Scientia Agropecuaria
Web page: http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad Nacional de Trujillo

RESEARCH ARTICLE

Organoleptic characterization of Ecuadorian cocoa: A review of the influence of genotype, environment, and postharvest management

Caracterización organoléptica del cacao ecuatoriano: una revisión de la influencia del genotipo, ambiente y manejo poscosecha

Ana García Mendoza[1]; Luz García Cruzatty[1]*; Santiago Sánchez García[2]; Liliana Corozo Quiñónez[1]

[1] Facultad de Ingenierías Agroambientales, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
[2] Máster Universitario en Fisiología Integrativa, Universitat de Barcelona, Barcelona, España.

* Corresponding author: luz.garcia@utm.edu.ec (L. García Cruzatty).

Received: 28 April 2026. Accepted: 18 October 2026. Published: 30 October 2026.

Abstract

Cocoa (*Theobroma cacao* L.) is a crop of considerable economic and cultural importance, and fine-flavor cocoa represents a differentiated market segment due to the complexity of its sensory profiles. Ecuador holds a prominent position in this segment, particularly because of Nacional cocoa, which is recognized for its floral and fruity attributes. The objective of this qualitative literature review was to analyze the organoleptic characterization of Ecuadorian cocoa in relation to genotype, agroecological conditions, and postharvest management. The literature was identified through a structured search of Scopus, ScienceDirect, and PubMed, updated through September 2026, and complemented with relevant background sources to contextualize and compare the findings. The results show that genotype establishes a sensory potential whose expression is influenced by environmental conditions and postharvest processing. Nacional cocoa and its derivatives were mainly associated with floral and fruity profiles, whereas CCN-51 more frequently exhibited cocoa, bitterness, and astringency attributes. Fermentation and drying were key stages in the development and modification of the sensory profile. Compounds associated with quality included aldehydes, esters, alcohols, and pyrazines, related to floral, fruity, cocoa, and roasted notes, whereas polyphenols and methylxanthines were mainly associated with bitterness and astringency. The integration of sensory and instrumental methods enabled associations to be established between chemical composition and sensory perception. Overall, the evidence indicates that the organoleptic quality of Ecuadorian cocoa results from the combined influence of genotype, agroecological conditions, and postharvest management. These findings provide criteria for optimizing processing and strengthening the differentiation of Ecuadorian cocoa in specialty markets, while highlighting the need to standardize sensory protocols and conduct multilocation and multiyear studies to assess the stability of quality attributes.

Keywords: *Theobroma cacao*, fine-flavor cocoa, sensory quality, genotype, agroecological conditions, postharvest processing.

Resumen

El cacao (*Theobroma cacao* L.) constituye un cultivo de importancia económica y cultural, y el cacao fino de aroma representa un segmento diferenciado del mercado por la complejidad de sus perfiles sensoriales. Ecuador ocupa una posición destacada en este segmento, particularmente por el cacao Nacional, reconocido por sus atributos florales y frutales. El objetivo de esta revisión cualitativa de la literatura fue analizar la caracterización organoléptica del cacao ecuatoriano en relación con el genotipo, las condiciones agroecológicas y el manejo poscosecha. La literatura fue identificada mediante una búsqueda estructurada en Scopus, ScienceDirect y PubMed, actualizada hasta septiembre de 2026, y complementada con antecedentes relevantes para la contextualización y comparación de los hallazgos. Los resultados muestran que el genotipo establece un potencial sensorial cuya expresión está condicionada por el ambiente y el procesamiento poscosecha. El cacao Nacional y sus derivados se asociaron principalmente con perfiles florales y frutales, mientras que CCN-51 presentó con mayor frecuencia atributos de cacao, amargor y astringencia. La fermentación y el secado fueron etapas determinantes en el desarrollo y modificación del perfil sensorial. Entre los compuestos asociados con la calidad se identificaron aldehídos, ésteres, alcoholes y pirazinas, relacionados con notas florales, frutales, de cacao y tostado, mientras que los polifenoles y las metilxantinas se vincularon principalmente con el amargor y la astringencia. La integración de métodos sensoriales e instrumentales permitió establecer asociaciones entre la composición química y la percepción sensorial. En conjunto, la evidencia indica que la calidad organoléptica del cacao ecuatoriano resulta de la influencia conjunta del genotipo, las condiciones agroecológicas y el manejo poscosecha. Estos hallazgos aportan criterios para optimizar el procesamiento y fortalecer la diferenciación del cacao ecuatoriano en mercados especializados, y evidencian la necesidad de estandarizar los protocolos sensoriales y desarrollar estudios multilocales y multianuales que permitan evaluar la estabilidad de los atributos de calidad.

Palabras clave: *Theobroma cacao*, cacao fino de aroma, caracterización sensorial, genotipo, procesamiento poscosecha.

DOI: https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2026.064

Cite this article:
García Mendoza, A., García Cruzatty, L., Sánchez García, S., & Corozo Quiñónez, L. (2026). Caracterización organoléptica del cacao ecuatoriano: una revisión de la influencia del genotipo, ambiente y manejo poscosecha. *Scientia Agropecuaria, 17*(4), 979-994.

1. Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los cultivos tropicales de mayor relevancia económica y cultural a nivel mundial. Dentro de este contexto, el cacao fino de aroma constituye un segmento diferenciado del mercado, caracterizado por perfiles organolépticos complejos que incluyen notas florales, frutales y especiadas, altamente valoradas por la industria chocolatera especializada (ICCO, 2023). Ecuador ocupa una posición destacada en la producción y comercialización de cacao fino de aroma. De acuerdo con la clasificación vigente de la ICCO, el 75% de las exportaciones ecuatorianas de cacao en grano se reconoce como cacao fino o de aroma (ICCO, 2024). Esta diferenciación se encuentra históricamente asociada con materiales del grupo Nacional, mientras que cultivares de alto rendimiento como CCN-51 han adquirido una importancia creciente en la producción nacional (García et al., 2025).

La expresión del perfil sensorial del cacao depende de múltiples factores que actúan de manera conjunta, incluyendo la base genética del material, el entorno de cultivo y las prácticas poscosecha (Zapata-Álvarez et al., 2024; Narváez Narváez et al., 2026). Diversos estudios han evidenciado que la expresión sensorial puede variar en función de las condiciones agroclimáticas y del manejo poscosecha, reforzando la importancia de considerar conjuntamente el origen y las condiciones de procesamiento (Llano et al., 2024). En Ecuador, la diversidad genética del cacao, junto con la heterogeneidad de las condiciones agroecológicas y de los sistemas productivos, contribuye a la variabilidad observada en las características de los granos y sus perfiles de calidad (García et al., 2025; Narváez Narváez et al., 2026). En este contexto, la calidad organoléptica debe entenderse como el resultado de la interacción entre genotipo, ambiente y manejo poscosecha.

Revisiones previas han abordado la calidad del cacao desde perspectivas específicas. Putri et al. (2024) analizaron sistemáticamente los atributos sensoriales asociados al cacao fino de aroma y al chocolate, mientras que Konar et al. (2025) examinaron la relación entre la composición química del cacao y el proceso de tostado, considerando su influencia sobre los precursores y compuestos responsables del sabor. Más recientemente, Reitenbach et al. (2026) sintetizaron los avances en la comprensión del aroma del cacao, destacando el papel conjunto del genotipo, las condiciones de cultivo, la fermentación, el secado y el tostado en la formación de compuestos asociados con la calidad sensorial. Asimismo, un estudio bibliométrico sobre CCN-51 identificó la genética, la composición química y los procesos de fermentación como ejes relevantes de investigación (González Rivera et al., 2026).

A pesar de estos avances, persiste la necesidad de integrar esta evidencia específicamente para el cacao ecuatoriano y analizar conjuntamente la influencia del genotipo, las condiciones agroecológicas y el manejo poscosecha sobre su expresión organoléptica. Por ello, el presente artículo tiene como objetivo revisar críticamente la evidencia disponible sobre la calidad sensorial del cacao ecuatoriano, considerando estos tres componentes y las metodologías empleadas para su evaluación.

2. Metodología

2.1. Diseño del estudio

Se realizó una revisión cualitativa de la literatura con búsqueda estructurada sobre la caracterización organoléptica del cacao ecuatoriano (*Theobroma cacao* L.), con énfasis en la influencia del genotipo, las condiciones agroecológicas y el manejo poscosecha. La revisión se orientó a integrar y comparar evidencia procedente de estudios con diferentes materiales genéticos, diseños experimentales, protocolos sensoriales y condiciones de procesamiento.

2.2. Estrategia de búsqueda

La búsqueda bibliográfica se realizó en las bases de datos científicas Scopus, ScienceDirect y PubMed, utilizando términos en español e inglés combinados mediante los operadores booleanos AND y OR. Entre las principales combinaciones se incluyeron: "Theobroma cacao" AND "sensory evaluation", "cacao" AND "genotype" AND "volatile compounds", "cacao Ecuador" AND "fermentation" y "fine flavor cacao" AND "post-harvest processing". Las búsquedas se efectuaron en título, resumen y palabras clave. La búsqueda fue actualizada hasta septiembre de 2026 con el propósito de incorporar la evidencia reciente relacionada con el alcance de la revisión.

2.3. Criterios de selección

Se seleccionaron publicaciones comprendidas entre 2020 y septiembre de 2026 relacionadas con la caracterización organoléptica del cacao, con especial atención al cacao cultivado en Ecuador y a los materiales genéticos ecuatorianos. Se consideraron estudios que abordaran evaluaciones sensoriales y/o análisis químicos, bioquímicos o instrumentales relacionados con atributos de calidad, así como la influencia del genotipo, las condiciones agroeco-

lógicas y el manejo poscosecha. Se incluyeron publicaciones en español o inglés con información metodológica suficiente para interpretar sus resultados.

Se excluyeron trabajos sin relación con la calidad sensorial o química del cacao, publicaciones con información metodológica insuficiente y registros duplicados. La selección comprendió la revisión de títulos, resúmenes y, cuando fue necesario, textos completos.

De manera complementaria, se incorporaron fuentes anteriores a 2020 cuando aportaron antecedentes relevantes para contextualizar materiales genéticos, procesos poscosecha o realizar comparaciones internacionales. Estas fuentes se utilizaron como apoyo para la interpretación y discusión de los resultados.

2.4. Evaluación metodológica

La información metodológica de los estudios seleccionados se examinó considerando la identificación del material genético y su origen geográfico, el diseño del estudio, el protocolo de evaluación sensorial, las características del panel, las condiciones poscosecha, las técnicas instrumentales y los procedimientos estadísticos. Este examen permitió valorar la suficiencia de la información disponible para interpretar y comparar los resultados.

2.5. Extracción y síntesis de la información

De cada estudio se extrajo información sobre material genético, origen geográfico, condiciones agroecológicas, características del panel y protocolo sensorial, atributos evaluados, técnicas instrumentales, condiciones de fermentación y secado, y principales resultados. Debido a la heterogeneidad metodológica, los datos se integraron mediante síntesis cualitativa y comparación descriptiva, agrupando los atributos sensoriales en categorías comunes cuando existió correspondencia entre las denominaciones empleadas en los estudios.

2.6. Análisis de frecuencia de atributos sensoriales

Para complementar la síntesis cualitativa, se analizó la frecuencia de reporte de los principales atributos sensoriales para Nacional y CCN-51. Las denominaciones Nacional y Arriba Nacional se consideraron una misma categoría. Cada estudio se contabilizó una sola vez por atributo y material, independientemente del número de tratamientos o muestras evaluadas.

La frecuencia relativa se calculó como la proporción de estudios que reportaron cada atributo respecto al total de estudios que evaluaron cada material. Se consideraron los atributos floral, frutal, cacao/chocolate, nuez, acidez, amargor y astringencia. Los resultados se representaron mediante un mapa de calor. Estas frecuencias representan la recurrencia con que cada atributo fue reportado en los estudios y no su intensidad sensorial.

3. Resultados y discusión

3.1. Calidad organoléptica del cacao: fundamentos conceptuales

La calidad organoléptica del cacao se refiere al conjunto de atributos sensoriales percibidos a través del aroma, sabor y textura, los cuales determinan su valor en mercados especializados, especialmente en el segmento de cacao fino de aroma. Estos atributos incluyen notas florales, frutales y a cacao, así como percepciones básicas como acidez, amargor y astringencia, cuya intensidad y equilibrio definen la calidad global del producto (Cacao of Excellence, 2023). La calidad sensorial del cacao está asociada con la presencia y concentración de compuestos químicos, tales como compuestos volátiles (aldehídos, ésteres, alcoholes y pirazinas), polifenoles y metilxantinas, los cuales se generan o transforman durante el desarrollo del grano y los procesos poscosecha. En particular, la fermentación desempeña un papel clave en la formación de precursores del aroma y en la transformación de compuestos relacionados con el amargor y la astringencia (Tuenter et al., 2020). La Figura 1 sintetiza las principales transformaciones bioquímicas involucradas en estos procesos y su relación con el desarrollo de atributos sensoriales. La Tabla 1 sintetiza los principales atributos sensoriales del cacao y su relación con compuestos químicos representativos y umbrales odoríferos reportados.

3.2. Evaluación sensorial del cacao: métodos y estándares utilizados

La evaluación sensorial constituye una herramienta fundamental para caracterizar la calidad organoléptica del cacao. Los paneles entrenados están conformados por catadores capacitados para identificar y cuantificar atributos específicos mediante escalas normalizadas, mientras que los paneles de consumidores se orientan principalmente a evaluar la aceptabilidad y preferencia del producto (Wexler-Goering & Alvarado-Marenco, 2024; Afifah et al., 2025; Chaudhary et al., 2025). Protocolos como los propuestos por Cacao of Excellence (2023) establecen criterios para la evaluación de muestras, el uso de escalas estructuradas y la valoración de atributos esenciales y complementarios. No obstante, las diferencias en el entrenamiento de los panelistas, las condiciones de evaluación y los criterios de interpretación pueden limitar la comparabilidad entre estudios. La integración del análisis

sensorial con técnicas instrumentales y enfoques computacionales constituye una alternativa para mejorar la precisión de la caracterización y reducir la subjetividad inherente a estas evaluaciones (Lugo-Rojas et al., 2025).

Diversos estudios recientes han aplicado metodologías de evaluación sensorial para caracterizar la calidad del cacao, utilizando paneles entrenados y protocolos estandarizados. La Tabla 2 resume investigaciones publicadas entre 2024 y 2025, destacando las características de los paneles, los métodos empleados y los principales enfoques de evaluación, lo que evidencia la diversidad de criterios metodológicos utilizados en la literatura.

La diversidad metodológica observada entre los estudios constituye un aspecto relevante al interpretar y comparar los perfiles sensoriales del cacao. Una parte de las investigaciones emplea escalas numéricas de intensidad, frecuentemente de 0 a 10, para cuantificar atributos previamente definidos como cacao, floral, frutal, nuez, amargor y astringencia. Aunque estas escalas facilitan la comparación cuantitativa entre muestras, su utilización no garantiza por sí sola la reproducibilidad de los resultados, ya que esta depende también de la definición de los descriptores, la selección y entrenamiento de los evaluadores y los procedimientos de calibración del panel.

En contraste, el Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA) constituye un procedimiento más estructurado, en el que los evaluadores son entrenados y los atributos sensoriales se definen y consensúan antes de su cuantificación. Principato et al. (2024) mostraron que este enfoque permite relacionar atributos sensoriales con propiedades instrumentales, evidenciando que el uso de escalas de intensidad no es incompatible con el QDA, sino que constituye una herramienta de cuantificación dentro de un procedimiento descriptivo más amplio y estandarizado.

No obstante, métodos descriptivos convencionales como el QDA requieren mayor inversión de tiempo y recursos debido al entrenamiento y calibración del panel. Como alternativa, los métodos sensoriales rápidos permiten caracterizar y diferenciar productos con mayor eficiencia. Putri et al. (2024) encontraron una elevada concordancia con el análisis descriptivo convencional para *Flash Profile* (RV = 0,84) y *Projective Mapping* (RV = 0,83), y una concordancia algo menor para *Check-All-That-Apply* (RV = 0,70). Estos resultados sugieren que los métodos rápidos pueden representar adecuadamente las diferencias sensoriales entre productos, aunque los métodos descriptivos convencionales mantienen ventajas cuando se requiere una caracterización detallada y estandarizada de la intensidad de los atributos.

En consecuencia, la heterogeneidad metodológica debe considerarse al comparar perfiles organolépticos, ya que las diferencias observadas entre genotipos, ambientes o tratamientos poscosecha pueden responder tanto a variaciones inherentes al cacao como a los protocolos sensoriales empleados. La estandarización de descriptores, escalas y criterios de entrenamiento y calibración de los paneles favorecería la reproducibilidad y permitiría comparaciones más robustas entre materiales genéticos, regiones productoras y tratamientos poscosecha.

3.3. Clasificación genético y comercial del cacao fino de aroma

Tradicionalmente, el cacao fino o de aroma se ha asociado con materiales Criollo y Trinitario, mientras que el cacao *bulk* u ordinario se ha relacionado principalmente con materiales Forastero. Sin embargo, esta correspondencia entre clasificación genética y comercial no es absoluta. La International Cocoa Organization (ICCO) reconoce excepciones relevantes: el cacao Nacional de Ecuador, históricamente relacionado con el grupo Forastero, produce cacao fino de aroma, mientras que determinados materiales Trinitario pueden clasificarse comercialmente como cacao *bulk* (ICCO, 2023).

Esta distinción resulta especialmente relevante en el cacao ecuatoriano, donde materiales genéticamente diferentes pueden expresar atributos sensoriales de interés comercial. Por ello, la pertenencia a un determinado grupo genético no permite predecir por sí sola la calidad final del grano. La clasificación como cacao fino o de aroma considera un conjunto más amplio de características relacionadas con el perfil sensorial y la calidad del producto, cuya expresión está condicionada por la composición genética, las condiciones ambientales o *terroir*, el manejo del cultivo y las prácticas de cosecha y poscosecha (ICCO, 2023).

En este contexto, la clasificación genética y la clasificación comercial deben interpretarse como criterios complementarios, pero no equivalentes. Esta distinción permite comprender por qué materiales como Nacional pueden alcanzar reconocimiento como cacao fino de aroma y, al mismo tiempo, por qué la calidad organoléptica no puede atribuirse exclusivamente al origen genético. La Tabla 3 sintetiza las principales diferencias entre ambos enfoques de clasificación.

Tabla 1
Principales atributos sensoriales del cacao, compuestos químicos asociados y umbrales odoríferos de compuestos representativos

Atributo	Características sensoriales	Principales compuestos asociados	Umbral odorífero reportado*	Referencias
Cacao/ chocolate	Aroma característico de cacao fermentado y tostado; incluye notas malteadas, tostadas y a nuez	2-metilpropanal; 2-metilbutanal; 3-metilbutanal; 2,3,5-trimetilpirazina y otras pirazinas	2-metilpropanal: 3,4 ng/g; 2-metilbutanal: 2,2 ng/g; 3-metilbutanal: 5,4 ng/g; 2,3,5-trimetilpirazina: 290 ng/g	Tuenter et al. (2020); Llano et al. (2024)
Floral	Notas florales, rosa y miel	Linalool; 2-feniletanol; acetato de 2-feniletilo; alcohol bencílico; 2-fenilacetaldehído	Linalool: 37 ng/g; 2-feniletanol: 211 ng/g; acetato de 2-feniletilo: 137 ng/g	Tuenter et al. (2020); Llano et al. (2024)
Frutal	Notas de frutas, plátano, pera, piña y frutos rojos	Acetato de etilo; acetato de metilo; acetato de butilo; acetato de hexilo; 2-heptanona	—	Llano et al. (2024)
Acidez	Sensación ácida; concentraciones elevadas pueden producir notas avinagradas o desagradables	Ácido acético y otros ácidos orgánicos	Ácido acético: 124 ng/g	Tuenter et al. (2020); Llano et al. (2024)
Amargor	Sabor amargo característico	Teobromina; cafeína; diketopiperazinas	No aplica OTV: son compuestos no volátiles asociados al gusto amargo	Cacao of Excellence (2023); Afifah et al. (2025); Chaudhary et al. (2025); Mori-Mestanza et al. (2026)
Astringencia	Sensación de sequedad y contracción en boca	Polifenoles, particularmente catequina, epicatequina y procyanidinas	No aplica OTV: atributo asociado principalmente a compuestos no volátiles	Cacao of Excellence (2023); Afifah et al. (2025); Chaudhary et al. (2025); Mori-Mestanza et al. (2026)

Nota. Los umbrales odoríferos (OTV) presentados para los compuestos volátiles corresponden a valores empleados por Tuenter et al. (2020), basados en umbrales reportados en medio oleoso, y pueden variar según la matriz y el método de determinación. El valor de actividad odorífera (OAV) se calcula como la relación entre la concentración de un compuesto y su OTV; valores ≥ 1 indican una contribución potencialmente perceptible al aroma. El símbolo (—) indica que no se presenta un OTV para el compuesto o atributo correspondiente. Para los atributos predominantemente gustativos o de sensación oral, como amargor y astringencia, el OTV no es aplicable.

Tabla 2
Características metodológicas de estudios recientes sobre evaluación sensorial del cacao (2024–2025)

Estudio	Material evaluado	Panel (n) / entrenamiento	Norma / protocolo	Escala de evaluación	Control de reproducibilidad / aspectos metodológicos
Zapata-Álvarez et al. (2024)	12 clones de cacao cultivados en Antioquia, Colombia	3 expertos	ISO 8586:2014; NTC 3932:1996; uso de referencias olfativas	0–10 para atributos de olor y sabor	Evaluación descriptiva estructurada y uso de referencias olfativas. No se reporta evaluación específica de reproducibilidad entre catadores
Afifah et al. (2025)	Licores de diferentes genotipos de cacao	12 catadores entrenados para evaluar 16 atributos	Evaluación sensorial con referencias/estándares	0–10	Integración de evaluación sensorial y metabolómica. No se reporta evaluación específica de reproducibilidad del panel
Lugo-Rojas et al. (2025)	Licores, chocolates y cacao en polvo	Panelistas entrenados; 5 expertos/anotadores seleccionados para el modelado	NTC 3932	Puntuaciones continuas para 8 atributos sensoriales	Modelado MAR-CCGP para estimar la confiabilidad individual de los anotadores y el consenso, considerando la variabilidad entre evaluadores
dos Santos et al. (2024)	35 muestras comerciales de cacao fermentado y seco de cinco regiones de la Amazonía oriental	11 panelistas seleccionados y entrenados	QDA; ABNT NBR ISO 13299; metodología de Stone y Sidel	Escala no estructurada de 9 cm	Selección mediante pruebas de reconocimiento, umbral y discriminación; desempeño evaluado mediante repetibilidad, reproducibilidad y consenso

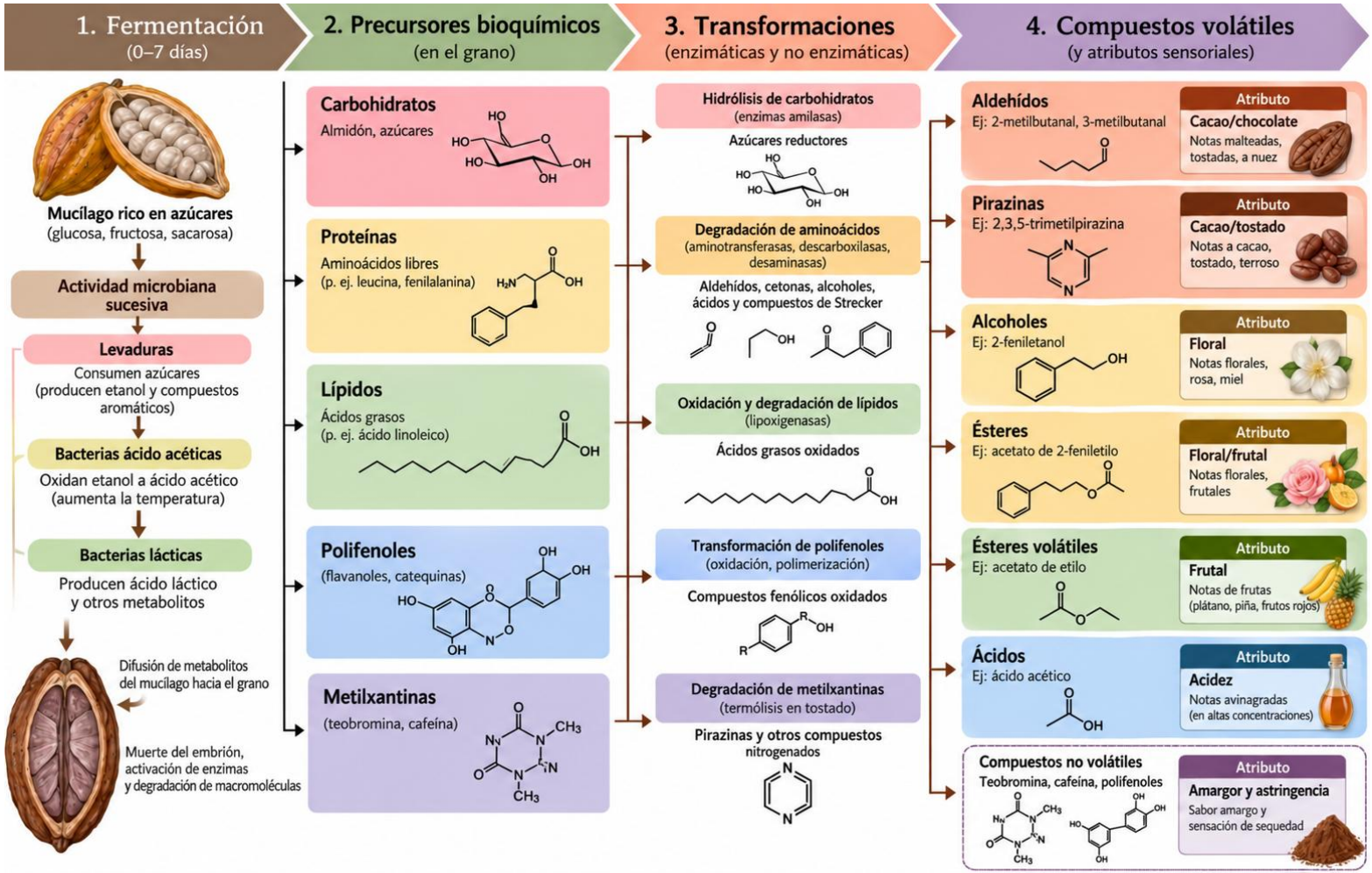


Figura 1. Formación de precursores y compuestos asociados al desarrollo del aroma y sabor del cacao. Nota. Elaborada a partir de la literatura revisada (Tuenter et al., 2020; Llano et al., 2024; Konar et al., 2025; Mori-Mestanza et al., 2026). Se sintetizan las principales transformaciones bioquímicas asociadas con la fermentación y el procesamiento del cacao, desde la formación y modificación de precursores hasta la generación de compuestos relacionados con atributos sensoriales.

Tabla 3
Comparación entre la clasificación genética y comercial del cacao

Aspecto	Clasificación genética	Clasificación comercial/sensorial
Fundamento	Origen, parentesco, diversidad y estructura genética	Calidad del grano y expresión del perfil sensorial
Categorías	Grupos genéticos como Criollo, Nacional, Amelonado, Contamana, Curaray, Iquitos, Marañón, Nanay y Purús, entre otros; incluye materiales híbridos y clones	Cacao fino o de aroma (*fine flavour cocoa*) y cacao corriente o de volumen (*bulk/ordinary cocoa*)
Genotipo	Constituye el criterio central de diferenciación	Contribuye al potencial sensorial, pero no determina por sí solo la categoría comercial
Ambiente / terroir	No modifica la identidad genética del material	Influye en la expresión de los atributos sensoriales
Manejo poscosecha	No modifica la identidad genética	Fermentación, secado y otras prácticas modifican la expresión del aroma y sabor
Híbridos y clones	Se caracterizan de acuerdo con su composición y ascendencia genética	Su clasificación requiere considerar la calidad efectivamente expresada y no únicamente su genealogía
Ejemplo ecuatoriano	Nacional y CCN-51 corresponden a materiales genéticamente diferentes	Nacional está ampliamente asociado con cacao fino de aroma; la condición comercial/sensorial de otros materiales no puede inferirse exclusivamente de su origen genético
Principal limitación	No predice por sí sola la calidad organoléptica final	Puede variar con ambiente, manejo poscosecha, lote y metodología de evaluación

Nota. Elaboración propia con base en ICCO (2023) y la literatura revisada. La clasificación genética y la clasificación comercial responden a criterios diferentes y no deben considerarse equivalentes.

3.4. Manejo poscosecha y su influencia en la calidad sensorial

El manejo poscosecha constituye uno de los principales moduladores de la expresión sensorial del cacao, particularmente mediante la fermentación y el secado. La magnitud de sus efectos depende del material genético, las condiciones ambientales y los parámetros específicos de procesamiento, por lo que no existe un protocolo único aplicable a todos los genotipos (Streule et al., 2024; Llano et al., 2024; Flores et al., 2025).

La fermentación constituye una etapa crítica en la definición de la calidad organoléptica. La sucesión de levaduras, bacterias ácido-lácticas y bacterias ácido-acéticas transforma los azúcares de la pulpa y genera etanol y ácidos orgánicos, además de inducir cambios en el interior del grano que favorecen la formación de precursores del aroma y reducen compuestos relacionados con el amargor y la astringencia. La duración, temperatura, sistema de fermentación y frecuencia de volteo influyen en estas transformaciones y, en consecuencia, en el perfil químico y sensorial obtenido (Sánchez-Capa et al., 2022; Orbe et al., 2024; Streule et al., 2024; Calvo et al., 2025). Esta influencia también se ha observado en cacaos de otros orígenes latinoamericanos, donde el tiempo de fermentación modifica las características fisicoquímicas y sensoriales de los materiales evaluados (Wexler et al., 2025).

La evidencia disponible muestra que estas condiciones deben ajustarse al material y al sistema de procesamiento. En cacao Nacional ecuatoriano, Streule et al. (2024) observaron que fermentaciones cortas de 40 ± 2 h, que alcanzaron temperaturas máximas de 31,1–37,6 °C, se asociaron con mayor amargor, astringencia y notas leñosas y terrosas. Los autores recomendaron una duración mínima de 63 ± 6 h y evaluaron, además, el efecto del volteo y del presecado sobre el desarrollo de la fermentación. Estos hallazgos indican que la duración debe interpretarse juntamente con las condiciones que determinan la dinámica térmica y bioquímica del proceso.

El secado constituye una etapa igualmente determinante, ya que la velocidad y la temperatura empleadas afectan la acidez, la oxidación de polifenoles y la retención o pérdida de compuestos volátiles. Un secado excesivamente rápido puede limitar algunas transformaciones posfermentativas, mientras que un proceso demasiado lento incrementa el riesgo de deterioro y crecimiento fúngico. Asimismo, diferentes técnicas de secado producen perfiles volátiles distintos, y sus efectos pueden variar según el tipo de cacao (Erazo Solorzano et al., 2023). Por ello, tanto la duración como la temperatura y las características del sistema de secado deben considerarse al interpretar la calidad sensorial.

En este sentido, Streule et al. (2024) encontraron diferencias importantes entre sistemas de secado de cacao Nacional. En una de las localidades se alcanzaron temperaturas máximas de 95,2 ± 13,7 °C, con una media de 64,3 ± 14,7 °C, bajo condiciones de contacto directo con el fuego y ausencia de ventilación, asociadas con notas tostadas-quemadas

no deseadas. En la otra localidad, el secador operó con contacto indirecto con el fuego y ventilación, registrando una temperatura máxima de 74,7 ± 6,5 °C y una media de 48,0 ± 4,2 °C, sin observarse el mismo defecto sensorial. El proceso se mantuvo hasta alcanzar contenidos de humedad inferiores al 8%, lo que evidencia que la humedad final debe interpretarse juntamente con las condiciones mediante las cuales se alcanza y no como un criterio aislado de calidad.

La importancia de controlar conjuntamente las variables de procesamiento también se evidencia en estudios recientes realizados en Manabí. Mero et al. (2026), mediante un diseño experimental Taguchi, evaluaron el efecto combinado del origen del cacao, el tiempo de fermentación, la frecuencia de volteo y la temperatura de tostado sobre características fisicoquímicas y sensoriales del chocolate. Los resultados mostraron que la optimización de estas condiciones puede mejorar la expresión de atributos sensoriales del cacao fino de aroma, reforzando la necesidad de ajustar los parámetros de procesamiento a las características del material y del sistema productivo.

La Tabla 4 sintetiza los principales parámetros evaluados y sus implicaciones para la calidad sensorial. En conjunto, la evidencia muestra que la fermentación y el secado son procesos sucesivos que modulan la expresión del potencial sensorial del cacao. La heterogeneidad de tiempos, sistemas de fermentación, frecuencia de volteo y condiciones de secado reportada entre estudios evidencia la necesidad de protocolos reproducibles, pero suficientemente flexibles para considerar las características del material genético y las condiciones locales de producción.

3.5. Diversidad genética y perfiles sensoriales del cacao ecuatoriano

El cacao cultivado en Ecuador presenta una considerable diversidad genética, documentada mediante estudios de caracterización molecular y evaluación de la variabilidad del germoplasma ecuatoriano (Carranza et al., 2020; García Cruzatty et al., 2023). Entre los principales materiales cultivados se encuentran el cacao Nacional y sus derivados, clones seleccionados por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), materiales híbridos y cultivares comerciales como CCN-51. En la Amazonía ecuatoriana también se han identificado poblaciones silvestres genéticamente próximas al grupo Nacional, considerado la base del cacao fino de aroma del país (Amores, 2025).

Los materiales Criollo y Nacional se han asociado en distintos estudios con perfiles aromáticos complejos y con notas florales, frutales o de nuez, aunque estas asociaciones varían según el genotipo y las condiciones de procesamiento (Tuenter et al., 2020; Cacao of Excellence, 2023; Yang et al., 2024). En contraste, CCN-51 se ha relacionado con mayor frecuencia con una expresión más intensa de cacao, acidez, amargor y astringencia (Jaimez et al., 2022; Flores et al., 2025)

Tabla 4
Condiciones de fermentación y secado evaluadas en cacao Nacional y su relación con la calidad sensorial

Etapa	Condiciones evaluadas / resultado	Implicación sensorial
Fermentación corta	40 ± 2 h	Temperaturas máximas relativamente bajas (31,1 – 37,6 °C); asociada con mayor amargor, astringencia y notas leñosas y terrosas.
Fermentación recomendada	63 ± 6 h (días 1 – 4)	Los autores recomiendan esta duración mínima. Con caja de madera + volteo y yute + presecado + volteo se alcanzaron temperaturas de hasta 46,5 ± 2,0 °C.
Volteo	En caja de madera se realizó diariamente; en otros tratamientos se comparó la presencia/ausencia de volteo.	La combinación de una fermentación más prolongada y el volteo favoreció temperaturas de fermentación más elevadas.
Presecado	4 – 7 h, sobre piso de concreto.	En los tratamientos con presecado, la temperatura máxima de fermentación se alcanzó más rápidamente: 48 ± 8 h, frente a 56 ± 7 h sin presecado.
Secado	Inicialmente al sol durante 1 – 7 h en la mayoría de los tratamientos; posteriormente, secado artificial.	El proceso continuó hasta alcanzar una humedad final <8%.
Secado a temperatura elevada	Localidad A: Tmáx 95,2 ± 13,7 °C; Tmedia 64,3 ± 14,7 °C.	Las temperaturas excesivas, particularmente con contacto directo con el fuego y sin ventilación, se asociaron con notas indeseables tostadas–quemadas.
Secado a menor temperatura	Localidad E: Tmáx 74,7 ± 6,5 °C; Tmedia 48,0 ± 4,2 °C.	No se observó el mismo problema de notas tostadas–quemadas; el secador tenía contacto indirecto con el fuego y ventilación.

Nota. Elaborado a partir de Streule et al. (2024), quienes evaluaron variaciones en las condiciones de fermentación y secado de cacao Nacional en dos localidades de Ecuador. Los valores corresponden a las condiciones experimentales y resultados reportados por los autores y no deben interpretarse, salvo indicación expresa, como parámetros óptimos aplicables de manera general a otros genotipos o condiciones de procesamiento. El secado se realizó hasta alcanzar un contenido de humedad inferior al 8%.

En el contexto ecuatoriano, esta diferenciación resulta particularmente evidente al comparar materiales del grupo Nacional con CCN-51. Entre los materiales mejorados derivados del cacao Nacional se encuentran clones EET y los cultivares INIAP-EETP 800 e INIAP-EETP 801, seleccionados para combinar características agronómicas favorables con atributos de calidad asociados al cacao fino de aroma (Loor Solórzano et al., 2018). Estudios recientes muestran, además, diferencias en la composición química y volátil de INIAP-EETP 801 respecto de CCN-51, lo que evidencia el potencial de estos materiales para mercados diferenciados (De la Peña-Armada et al., 2025). Por su parte, CCN-51 presenta una composición genética diferenciada del cacao Nacional y se ha asociado generalmente con mayor acidez, amargor y astringencia y menor complejidad aromática (Jaimez et al., 2022). Sin embargo, estas características pueden modificarse mediante las condiciones de fermentación y secado (Flores et al., 2025). En consecuencia, las diferencias entre materiales deben interpretarse como un potencial asociado al genotipo, cuya expresión final está modulada por el ambiente y el procesamiento poscosecha.

Las diferencias entre materiales también se manifiestan a nivel proteómico. De Oliveira et al. (2025), al comparar granos no fermentados de EET19, CCN51, P7 y PA121, identificaron perfiles proteicos diferenciados entre genotipos. EET19, material Nacional de fino aroma, presentó mayor abundancia de determinadas proteínas de reserva involucradas en la formación de precursores del sabor. Estos resultados aportan evidencia de una base bioquímica asociada al potencial organoléptico del genotipo, aunque su expresión sensorial final depende de las transformaciones posteriores durante el procesamiento.

Estas tendencias también se observan en la frecuencia con que los principales atributos sensoriales fueron reportados en los estudios revisados (Figura 2). Entre los ocho estudios que evaluaron cacao Nacional, los atributos floral y frutal fueron reportados en el 100% y cacao/chocolate en el 87,5 %. Entre los cuatro estudios que evaluaron CCN-51, cacao/chocolate, amargor y astringencia fueron reportados en el 100%. Estos porcentajes representan la frecuencia de reporte de cada atributo en la literatura analizada y no su intensidad sensorial.

En conjunto, las diferencias documentadas entre Nacional, CCN-51 y materiales mejorados muestran que la identidad genética constituye un componente importante de la calidad organoléptica, aunque no permite predecir de manera absoluta el perfil final del cacao. La Tabla 5 sintetiza las principales características sensoriales y químicas reportadas para estos materiales, así como los factores ambientales y poscosecha que pueden modular su expresión.

3.6. Influencia del genotipo y el ambiente sobre el perfil sensorial del cacao ecuatoriano

La expresión del perfil sensorial del cacao está condicionada por el genotipo y las condiciones ambientales de cultivo. En cacao Nacional se han observado variaciones en propiedades químicas y organolépticas entre regiones productoras, asociadas con factores edafoclimáticos y con el estado nutricional del suelo (Mihai et al., 2022). Asimismo, bajo diferentes condiciones agroclimáticas se han reportado variaciones en atributos como las notas frutales y de nuez, aunque sin un patrón ambiental consistente (Llano et al., 2024).

Tabla 5
Características sensoriales y químicas reportadas para materiales genéticos de cacao cultivados en Ecuador

Material genético	Ámbito de evaluación	Características sensoriales y químicas reportadas	Factores moduladores identificados	Referencias
Nacional / Arriba	Diferentes zonas productoras de Ecuador	Mayor complejidad aromática, con predominio de notas florales y frutales y presencia variable de nuez y cacao; generalmente menor expresión de amargor y astringencia que CCN-51	Localidad y condiciones agroecológicas; tiempo y método de fermentación; secado	Mihai et al. (2022); Llano et al. (2024); Streule et al. (2024); Narváez Narváez et al. (2026)
CCN-51	Diferentes zonas productoras de Ecuador	Mayor intensidad de cacao, acidez, amargor y astringencia, con menor expresión relativa de atributos florales y frutales	Fermentación y secado; zona agroecológica; interacción entre material y procesamiento	Jaimez et al. (2022); Flores et al. (2025); Narváez Narváez et al. (2026)
INIAP-EETP-801	Ecuador, Estación Experimental Tropical Pichilingue	Composición química y volátil diferenciada respecto de CCN-51, incluyendo diferencias en metilxantinas y compuestos volátiles relacionados con la calidad del cacao	Material genético y condiciones de procesamiento utilizadas en la evaluación	Loor Solórzano et al. (2018); De la Peña-Armada et al. (2025)

Nota. Las características descritas representan tendencias documentadas en los estudios revisados y no perfiles sensoriales absolutos, debido a la influencia del ambiente y del manejo poscosecha. En INIAP-EETP-801 se reportan principalmente diferencias de composición química y volátil respecto de CCN-51, por lo que estas no deben interpretarse como equivalentes a atributos determinados mediante evaluación sensorial.

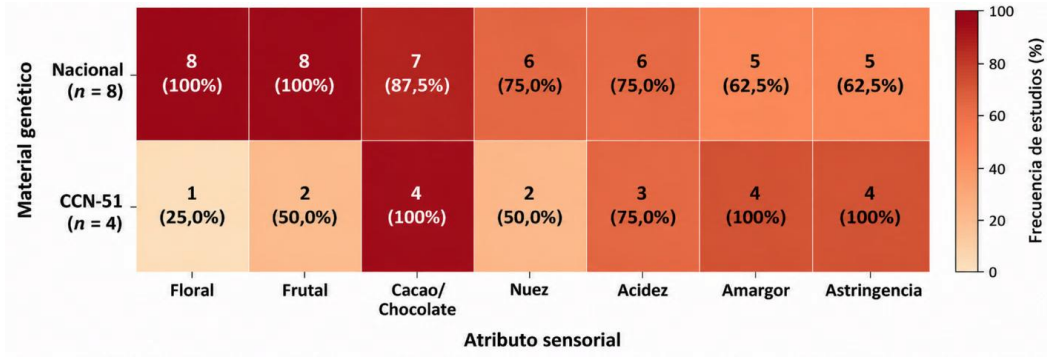


Figura 2. Frecuencia de atributos sensoriales reportados para cacao Nacional y CCN-51 en los estudios analizados.

Esta complejidad también ha sido observada en otros orígenes. Wang & Bekker (2026), al analizar la composición volátil y no volátil de cacao australiano, encontraron que muestras fermentadas en una misma localidad presentaron perfiles volátiles más similares que aquellas correspondientes al mismo genotipo procesadas en sitios diferentes. Sin embargo, los efectos del genotipo, el sitio de fermentación y otras condiciones de procesamiento no pudieron separarse experimentalmente, lo que refuerza la necesidad de diseños específicos para distinguir estos componentes.

Estudios que combinan localidades, materiales y condiciones de procesamiento muestran variaciones sensoriales entre tratamientos (Streule et al., 2024; Narváez Narváez et al., 2026); sin embargo, sus diseños no permiten atribuir estas diferencias específicamente a una interacción genotipo × ambiente (G×E).

En los estudios incluidos en esta revisión no se identificaron ensayos multilocales y multianuales diseñados específicamente para estimar la interacción G×E en atributos sensoriales del cacao. Los trabajos disponibles evalúan principalmente el efecto del ambiente o la localidad sobre determinados materiales, así como combinaciones de ambiente y manejo poscosecha, por lo que no permiten separar estadísticamente los efectos del genotipo, del ambiente y de su interacción.

Desde la perspectiva del mejoramiento genético, las diferencias observadas entre genotipos en atributos de aroma, sabor y composición de metabolitos evidencian variación fenotípica entre materiales (Zapata-Álvarez et al., 2024; Afifah et al., 2025). Sin embargo, estas diferencias no constituyen por sí mismas evidencia de heredabilidad. Tampoco se identificaron estimaciones específicas de heredabilidad para atributos sensoriales como floralidad, frutalidad, acidez, amargor o astringencia, lo que limita su incorporación directa como criterios de selección.

En consecuencia, se requieren ensayos multilocales y multianuales que evalúen los mismos genotipos en diferentes ambientes y ciclos productivos, bajo protocolos poscosecha y sensoriales estandarizados. Estos diseños permitirían estimar los efectos del genotipo y del ambiente y su interacción G×E, y generar información para estimar la heredabilidad y estabilidad de los atributos sensoriales. Esta evidencia sería relevante para seleccionar materiales que combinen productividad, adaptación y calidad organoléptica.

3.7. Integración de los factores asociados con la calidad sensorial del cacao

La evidencia revisada muestra que la calidad sensorial del cacao resulta de la influencia conjunta del genotipo, las condiciones ambientales y el manejo poscosecha. El genotipo establece un potencial sensorial asociado con diferencias en la composición química y en los atributos de aroma y sabor; sin embargo, su expresión puede modificarse según las condiciones edafoclimáticas del sitio de producción y las prácticas de fermentación, secado y tostado (Mihai et al., 2022; Streule et al., 2024; Reitenbach et al., 2026). En consecuencia, ninguno de estos factores permite explicar de manera aislada el perfil sensorial final.

Esta perspectiva permite comprender por qué la identidad genética no determina por sí sola la clasificación comercial ni la calidad organoléptica. Aunque los materiales Nacional y sus derivados se asocian recurrentemente con atributos florales y frutales característicos del cacao fino de aroma, su expresión depende también del entorno productivo y del procesamiento poscosecha. De manera similar, perfiles asociados con mayor acidez, amargor o astringencia pueden modificarse mediante las condiciones de fermentación y secado (Tuenter et al., 2020; Flores et al., 2025).

Como sintetiza la Figura 3, el genotipo, el ambiente y el manejo poscosecha convergen sobre la composición química del grano y la formación o transformación de precursores y compuestos relacionados con el aroma y el sabor. La integración de la evaluación sensorial con técnicas instrumentales y metabolómicas permite estudiar estas relaciones y vincular determinados perfiles químicos con atributos sensoriales específicos (Afifah et al., 2025; Chaudhary et al., 2025). Por tanto, la calidad sensorial del cacao debe interpretarse como una propiedad resultante de múltiples factores interrelacionados, cuya contribución relativa puede variar según el material, el ambiente y las condiciones de procesamiento.

3.8. Relación entre composición química y calidad sensorial

La calidad sensorial del cacao está asociada con una combinación compleja de compuestos volátiles y no volátiles. Entre los primeros, alcoholes y ésteres como el linalool, el 2-feniletanol y el acetato de 2-feniletilo se relacionan principalmente con notas florales y frutales, mientras que aldehídos derivados de aminoácidos y pirazinas formadas durante el procesamiento contribuyen a notas de cacao, malta, nuez y tostado (Tuenter et al., 2020; Llano et al., 2024; Konar et al., 2025). Entre los compuestos no volátiles, las metilxantinas, principalmente teobromina y cafeína, y los polifenoles se relacionan con la percepción del amargor y la astringencia, cuya intensidad puede modificarse durante la fermentación y las etapas posteriores del procesamiento (Mori-Mestanza et al., 2026).

La relación entre concentración química e intensidad sensorial no es necesariamente lineal. En los compuestos volátiles, su contribución al aroma depende, entre otros factores, de que la concentración alcance su umbral de percepción. El valor de actividad odorífera (OAV), calculado como la relación entre la concentración de un compuesto y su umbral odorífero (OTV), permite aproximar esta contribución; valores de OAV ≥ 1 indican que el compuesto podría contribuir perceptiblemente al aroma (Tuenter et al., 2020). Por ejemplo, el linalool presenta un OTV relativamente bajo (37 ng/g), mientras que la tetrametilpirazina, pese a encontrarse en concentraciones considerablemente mayores en licor de cacao de África occidental que, en cacao ecuatoriano presentó OAV < 1 debido a su elevado umbral odorífero, por lo que su contribución aromática fue considerada limitada (Tuenter et al., 2020).

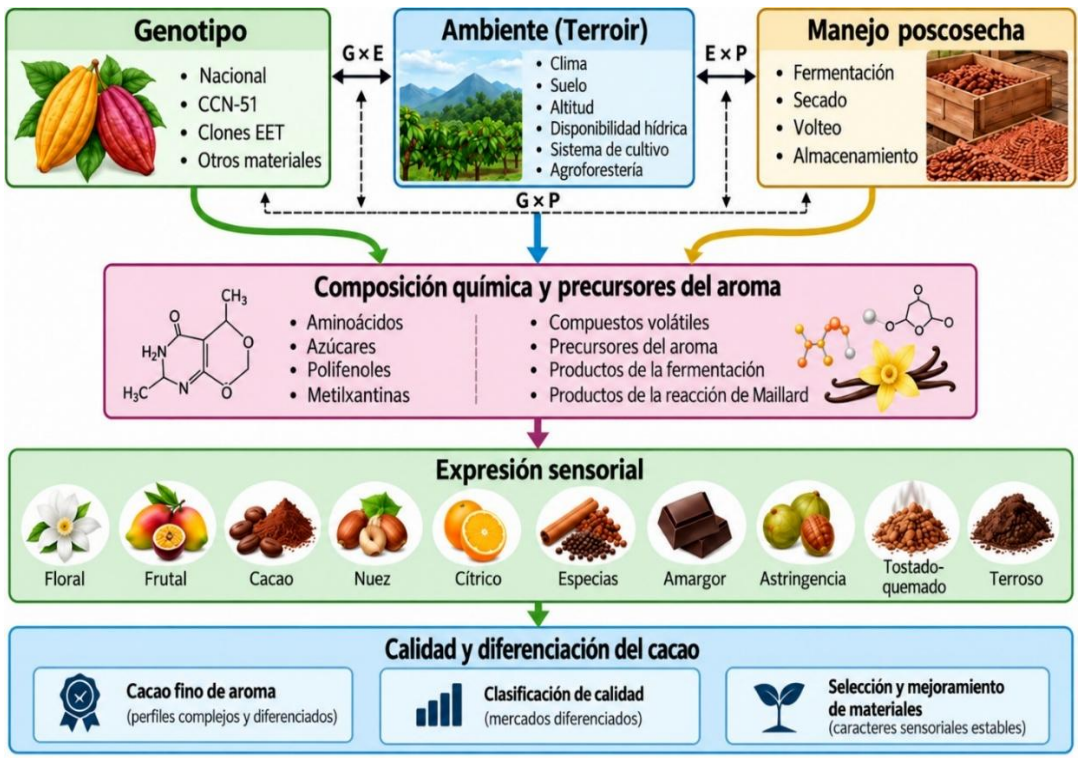


Figura 3. Modelo conceptual integrado de los factores que determinan la calidad sensorial del cacao. Nota. El modelo muestra la interacción entre el genotipo, el ambiente y el manejo poscosecha, cuyos efectos sobre la composición química y los precursores del aroma determinan la expresión final de los atributos sensoriales y la calidad del cacao.

La calidad sensorial tampoco puede atribuirse a compuestos individuales, sino al perfil químico resultante de la presencia simultánea de múltiples metabolitos. Afifah et al. (2025), mediante análisis metabolómico y sensorial, encontraron que las notas florales de un genotipo de alta calidad (ICCRI 09) se asociaron con varios compuestos, entre ellos linalool, 1-feniletanol, 2-propanol e isobutil acetato, mientras que otros metabolitos se relacionaron con notas frutales. Asimismo, el 3-metilbutanal se asoció con notas de cacao/malta y la 2-etil-3,5-dimetilpirazina con notas tostadas; en contraste, teobromina, catequina y epicatequina se relacionaron con amargor y astringencia. Estos resultados muestran que un mismo atributo sensorial puede estar asociado con varios metabolitos y que el perfil final surge de la combinación de diferentes fracciones químicas, más que de la concentración de un único compuesto.

En consecuencia, la caracterización de la calidad del cacao requiere integrar la evaluación sensorial con el análisis instrumental de compuestos volátiles y no volátiles. Enfoques basados en metabolómica y volatilómica permiten identificar asociaciones entre grupos de metabolitos y atributos sensoriales, ofreciendo una interpretación más integral de la calidad que el análisis aislado de compuestos individuales (Afifah et al., 2025; Mori-Mestanza et al., 2026).

3.9. Comparación internacional de perfiles sensoriales

La comparación con otros orígenes productores permite contextualizar las características sensoriales del cacao ecuatoriano y evidencia que la diferenciación entre países no puede desvincularse del material genético ni del manejo poscosecha. En América Latina, los cacaos finos presentan una considerable diversidad sensorial. En Nicaragua, Papalexandratou et al. (2019) documentaron diferencias entre materiales varietales, con perfiles que incluyeron notas florales, frutales, cítricas, de nuez, caramelo y cacao. Además, lotes de una misma variedad mostraron diferencias en su apreciación sensorial, evidenciando la influencia del procesamiento sobre la expresión del potencial varietal.

En Brasil, Cemin et al. (2022) encontraron una marcada diferenciación según el origen: chocolates elaborados con cacao orgánico de Pará se asociaron con notas florales, los de Rondônia con notas a chocolate y los de Espírito Santo con atributos leñosos y verdes. Asimismo, Souza Freitas et al. (2025), al evaluar cultivares clonales con diferente estructura genética, documentaron variación en la calidad organoléptica entre los materiales estudiados. Estos resultados coinciden con la evidencia obtenida para Ecuador al mostrar que la expresión sensorial no depende exclusivamente del origen geográfico o de la pertenencia a un determinado grupo genético.

La comparación con cacao africano muestra también contrastes relevantes. Tuenter et al. (2020) identificaron diferencias en la composición volátil y no volátil entre cacao ecuatoriano fino de aroma y cacao *bulk* de África occidental, asociadas con perfiles aromáticos diferenciados. Sin embargo, estas características no dependen exclusivamente del origen. En cacao de Ghana, Asiedu et al. (2026) mostraron que modificaciones en el procesamiento poscosecha y las condiciones de tostado pueden alterar atributos como cacao, nuez, amargor y astringencia. Por tanto, las diferencias sensoriales entre orígenes deben interpretarse considerando las características del material y las condiciones de procesamiento.

En conjunto, la evidencia internacional respalda la diferenciación sensorial del cacao ecuatoriano por la recurrencia de notas florales y frutales, particularmente asociadas al grupo Nacional y sus derivados. Sin embargo, estos atributos no son exclusivos de Ecuador y también se documentan en otros cacaos finos latinoamericanos. Por tanto, su diferenciación parece residir más en la combinación y expresión característica de los atributos que en la presencia exclusiva de determinados descriptores. Estas comparaciones deben interpretarse con cautela debido a la heterogeneidad de los genotipos, protocolos de fermentación y secado, condiciones de tostado, tipos de muestra y metodologías sensoriales empleadas entre estudios.

La Tabla 6 sintetiza los principales atributos sensoriales documentados para cacao de Ecuador y otros países productores, con el propósito de contextualizar cualitativamente las similitudes y diferencias entre orígenes.

3.10. Limitaciones metodológicas y recomendaciones para futuras investigaciones

Los estudios revisados presentan limitaciones metodológicas que condicionan la comparación y reproducibilidad de los resultados. En cuanto al diseño experimental, predominan evaluaciones realizadas en localidades, ciclos productivos o condiciones de procesamiento específicas, mientras que son escasos los diseños multilocales y multianuales que permitan separar los efectos del genotipo y el ambiente y estimar su interacción. Asimismo, la variabilidad en los protocolos de fermentación y secado

dificulta establecer en qué medida las diferencias sensoriales se asocian con el material genético, las condiciones ambientales o el procesamiento (Mihai et al., 2022; Streule et al., 2024; Narváez Narváez et al., 2026). A ello se suma la ausencia de estimaciones específicas de heredabilidad para atributos como floralidad, frutalidad, acidez, amargor y astringencia, lo que limita su incorporación como criterios de selección en programas de mejoramiento genético.

Una segunda limitación corresponde a la evaluación sensorial. Los estudios difieren en el número y nivel de entrenamiento de los catadores, las escalas y los descriptores empleados, y no siempre reportan medidas de reproducibilidad o concordancia entre evaluadores. Aunque protocolos como los propuestos por Cacao of Excellence (2023) favorecen una mayor armonización, persiste la necesidad de establecer criterios comparables para la selección y entrenamiento de panelistas, preparación de muestras, vocabulario sensorial y reporte de resultados. La participación de paneles entrenados de diferentes regiones o países podría, además, contribuir a evaluar la reproducibilidad de los perfiles sensoriales y reducir la dependencia de criterios locales.

En relación con la instrumentación, la incorporación de técnicas cromatográficas, volatilómicas y metabolómicas ha fortalecido la identificación de compuestos asociados con atributos sensoriales específicos (Afifah et al., 2025; Chaudhary et al., 2025). Sin embargo, las diferencias en los procedimientos de extracción, identificación, cuantificación y análisis estadístico dificultan la comparación directa entre estudios. Además, la presencia o concentración de un compuesto no implica necesariamente una contribución sensorial relevante, por lo que resulta necesario integrar el análisis químico con umbrales de percepción, valores de actividad odorífera y evaluación sensorial.

Frente a estas limitaciones, las futuras investigaciones deberían priorizar diseños multilocales y multianuales con genotipos comunes, protocolos poscosecha controlados y procedimientos sensoriales estandarizados. La incorporación de paneles entrenados bajo criterios comparables y de ejercicios interlaboratorio o internacionales permitiría evaluar la reproducibilidad de los resultados. Asimismo, la creación de repositorios abiertos que integren información genética, agroecológica, poscosecha, química y sensorial facilitaría la comparación entre estudios, futuros metaanálisis y la identificación de marcadores asociados con perfiles de calidad. La Tabla 7 sintetiza los principales vacíos de conocimiento identificados y las líneas prioritarias de investigación derivadas de estas limitaciones.

Tabla 6
Comparación de atributos sensoriales documentados en cacao de Ecuador y otros países productores

País	Material/origen evaluado	Principales atributos sensoriales documentados	Factores relevantes para la expresión sensorial	Referencias
Ecuador	Nacional/Arriba, CCN-51 y materiales derivados	Nacional: floral, frutal, cacao y nuez; CCN-51: mayor expresión de acidez, amargor y astringencia	Genotipo, región agroecológica, fermentación y secado	Tuenter et al. (2020); Mihai et al. (2022); Streule et al. (2024); Narváez Narváez et al. (2026)
Colombia	Híbridos locales, cultivares comerciales y materiales regionales	Cacao, frutal, floral, nuez, especias; intensidad variable de acidez, amargor y astringencia	Genotipo/material, condiciones agroclimáticas y tiempo de fermentación	Llano et al. (2024); Zapata-Álvarez et al. (2024); Rodríguez-González et al. (2025)
Brasil	Cacao de Pará, Rondônia, Bahia y Espírito Santo	Floral (Pará orgánico), chocolate (Rondônia), leñoso y verde (Espírito Santo); variación entre orígenes	Origen del cacao y composición volátil; asociación de los atributos con aceptación del consumidor	Cemin et al. (2022)
Nicaragua	Chuno®, Rugoso®, Nicalizo®, Johe® y mezclas regionales	Floral, frutal, cítrico, cacao, nuez, caramelo, herbal y especias; presencia variable de notas defectuosas	Variedad, dinámica microbiana y fermentación	Papalexandratou et al. (2019)
Ghana	Amelonado y materiales híbridos amazónicos / cacao *bulk*	Mayor intensidad de cacao; también nuez, amargor y astringencia, variables según procesamiento	Procesamiento poscosecha y condiciones de tostado	Asiedu et al. (2026)
Venezuela	Cacao Criollo tipo Porcelana, Sur del Lago de Maracaibo, Mérida	Intensidad aromática, cacao, floral, frutal, acidez, amargor y astringencia	Tiempo de fermentación y época de cosecha	Portillo et al. (2014)

Nota. Los atributos corresponden a los perfiles descritos en los estudios citados y no representan una clasificación sensorial general de toda la producción de cada país. Las comparaciones deben interpretarse considerando diferencias entre estudios en material genético, origen, fermentación, secado, tostado, tipo de muestra y metodología de evaluación sensorial.

Tabla 7
Principales vacíos de conocimiento identificados en la caracterización sensorial del cacao y líneas futuras de investigación

Vacío identificado	Limitación actual	Necesidad de investigación
Estandarización sensorial	Diferencias en escalas, paneles, descriptores y protocolos dificultan la comparación entre estudios	Aplicar protocolos y vocabularios sensoriales estandarizados y reportar entrenamiento y reproducibilidad de los paneles
Interacción G×E	Escasez de ensayos diseñados específicamente para estimar G×E en atributos sensoriales	Evaluar los mismos genotipos en múltiples localidades y ciclos productivos
Heredabilidad de atributos sensoriales	En los estudios incluidos no se identificaron estimaciones específicas para floralidad, frutalidad, acidez, amargor o astringencia	Estimar componentes de varianza y heredabilidad para incorporar calidad sensorial en programas de mejoramiento
Genotipo × poscosecha	Los protocolos de fermentación y secado varían entre estudios	Evaluar respuestas específicas de los genotipos bajo condiciones poscosecha estandarizadas
Relación química–sensorial	No todos los estudios integran análisis instrumental y evaluación sensorial	Combinar metabolómica, volatilómica y análisis sensorial para identificar marcadores de calidad
Estabilidad sensorial	Predominan evaluaciones en una localidad o período	Realizar estudios multilocales y multianuales para identificar perfiles sensoriales estables
Clasificación genética y comercial	Persisten asociaciones simplificadas entre grupo genético y categoría de calidad	Integrar caracterización genética, química y sensorial para sustentar la clasificación de materiales e híbridos

4. Conclusiones

La evidencia revisada muestra que la calidad organoléptica del cacao ecuatoriano resulta de la influencia conjunta del potencial genético del material, las condiciones agroecológicas y el manejo poscosecha. Los materiales del grupo Nacional se asocian recurrentemente con una mayor expresión de atributos florales y frutales característicos del cacao fino de aroma, mientras que CCN-51 presenta con mayor frecuencia atributos de cacao, amargor y astringencia. Estas tendencias no son absolutas, ya que su expresión puede modificarse por las condiciones ambientales y, particularmente, por la fermentación y el secado. Las variaciones observadas entre regiones productoras respaldan la importancia de considerar el origen y las condiciones agroecológicas en la diferenciación del cacao ecuatoriano. A su vez, la fermentación y el secado constituyen etapas críticas para modular la expresión del potencial sensorial, por lo que su optimización debe considerar las características del material genético y las condiciones locales, en lugar de asumir un protocolo único de procesamiento.

La integración de la evaluación sensorial con técnicas instrumentales, metabolómicas y volatilómicas permite una caracterización más robusta de la calidad y ofrece herramientas para el manejo poscosecha, la diferenciación comercial y el mejoramiento genético. Sin embargo, la heterogeneidad de los diseños experimentales, protocolos sensoriales y condiciones de procesamiento limita la comparación directa entre los estudios revisados.

Como implicación práctica, se recomienda que los productores ajusten los protocolos de fermentación y secado al material genético y a las condiciones locales; que los programas de mejoramiento incorporen atributos sensoriales y evalúen su estabilidad en diferentes ambientes y condiciones de procesamiento; y que los organismos reguladores y del sector cacaotero promuevan protocolos estandarizados de evaluación sensorial y mecanismos de trazabilidad de origen. La principal limitación de esta revisión deriva de la heterogeneidad metodológica de los estudios disponibles, que restringe la comparación directa de sus resultados. Esta limitación podría reducirse mediante estudios multilocales y multianuales que evalúen genotipos comunes bajo protocolos poscosecha y sensoriales estandarizados.

ORCID
A. García Mendoza https://orcid.org/0009-0003-0533-2661
L. García Cruzatty https://orcid.org/0000-0003-2625-7472
S. Sánchez García https://orcid.org/0009-0006-6389-455X
L. Corozo Quiñónez https://orcid.org/0000-0002-3619-9598

Referencias bibliográficas

Afifah, E. N., Sari, I. A., Susilo, A. W., Firmanto, H., Malik, A., Fukusaki, E., & Putri, S. P. (2025). Correlation between sensory attributes and metabolomic profiles of cocoa liquor from different cacao genotypes. *Food Chemistry: X, 28*, 102498. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102498

Amores, F. (2025). *History, origin, cultivars, and cacao research in Ecuador*. En L. C. García, N. R. Maddela, F. Z. Gavilanes, & C. Aguilar Duarte (Eds.), *Sustainable cacao cultivation in Latin America* (1st ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003381761-3

Asiedu, B. K., Osei Tutu, C., Afoakwa, E. O., Akonor, P. T., Budu, A. S., & Saalia, F. K. (2026). Effect of manual depulping and roasting on functional, rheological and sensory characteristics of cocoa liquor. *Applied Food Research*, 6(1), 102033. https://doi.org/10.1016/j.afres.2026.102033

Cacao of Excellence. (2023). *Guide for the assessment of cacao quality and flavour*. Alliance of Bioversity International and CIAT.

Calvo, A. M., Montenegro, A. C., Monroy, D. M., Rodriguez-Silva, L. G., Carreño-Olejua, A. R., & Camargo, I. D. (2025). The impact of controlled fermentation temperature on chemical

composition and sensory properties of cacao. *Foods*, *14*(9), 1441. https://doi.org/10.3390/foods14091441

Carranza, M. S., Zapata, Y. P., Gallego, G., Nieto Rodríguez, J., Morante Carriel, J., Cruz Rosero, N., Medina Jara, S., & Muñoz, J. E. (2020). Genetic diversity of Ecuadorian cocoa from the germplasm bank of Tenguel-Guayas, Ecuador based on SNPs. *Bioagro*, *32*(2), 75–86.

Chaudhary, V., Mongia, G., & Drake, M. (2025). Approaches to determine the flavor and flavor chemistry of cocoa beans and cocoa liquor. *Journal of Food Science*, *90*, e70481. https://doi.org/10.1111/1750-3841.70481

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

De la Peña-Armada, R., Ascrizzi, R., Alarcon, R., Viteri, M., Flamini, G., & Prieto, J. M. (2025). Unique composition and sustainability aspects of the EETP801 Amazonian Cocoa Cultivar vs. CCN51 and commercial cocoas. *Beverages*, 11(4), 93. https://doi.org/10.3390/beverages11040093

De Oliveira, A. C., Vertommen, D., Pyr dit Ruys, S., Rogez, H., Debode, F., Mingeot, D., Bertin, P., & Muhovski, Y. (2025). Comparative proteomic analysis of unfermented cocoa beans reveals key metabolic differences between fine-flavor and bulk genotypes. *Frontiers in Plant Science*, *16*, 1674701. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1674701

dos Santos, R. M., Silva, N. M. d. J., Moura, F. G., Lourenço, L. d. F. H., Souza, J. N. S. d., & Sousa de Lima, C. L. (2024). Analysis of the sensory profile and physical and physicochemical characteristics of Amazonian cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans produced in different regions. *Foods*, *13*(14), 2171. https://doi.org/10.3390/foods13142171

Erazo Solorzano, C. Y., Disca, V., Muñoz-Redondo, J. M., Tuárez García, D. A., Sánchez-Parra, M., Carrilo Zenteno, M. D., Moreno-Rojas, J. M., & Rodríguez-Solana, R. (2023). Effect of Drying Technique on the Volatile Content of Ecuadorian Bulk and Fine-Flavor Cocoa. *Foods*, *12*(5), 1065. https://doi.org/10.3390/foods12051065

Flores, D. J., Tuesta, T., Silva-Paz, R. J., Liñan-Pérez, J., Puma-Isuiza, G., Jordán-Suárez, O., & Ramos-Ramírez, M. E. (2025). Effect of fermentation and drying practices on the physical, chemical and sensory characteristics of CCN51 cocoa beans (*Theobroma cacao*). *International Journal of Agriculture and Biosciences*, *14*(5), 839–850. https://doi.org/10.47278/journal.ijab/2025.069

García Cruzatty, L., García Talledo, B., & Sánchez Mora, F. (2023). Variabilidad y habilidad combinatoria en caracteres del fruto en nuevos híbridos de *Theobroma cacao* en Ecuador. *Agrária: Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, *18*(3), e3265. https://doi.org/10.5039/agraria.v18i3a3265

García, L. C., Maddela, N. R., Gavilanes, F. Z., & Aguilar Duarte, C. (2025). Cacao agribusiness in a global context: An overview. En L. C. García, N. R. Maddela, F. Z. Gavilanes, & C. Aguilar Duarte (Eds.), *Sustainable cacao cultivation in Latin America* (1st ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003381761

González Rivera, J. A., Vásquez, E. F., Arias Suárez, R., Gutiérrez, T. J., & Pérez Cordero, A. (2026). CCN-51 cocoa research (2008–2025): Output, thematic evolution, and emerging trends. *Journal of Agriculture and Food Research*, *29*, 103049. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2026.103049

International Cocoa Organization (ICCO). (2023). *Fine flavour cocoa*. https://www.icco.org/fine-or-flavor-cocoa/

International Cocoa Organization (ICCO). (2024). *Revision of Annex "C" of the International Cocoa Agreement (ICA), 2010*.

Jaimez, R. E., Barragan, L., Fernández-Niño, M., Wessjohann, L. A., Cedeño-García, G., Sotomayor-Cantos, I., & Arteaga, F. (2022). *Theobroma cacao* L. cultivar CCN 51: A comprehensive review on origin, genetics, sensory properties, production dynamics, and physiological aspects. *PeerJ*, *10*, e12676. https://doi.org/10.7717/peerj.12676

Konar, N., Palabiyik, I., Karimidastjerd, A., Toker, O. S., & Gorgulu, A. (2025). Recent advances in cocoa chemistry and roasting. *Trends in Food Science & Technology*, *162*, 105036. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105036

Llano, S., Vaillant, F., Santander, M., Zorro-González, A., González-Orozco, C. E., Maraval, I., Boulanger, R., & Escobar, S. (2024). Exploring the Impact of Fermentation Time and Climate on Quality of Cocoa Bean-Derived Chocolate: Sensorial Profile and Volatilome Analysis. Foods, 13(16), 2614. https://doi.org/10.3390/foods13162614

Loor Solórzano, R., Sotomayor Cantos, I., Jiménez Barragán, J., Tarqui Freire, O., & Rodríguez Zamora, G. (2018). INIAP-EETP-800 e INIAP-EETP-801 Nuevos Clones de Cacao Fino y de Aroma con Alto Rendimiento. INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue, Programa Nacional de Cacao y Café.

Lugo-Rojas, J. C., Chica-Morales, M. J., Florez-González, S. L., Álvarez-Meza, A. M., & Castellanos-Dominguez, G. (2025). Integrating Cacao Physicochemical-Sensory Profiles via Gaussian Processes Crowd Learning and Localized Annotator Trustworthiness. *Foods*, 14(17), 2961. https://doi.org/10.3390/foods14172961

Narváez Narváez, R. I., Monar Encarnación, O. A., Neira Mosquera, J. A., Sánchez Llaguno, S. N., Vásquez Cortez, L. H., Vaca Ulloa, K. E., & Plua Montiel, J. A. (2026). Caracterización fisicoquímica del licor de cacao (*Theobroma cacao* L.) de las variedades CCN 51 y Nacional considerando el manejo postcosecha y su entorno productivo. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, *46*(1), 18–29. https://doi.org/10.12873/461lhvasquez

Mero, S. N., Muñoz, J. N., & Cedeño-Guzmán, W. P. (2026). Optimization of fermentation and roasting parameters of fine-flavor cocoa using a Taguchi experimental design to improve the physicochemical and sensory quality of chocolate. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, *25*(3), Alim26793. https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim26793

Mihai, R. A., Landazuri Abarca, P. A., Tinizaray Romero, B. A., Florescu, L. I., Catană, R., & Kosakyan, A. (2022). Abiotic factors from different ecuadorian regions and their contribution to antioxidant, metabolomic and organoleptic quality of Theobroma cacao L. Beans, Variety "Arriba Nacional". *Plants*, 11(7), 976. https://doi.org/10.3390/plants11070976

Mori-Mestanza, D., Valdivia-Culqui, J. E., Balcázar-Zumaeta, C. R., Cayo-Colca, I. S., Cassel, E., Castro-Alayo, E. M., & Cárdenas-Toro, F. P. (2026). Dynamic profile of metabolites and volatile compounds in post-harvest cocoa beans until chocolate production. *European Food Research and Technology*, *252*, 147. https://doi.org/10.1007/s00217-026-05088-7

Orbe, M., Manosalvas, L., Mosquera, N., & Samaniego, I. (2024). Effect of fermentation parameters on the antioxidant activity of Ecuadorian cocoa (*Theobroma cacao* L.). *AIMS Agriculture and Food*, *9*(3), 872–886. https://doi.org/10.3934/agrfood.2024047

Papalexandratou, Z., Kaasik, K., Kauffmann, L. V., Skorstengaard, A., Bouillon, G., Espensen, J. L., et al. (2019). Linking cocoa varietals and microbial diversity of Nicaraguan fine cocoa bean fermentations and their impact on final cocoa quality appreciation. *International Journal of Food Microbiology*, *304*, 106–118. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.05.012

Portillo, E., Villasmil, R., Portillo, A., Grazziani, L., Cros, E., Assemat, S., Davrieux, F., & Boulanger, R. (2014). Características sensoriales del cacao criollo (*Theobroma cacao* L.) de Venezuela en función del tratamiento poscosecha. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, *31*(Supl. 1), 742–755.

Principato, L., Carullo, D., Gruppi, A., Lambri, M., Bassani, A., & Spigno, G. (2024). Correlation of rheology and oral tribology with sensory perception of commercial hazelnut and cocoa-

based spreads. *Journal of Texture Studies*, *55*, e12850. https://doi.org/10.1111/jtxs.12850

Putri, D. N., De Steur, H., Juvinal, J. G., Gellynck, X., & Schouteten, J. J. (2024). Sensory attributes of fine flavor cocoa beans and chocolate: A systematic literature review. *Journal of Food Science, 89*, 1917–1943. https://doi.org/10.1111/1750-3841.17006

Reitenbach, A. F., Morais, R. A., Duarte Correa de Brito, A., Broch, A. M. C., Ferreira Ghesti, G., Balliano, T. L., & de Carvalho, C. R. (2026). Advances in cocoa aroma research: From microbial fermentation to roasting and sensory complexity. *Food Reviews International, 42*(8), 6354–6383. https://doi.org/10.1080/87559129.2026.2676770

Rodríguez-González, B. E., Amador-Espejo, G. G., Penagos-Vélez, L., Ramírez-López, C., Mazo-Rivas, J. C., & Ruiz-Espinosa, H. (2025). Chemical composition and volatile profile of cocoa liquors from Colombian Criollo cacao. Journal of Food Science, 90, e70143. https://doi.org/10.1111/1750-3841.70143

Sánchez-Capa, M., Viteri-Sánchez, S., Burbano-Cachiguango, A., Abril-Donoso, M., Vargas-Tierras, T., Suarez-Cedillo, S., & Mestanza-Ramón, C. (2022). New characteristics in the fermentation process of cocoa (*Theobroma cacao* L.) "Super Árbol" in La Joya de los Sachas, Ecuador. *Sustainability*, *14*(13), 7564. https://doi.org/10.3390/su14137564

Souza Freitas, L., Silva, G. S., dos Santos, I. C., Ferreira, A. C. R., Santos, L. E. S., Umaharan, P., et al. (2025). Elite cacao clonal cultivars with diverse genetic structure, high potential of production, and good organoleptic quality are helping to rebuild the cocoa industry in Brazil. *International Journal of Molecular Sciences*, *26*(7), 3386. https://doi.org/10.3390/ijms26073386

Streule, S., Freimüller Leischtfeld, S., Galler, M., Motzer, D., Poulose-Züst, M., & Miescher Schwenninger, S. (2024). Variations in Ecuadorian Cocoa Fermentation and Drying at Two Locations: Implications for Quality and Sensory. *Foods*, *13*(1), 137. https://doi.org/10.3390/foods13010137

Tuenter, E., Delbaere, C., De Winne, A., Bijttebier, S., Custers, D., Foubert, K., et al. (2020). Non-volatile and volatile composition of West African bulk and Ecuadorian fine-flavor cocoa liquor and chocolate. *Food Research International*, *130*, 108943. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108943

Wang, J., & Bekker, M. Z. (2026). Compositional profiling of volatile and non-volatile compounds in Australian cocoa nibs: Insights into origin-dependent variability. *Food Chemistry: X, 38*, 104220. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2026.104220

Wexler, L., Cubero-Castillo, E., Vega-Aguilar, C. A., Alvarado-Marenco, P., & Hernández-Gómez, L. (2025). Fermentation time effect on the quality of ancestral cocoa cultivars from Upala, Costa Rica, using physicochemical and sensory characteristics. *CyTA - Journal of Food, 23*(1), 2486226. https://doi.org/10.1080/19476337.2025.2486226

Wexler-Goering, L., & Alvarado-Marenco, P. (2024). Cacao fino y de aroma: Compuestos claves de aroma y comportamiento durante el proceso. *Agronomía Mesoamericana*, *35*(Especial), Article 59679. https://doi.org/10.15517/am.2024.59679

Yang, D., Wu, B., Qin, X., Zhao, X., Zhu, Z., Yan, L., Zhang, F., Wu, G., & Li, F. (2024). Quality differences and profiling of volatile components between fermented and unfermented cocoa seeds (*Theobroma cacao* L.) of Criollo, Forastero and Trinitario in China. *Beverage Plant Research, 4*(1), 0002. https://doi.org/10.48130/bpr-0024-0002

Zapata-Álvarez, A., Bedoya-Vergara, C., Porras-Barrientos, L. D., Rojas-Mora, J. M., Rodríguez-Cabal, H. A., Gil-Garzon, M. A., et al. (2024). Molecular, biochemical, and sensorial characterization of cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans: A methodological pathway for the identification of new regional materials with outstanding profiles. *Heliyon, 10*(3), e24544. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24544