L.) fermentation process utilizing cacao pod husk. *Food Research*, 6(4). [https://doi.org/https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(4\).502](https://doi.org/https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(4).502)



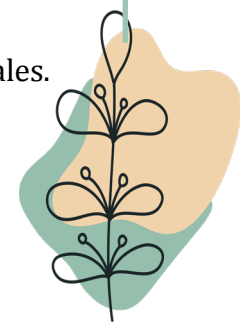
- Briones, M. Q., & Zambrano, J. C. (2023). Capacidad exportadora y su incidencia en la internacionalización de las pequeñas y medianas empresas productoras de cacao orgánico en la provincia de Manabí. *593 Digital Publisher CEIT*, 8(2), 80-89. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9124229>
- Charry, A., Castro-Llanos, F., Castro-Nuñez, A. (2019). Estudio de línea base de la cadena del cacao en Colombia: Oportunidades y limitaciones para el desarrollo de la cadena, la conservación y restauración de bosques y la construcción de paz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira, Valle del Cauca. 57p.
- Cheesman, E.E. (1944). Notes on the nomenclature, classification and possible relationships of cocoa population. *Trop. Agric.* 21: 144-159. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19451600059>
- Casco, M., Murillo, G., Soria, G., Murillo, H. (2023). Métodos de fermentación en el cacao ccn-51 con norma inen 176 en la parroquia Guasaganda. *Polo del Conocimiento*, 6 (8) 613 – 633. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i6>
- Camu, N., de Winter, T., Addo, S. K., Takrama, J. S., Bernaert, H., & de Vuyst, L. (2008). Fermentation of cocoa beans: influence of microbial activities and polyphenol concentrations on the flavour of chocolate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(13), 2288–2297. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.3349>
- 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. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.06.024>
- COCOTERRA. (2023). 10 distinct varieties of cacao: Ultimate cacao guide. Disponible en <https://www.cocoterra.com/10-distinct-varieties-of-cacao/>
- D'Souza, R. N., Grimbs, A., Grimbs, S., Behrends, B., Corno, M., Ullrich, M. S., & Kuhnert, N. (2018). Degradation of cocoa proteins into oligopeptides during spontaneous fermentation of cocoa beans. *Food Research International*, 109, 506–516. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.068>
- De Vuyst, L., & Leroy, F. (2020). Functional role of yeasts, lactic acid bacteria and acetic acid bacteria in cocoa fermentation processes. *FEMS Microbiology Reviews*, 44(4), 432–453. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/femsre/fuaa014>



- De La Cruz-Medina, J., Vargas-Ortiz, M., & Del Ángel-Coronel, O. (2012). Cacao: operaciones poscosecha. Food and Agriculture Organization Of the United Nations (FAO). <http://www.fao.org/3/a-au995s.pdf>
- FAO. (2023). With major processing by Our World in Data. "Cocoa bean production – FAO" [dataset]. Food and Agriculture Organization of the United Nations, "Production: Crops and livestock products". <https://ourworldindata.org/grapher/cocoa-bean-production>
- FINAGRO. (2020). Ficha de inteligencia: Cacao. Unidad de Gestión de Riesgos Agropecuarios (UGRA). Bogotá, D.C.
- García-Alamilla, P., Hernández-Hernández, C., y Salgado-Cervantes, M. A. (2017). La fermentación del cacao: procesos bioquímicos y su impacto en la calidad del chocolate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1073-1087.
- García-González, E., Ochoa-Muñoz, A. F., Montalvo-Rodríguez, C., Ordoñez-Narvaéz, G. A., Londoño-Hernández, L. (2021). Sucesión microbiana durante la fermentación espontánea de cacao en unidades productivas. *Ciencia en Desarrollo*, 12 (2). 21-30. <https://doi.org/10.19053/01217488.v12.n2.2021.12242>
- González, R., Silva, N., Calderón, A., & Castañeda, D. (2018). Evaluación y caracterización de clones regionales de cacao en la subregión del Urabá antioqueño: fase i. *Revista Nova*, 4, 21–30. <https://doi.org/10.23850/25004476.2022>
- Gordon, R. A. G., Silva, N. D., Calderón, A. S., & Sánchez, D. A. C. (2018). Evaluación y caracterización de clones regionales de cacao en la subregión del Urabá antioqueño: fase I. *Revista Nova*, 4, 21-30. <https://doi.org/10.23850/25004476.2022>
- Erazo, C., Bravo, K., Túarez, D., Fernández A., Torres, Y., Vera, J. (2021). Efecto de la fermentación de cacao (*Theobroma cacao* L.), variedad nacional y trinitario, en cajas de maderas no convencionales sobre la calidad física y sensorial del licor de cacao. *Revista de Investigación Talentos*, 8(2), 42-55. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8551316>
- Fowler, M., Coutel, F. (2017). Cocoa beans: from tree to factory. Beckett's Industrial Chocolate Manufacture and Use, Fifth Edition. <https://doi.org/10.1002/9781118923597.ch2>
- FAO. (2023). With major processing by Our World in Data. "Cocoa bean production – FAO" [dataset]. Food and Agriculture Organization of the United Nations, "Production: Crops and livestock products". <https://ourworldindata.org/grapher/cocoa-bean-production>



- Hatmi, R. U., Kobarsih, M., & Cahyaningrum, N. (2015). Fungi Level Analysis of Cocoa Beans Based on Fermentation Box Type and Duration. *Procedia Food Science*, 3, 371–382. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.01.041>
- Guehi, T. S., Dadie, A. T., Koffi, K. P. B., Dabonne, S., Ban-Koffi, L., Kedjebo, K. D., & Nemlin, G. J. (2010). Performance of different fermentation methods and the effect of their duration on the quality of raw cocoa beans. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(12), 2508–2514. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02424.x>
- Hirko, B., Mitiku, H., & Getu, A. (2023). Role of fermentation and microbes in cacao fermentation and their impact on cacao quality. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, 3(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s43393-023-00160-9>
- Kadow, D., Bohlmann, J., Phillips, W., & Lieberei, R. (2013). Identification of main fine flavour components in two genotypes of the cocoa tree (*Theobroma cacao* L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 86(1). <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2013.086.013>
- 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. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10408391003799913>
- Leal, G. A., Marques, T., Marques, M. B. M., da Silva, A. P. M., de Oliveira, M. P. M., Gomes, L. H., Coelho, I. da S., & Figueira, A. (2023). Fermentation box cleaning can impair cacao seed fermentation. *Food Science and Technology (Brazil)*, 43. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/fst.109322>
- Machado, L., Sánchez, J., Chila, A., Murcia, V., Saavedra, D., Cano, O., Guzmán, K., Ordoñez C. (2018). *Prácticas y procesos que inciden en el aseguramiento de la calidad del cacao Theobroma cacao L.* (Nodo La Angostura, Ed.). Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/7271>
- Machado Cuellar, L., Medina Ríos, E. L., Guzmán Pacheco, K. Y., & Ordoñez Espinosa, C. M. (2023). Evaluación de la calidad física y sensorial de grano de *Theobroma cacao* L. en respuesta a procesos de beneficio en municipios del norte del Huila, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 15(1), 137–156. <https://doi.org/https://doi.org/10.22490/21456453.6710>
- MADR. 2021. Cadena de cacao, cifras sectoriales. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales.

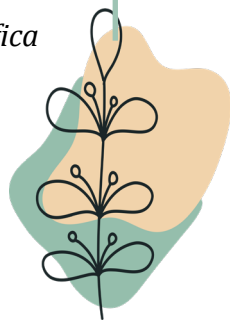


- MinAgricultura. (2021). Cadena de cacao. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. Bogotá, D.C.
- Mendoza, K. (2020). Evaluación de métodos de fermentación y su efecto en la calidad del grano mediante el sostenimiento de 5.000 m² de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el municipio de Landázuri Santander (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle, El Yopal.
- Motamayor, J. C., Risterucci, A. M., López, P. A., Ortiz, C. F., Moreno, A., & Lanaud, C. (2002). Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*, 89(5), 380–386. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800156>
- Mosquera, J. A. N., Escobar, K. Y. R., Morejon, J. P. A., & Llaguno, S. S. (2020). Métodos de fermentación del cacao nacional (*Theobroma cacao*) y su influencia en las características físico-químicas, contenido de cadmio y perfiles sensoriales. *Alternativas*, 21(3), 42-48. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8065046>
- Murcia-Artunduaga, K., Gasca-Torres, L., y del Rosario, M. (2022). Evaluación físico-sensorial de granos de cacao (*Theobroma cacao* L.), región sur del Huila (Colombia). *Informador Técnico*, 86(2), 194-204. <https://doi.org/10.23850/22565035.4358>
- Morales, L. I. (2020). *Fermentación asistida de cacao (Theobroma cacao) y participación de Zamorano en la investigación e innovación de derivados de este cultivo: Revisión literaria* (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2020).
- Nielsen, D. S., Teniola, O. D., Ban-Koffi, L., Owusu, M., Andersson, T. S., & Holzapfel, W. H. (2007). The microbiology of Ghanaian cocoa fermentations analysed using culture-dependent and culture-independent methods. *International Journal of Food Microbiology*, 114(2), 168–186. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.09.010>
- Ordoñez, E., Vera, J., Tigselema, S. M. (2019). Cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.) De líneas híbridas para la elaboración de rehiletes de chocolate. *Revista Universidad y Sociedad*, 11(2), 136-141.
- Ortiz, L., Graziani, L., Rovedas, G. (2009). Influencia de varios factores sobre características del grano de cacao fermentado y secado al sol. *Agronomía Tropical*, 59 (2), 119-127. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2009000200001
- Oussou, K. F., Guclu, G., Kelebek, H., & Selli, S. (2022). Elucidating the contribution of microorganisms to the spontaneous fermentation and the quality of Ivorian cacao (*Theobroma cacao*) beans: The quality of Ivorian cacao (*Theobroma cacao*) beans. *Quality*



Assurance and Safety of Crops & Foods, 14(4), 23–35. <https://doi.org/https://doi.org/10.15586/qas.v14i4.1078>

- Ouattara, D., Ouattara, H., Adom, J., Goualié, B., Koua, G., Doué, G., & Niamke, S. (2016). Screening of Lactic Acid Bacteria Capable to Breakdown Citric Acid during Ivorian Cocoa Fermentation and Response of Bacterial Strains to Fermentative Conditions. *British Biotechnology Journal*, 10(3), 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.9734/BBJ/2016/19279>
- Pinzón, J., Rojas A.J. & Rojas, F. (2014). Guía técnica para el cultivo del cacao, Federación Nacional de cacaoteros. Fondo Nacional del Cacao. Quinta edición, pp. 21-23.
- Ríos, F., Ruiz, A., Lecaro, J., y Rehpani, C. (2017). Estrategias país para la oferta de cacao especiales -Políticas e iniciativas privadas exitosas en el Perú, Ecuador, Colombia y República Dominicana. Fundación Swisscontact Colombia. Bogotá D. C.
- Rojas-Rojas, K., Hernández-Aguirre, C., Mencía-Guevara, A. (2021). Transformaciones bioquímicas del cacao (*Theobroma cacao* L.) durante un proceso de fermentación controlada. *Agronomía Costarricense*, 45(1), 53-65. <https://doi.org/10.15517/rac.v45i1.45694>
- Rodríguez-Medina, C., Arana, A. C., Sounigo, O., Argout, X., Alvarado, G. A., & Yockteng, R. (2019). Cacao breeding in Colombia, past, present and future. *Breeding Science*, 69(3), 373-382. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.19011>
- Romero, C., & Urrego, E. (2016). Estudio del cacao en el Perú y en el Mundo. Ministerio de Agricultura y Riego.
- Rosales-Valdívía, B. S., García-Curiel, L., Pérez-Flores, J. G., Contreras-López, E., Pérez-Escalante, E., & García-Mora, C. (2024). Influencia de la fermentación del cacao y del uso de cultivos iniciadores sobre las características organolépticas del chocolate: un análisis integral. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 12(23), 31–43. <https://doi.org/https://doi.org/10.29057/icbi.v12i23.12047>
- Penagos, M. (2019). *Estandarización del proceso de fermentación de cacao (Theobroma cacao L.) en función de la relación entre la masa de grano y el volumen del cajón fermentador* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76069>
- Quevedo, J., Romero, J., Tuz, I. (2018). Calidad físico, químico y sensorial de granos y licor de cacao (*Theobroma Cacaol.*) Usando cinco métodos de fermentación. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(1), 115–127.



- Ramos, J. (2016). Defining Competitiveness in the Philippines' Cacao Industry. Organization for Partnerships, Teamwork and Initiatives on Opportunities for Nature Stewards, Inc. Presented at the Industry Roadmaps and AEC Gameplan, 12 May. Philippines: Tuguegarao City
- Rojas-Rojas, K., Hernández-Aguirre, C., Mencía-Guevara, A. (2021). Transformaciones bioquímicas del cacao (*Theobroma cacao* L.) durante un proceso de fermentación controlada. *Agronomía Costarricense*, 45(1), 53-65.
- Rosales-Valdívia, B. S., García-Curiel, L., Pérez-Flores, J. G., Contreras-López, E., Pérez-Escalante, E., & García-Mora, C. (2024). Influencia de la fermentación del cacao y del uso de cultivos iniciadores sobre las características organolépticas del chocolate: un análisis integral. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 12(23), 31-43. <https://doi.org/https://doi.org/10.29057/icbi.v12i23.12047>
- Santander Muñoz, M., Rodríguez Cortina, J., Vaillant, F. E., & Escobar Parra, S. (2020). An overview of the physical and biochemical transformation of cocoa seeds to beans and to chocolate: Flavor formation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(10), 1593-1613. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1581726>
- Schwan, R. F., & Wheals, A. E. (2004). The Microbiology of Cocoa Fermentation and its Role in Chocolate Quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(4), 205-221. <https://doi.org/10.1080/10408690490464104>
- Swisscontact. (2014). Desarrollo de la cadena de valor del cacao: Folleto Cacao Recuperado de: https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/HEAD_OFFICE/Documents/Topics_Brochures/Folleto_Cacao.pdf
- Teneda, W. (2016). Mejoramiento del proceso de fermentación del cacao (*Theobroma cacao* L.). *Universidad Internacional de Andalucía*. 138 pág. <http://hdl.handle.net/10334/3743>
- Tigero-Vaca, J., Maridueña-Zavala, M. G., Liao, H.-L., Prado-Lince, M., Zambrano-Vera, C. S., Monserrate-Maggi, B., & Cevallos-Cevallos, J. M. (2022). Microbial Diversity and Contribution to the Formation of Volatile Compounds during Fine-Flavor Cacao Bean Fermentation. *Foods*, 11(7), 915. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods11070915>
- Thompson, S. S., Miller, K. B., Lopez, A. S., & Camu, N. (2012). Cocoa and Coffee. In M. Doyle & R. Buchanan (Eds.), *Food Microbiology* (pp. 881-899). ASM Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1128/9781555818463.ch35>



Tchouatcheu, G. A. N., Noah, A. M., Lieberei, R., & Niemenak, N. (2019). Effect of cacao bean quality grade on cacao quality evaluation by cut test and correlations with free amino acids and polyphenols profiles. *Journal of Food Science and Technology*, 56(5). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13197-019-03749-y>

Tornés, J. (2013). Cacao, una aportación de México al mundo. *Revista Ciencia*, 66(3), 1–8. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/66_3/PDF/Cacao.pdf

Urbańska, B., Kowalska, H., Szulc, K., Ziarno, M., & Pochitskaya, I. (2021). Comparison of the effects of conching parameters on the contents of three dominant flavan-3-ols, rheological properties and sensory quality in chocolate milk mass based on liquor from unroasted cocoa beans. *Molecules*, 26(9), 2502. <https://doi.org/10.3390/molecules26092502>

Vélez, L. S., Carreño, L. V., Quiñónez, L. C., Mora, F. D. S., Macías, C. S., & Monserrate, G. P. (2022). Recursos genéticos de cacao tipo Nacional en Ecuador: una revisión sistemática. *Revista Ciencia y Tecnología*, 15(2), 31-44. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8791928>

Viesser, J. A., de Melo Pereira, G. V., de Carvalho Neto, D. P., Favero, G. R., de Carvalho, J. C., Goés-Neto, A., Roges, H., Soccol, C. R. (2021). Global cocoa fermentation microbiome: revealing new taxa and microbial functions by next generation sequencing technologies. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 37, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03079-2>

Wood, G.A.R., and Lass, R.A. (2008). *Cocoa*. 4th Edition. John Wiley & Sons, Oxford

