




EDICIONES
GESICAP

Aroma, Ciencia y Tradición:

Nuevas fronteras en la fermentación del cacao

Luis Humberto Vásquez Cortez
Sanyí Lorena Rodríguez Cevallos
Leila Isabel Cadena Morales
Jhoan Alfredo Plua Montiel

Christian Orlando Camacho López
Fernando Javier Cobos Mora
Edgar Rodolfo Pinargote Mendoza
Álvaro Martín Pazmiño Pérez



Aroma, Ciencia y Tradición: **Nuevas fronteras en la fermentación del cacao**

Luis Humberto Vásquez Cortez

Sanyi Lorena Rodríguez Cevallos

Leila Isabel Cadena Morales

Jhoan Alfredo Plua Montiel

Christian Orlando Camacho López

Fernando Javier Cobos Mora

Edgar Rodolfo Pinargote Mendoza

Álvaro Martín Pazmiño Pérez

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS:

Cualquier forma de reproducción, distribución, comercialización o transformación de esta obra solo puede llevarse a cabo con la autorización de los titulares de los derechos, excepto según lo permitido por la ley. El contenido de este texto, puede ser utilizado con fines académicos y de investigación, siempre y cuando se mencione la cita de los autores de esta obra. La infracción de los derechos mencionados puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

Por favor, póngase en contacto con Ediciones GESICAP (<https://edicionesgesicap.com/>) si necesita fotocopiar o escanear alguna parte de esta obra.

© Luis Humberto Vásquez Cortez.

© Sanyí Lorena Rodríguez Cevallos.

© Leila Isabel Cadena Morales.

© Jhoan Alfredo Plua Montiel.

© Christian Orlando Camacho López.

© Fernando Javier Cobos Mora.

© Edgar Rodolfo Pinargote Mendoza.

© Álvaro Martín Pazmiño Pérez.

© Editorial: Ediciones GESICAP.

Texto arbitrado bajo la modalidad doble par ciego.

El Carmen, Manabí, Ecuador

<https://edicionesgesicap.com>

ISBN: 978-9942-626-37-0

Depósito Legal: 1ra Edición: Ediciones Gesicap, Calle 24 de julio y Ave. 3 de julio, El Carmen, Manabí, Ecuador. Derechos de autor © septiembre de 2025.

CÓMO CITAR ESTE LIBRO:

Vásquez Cortez, L.H; Rodríguez Cevallos, S.L; Cadena Morales, L.I; Plua Montiel, J.A; Camacho López, C.O; Cobos Mora, F.J; Pinargote Mendoza, E.R y Pazmiño Pérez, A.M. (2025). Aroma, Ciencia y Tradición: Nuevas fronteras en la fermentación del cacao. Ediciones GESICAP. 115 pp.

EQUIPO EDITORIAL:

Edición y Maquetación: Sergio Alejandro Rodríguez Hernández

Revisión y Corrección: Justo Antonio Rojas Rojas.

Diseño de Portada: Sergio Alejandro Rodríguez Hernández.

Toda la información relacionada al contenido del texto es responsabilidad de los autores.

CONTÁCTANOS



+593 983116583



ediciones@gesicap.com

<https://edicionesgesicap.com/>

ÍNDICE

PRÓLOGO / 1

INTRODUCCIÓN / 3

CAPÍTULO 1. EL CACAO ECUATORIANO: PATRIMONIO Y POTENCIAL / 5

- 1.1 Historia y Domesticación del Cacao / 7
 - 1.1.1 Origen Amazónico: Evidencia Arqueológica en Santa Ana-La Florida (Cultura Mayo Chinchipe-Marañón) / 7
 - 1.1.2 Dispersión Temprana y Uso Precolombino en Ecuador / 8
 - 1.1.3 El Cacao en la Colonia: Auge y el “Cacao de Arriba” / 8
 - 1.1.4 La Era del “Gran Cacao” y el Liderazgo Mundial en el Siglo XIX / 9
 - 1.1.5 Crisis Cacaoteras del Siglo XX: Enfermedades y la Introducción de Nuevas Variedades / 9
- 1.2 El Cacao en la Cultura Ecuatoriana / 10
 - 1.2.1 Patrimonio Ancestral e Identidad Nacional / 10
 - 1.2.2 El “Cacao Fino de Aroma” como Emblema Cultural / 11
 - 1.2.3 Legado Social y Económico de la Élite “Gran Cacao” / 11
 - 1.2.4 Reconocimiento como Patrimonio Cultural Inmaterial / 12
 - 1.2.5 Marcas Emblemáticas y su Contribución a la Reputación Global (e.g., Paccari, República del Cacao) / 12
- 1.3 Tipos y Variedades: El CCN51 como Protagonista / 13
 - 1.3.1 El Cacao Nacional Fino de Aroma: Características y Valor / 13
 - 1.3.2 El CCN51: Origen, Desarrollo y Características Agronómicas / 14
 - 1.3.3 Ventajas del CCN51: Productividad, Resistencia a Enfermedades y Rendimiento en Fábrica / 14
 - 1.3.4 Desafíos y Potencial del CCN51 en Calidad de Sabor y Aroma / 15
 - 1.3.5 La Convivencia y Mezcla de Variedades en la Producción Ecuatoriana / 15
- 1.4 Situación Actual de la Producción y Exportación en Ecuador / 16
 - 1.4.1 Posición de Ecuador en el Mercado Global de Cacao / 16
 - 1.4.2 Cifras Recientes de Producción y Exportación (2023-2024): Un “Año Dorado” / 17
 - 1.4.3 Evolución de Precios y su Impacto en la Cadena de Valor / 17
 - 1.4.4 Principales Destinos de Exportación y Cuotas de Mercado / 18
 - 1.4.5 Iniciativas de Sostenibilidad y Acceso a Mercados Exigentes (Cacao Libre de Deforestación) / 19
- 1.5 Desafíos de Calidad en la Postcosecha / 20
 - 1.5.1 La Importancia Crítica de la Postcosecha en la Calidad Final del Cacao / 20
 - 1.5.2 Problemas Recurrentes en Fermentación y Secado en Ecuador / 20
 - 1.5.3 Impacto de la Falta de Organización y la Intermediación / 21
 - 1.5.4 Estándares Internacionales y la Pérdida de Competitividad / 22
 - 1.5.5 Propuestas y Estrategias para la Mejora de la Calidad Postcosecha / 22

CAPÍTULO 2. LA FERMENTACIÓN: CORAZÓN DE LA CALIDAD DEL CHOCOLATE / 27

2.1 ¿Qué es la fermentación del cacao? / 29

2.1.1 La Importancia Crítica para la Calidad del Chocolate / 29

2.1.2 Condiciones Iniciales de la Pulpa y los Granos de Cacao / 30

2.2 Procesos bioquímicos y microbiológicos clave / 31

2.2.1 Visión General de la Comunidad Microbiana / 31

2.2.2 Transformaciones Bioquímicas Esenciales / 31

2.2.3 Formación de Precusores de Sabor y Aroma / 33

2.2.4 Dinámica de los Cambios de Temperatura y pH / 33

2.3 Fases: alcohólica, acética y oxidativa / 34

2.3.1 Fase Alcohólica (Fase Inicial) / 35

2.3.2 Fase Láctica (Fase Intermedia) / 35

2.3.3 Fase Acética y Oxidativa (Fase Final) / 36

2.4 Técnicas tradicionales vs. fermentación dirigida / 38

2.4.1 Fermentación Tradicional / 38

2.4.2 Fermentación Dirigida (con Cultivos Iniciadores) / 39

2.4.3 Comparación de Técnicas / 40

2.5 Normativas internacionales (incluye INEN 176:2018) / 42

2.5.1 Estándares Internacionales Generales de Calidad para Granos de Cacao Fermentados / 42

2.5.2 Detalles de la Norma Ecuatoriana INEN 176:2018 / 42

2.5.3 Desafíos en Ecuador relacionados con la calidad y el cumplimiento de las normativas / 43

CAPÍTULO 3. INNOVACIÓN CON SABOR: MANGO Y LEVADURA EN LA FERMENTACIÓN / 47

3.1 Introducción al uso de aditivos naturales en la fermentación / 49

3.1.1 El Papel de los Aditivos Naturales en la Modulación del Perfil Sensorial de Alimentos Fermentados / 49

3.2 Propiedades del mango Manila (Mangifera indica L.) / 50

3.3 Beneficios de *S. cerevisiae* en alimentos / 51

3.4 Sinergias entre Frutas Tropicales y Microorganismos en la Fermentación del Cacao / 51

3.4.1 Mango como Fuente de Polifenoles y su Interacción con la Microbiota del Cacao / 51

3.4.2 Impacto en el Perfil de Sabor y Aroma del Cacao / 52

3.4.3 Potencial para Nuevos Productos y Valor Añadido / 53

3.5 Innovación Biotecnológica en Países Cacaoteros / 53

3.5.1 Avances en Fermentación Dirigida y Cultivos Iniciadores / 53

3.5.2 Ingeniería de Sabor y Modificación Enzimática / 53

3.5.3 Desafíos y Oportunidades en Países Cacaoteros (Enfoque en Ecuador) / 54

3.5.4 Oportunidades Biotecnológicas / 54

CAPÍTULO 4. EL EXPERIMENTO: FERMENTACIÓN CONTROLADA CON CCN51 / 57

4.1 Diseño experimental y tratamientos / 59

Arreglo de tratamientos / 60

4.2 Procedimientos / 61

4.2.1 Procedimiento de fermentación de cacao diagrama de flujo / 61

4.2.2 Procedimiento de elaboración de chocolate diagrama de flujo / 62

4.2.3 Descripción de fermentación de cacao / 63

4.2.4 Dosificación utilizada en cada una de los diferentes tratamientos / 63

4.3 Evaluaciones físico-químicas y sensoriales realizadas / 66

4.4 Procesamiento de datos / 69

CAPÍTULO 5. RESULTADOS ¿QUÉ NOS DICE LA CIENCIA? ¿QUÉ APORTAMOS? / 73

5.1 Evaluación del pH durante la fermentación del cacao / 75

5.2 Evaluación del °Brix durante la fermentación del cacao / 76

5.3 Evaluación de temperatura durante la fermentación del cacao / 78

5.4 Efecto de la concentración de levaduras y extracto de mango en la calidad del cacao fermentado / 79

5.5 Efecto de la concentración de microorganismos en las pruebas químicas / 81

5.6 Interacción entre los estados de madurez, la inducción de levadura y la adición de extractos de mango en el análisis organoléptico / 82

5.7 Interacción del estado de madurez del grano, la inoculación de levaduras y la adición de extracto de mango sobre la capacidad antioxidante del cacao durante la fermentación / 84

5.8 Discusión / 85

CAPÍTULO 6. APLICACIONES PRÁCTICAS PARA PEQUEÑOS Y MEDIANOS PRODUCTORES / 95

6.1 Fermentación dirigida: una innovación al alcance del agricultor / 97

6.2 Recomendaciones técnicas para implementar la fermentación mejorada / 97

6.3 Aspectos económicos y viabilidad / 98

6.4 Buenas prácticas complementarias para el éxito del proceso / 98

6.5 Hacia una producción con valor agregado / 99

CONCLUSIONES FINALES / 101

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS / 105

SOBRE LOS AUTORES

Luis Humberto Vásquez Cortez

Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias
“FACIAG” Docente Investigador de la Carrera de Agroindustria, Km 7 ½
vía Babahoyo-Montalvo, Babahoyo, Los Ríos, Ecuador.

Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Aplicadas a la
Industria, ICAI-CONICET.

<https://orcid.org/0000-0003-1850-0217>

lvazquezc@utb.edu.ec

Sanyi Lorena Rodríguez Cevallos

Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias de la
Industria y Producción, Carrera Alimentos, Km. 7 ½ vía El Empalme,
cantón Mocache, Los Ríos. Ecuador

<https://orcid.org/0009-0003-4684-9587>

srodriguezc4@uteq.edu.ec

Leila Isabel Cadena Morales

Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias
“FACIAG” Docente Investigador de la Carrera de Agroindustria, Km 7 ½
vía Babahoyo-Montalvo, Babahoyo, Los Ríos, Ecuador.

<https://orcid.org/0009-0003-1149-7649>

lcadenam@utb.edu.ec

Jhoan Alfredo Plua Montiel

Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Departamento de Ciencias
de la Vida y la Agricultura. Av. General Rumiñahui s/n Sangolquí, Ecuador,
P.O.BOX: 171-5-231B.

Instituto Superior Tecnológico Consulting Group Ecuador-Esculapio. Av.
10 de Agosto N35-108 e Ignacio San María.

<https://orcid.org/0000-0001-7469-0524>

japlua@espe.edu.ec

Christian Orlando Camacho López

Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura. Av. General Rumiñahui s/n Sangolquí, Ecuador, P.O.BOX: 171-5-231B.

<http://orcid.org/0000-0003-4876-9583>

cocamacho1@espe.edu.ec

Fernando Javier Cobos Mora

Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias "FACIAG" Docente Investigador de la Carrera de Agroindustria, Km 7.5 vía Babahoyo-Montalvo, Babahoyo, Los Ríos, Ecuador.

<https://orcid.org/0000-0001-8462-9022>

fcobos@utb.edu.ec

Edgar Rodolfo Pinargote Mendoza

Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias de la Industria y Producción, Carrera Alimentos, Km. 7 ½ vía El Empalme, cantón Mocache, Los Ríos. Ecuador

<https://orcid.org/0000-0001-7745-1684>

epinargote@uteq.edu.ec

Álvaro Martín Pazmiño Pérez

Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias "FACIAG" Docente Investigador de la Carrera de Agroindustria, 7 ½ vía Babahoyo-Montalvo, Babahoyo, Los Ríos, Ecuador.

<https://orcid.org/0000-0002-9869-253X>

apazmino@utb.edu.ec



PRÓLOGO

En los suelos fértiles de Ecuador, donde la lluvia y el sol nutren los campos con generosidad, crece una de las joyas más preciadas del trópico: el cacao. Más allá de su valor comercial o de su sabor inconfundible, el cacao representa un legado cultural que se transmite en el olor de las mazorcas recién cortadas, en la sabiduría de quienes lo fermentan con intuición, y en las manos de los artesanos que lo transforman en chocolate.

A lo largo de mi formación como ingeniero agroindustrial, descubrí que detrás de cada producto bien elaborado hay una historia de innovación, un desafío técnico y, sobre todo, una intención clara de mejorar. Este libro nace precisamente de esa convicción: de la necesidad de mirar el cacao no solo como un cultivo tradicional, sino como un sistema vivo, complejo y lleno de oportunidades para agregar valor desde la ciencia, sin traicionar su esencia.

La investigación que aquí se presenta se propuso desafiar una práctica común en muchos territorios cacaoteros: la exclusión de la fermentación como etapa clave en la postcosecha. Lejos de ser un paso meramente opcional, la fermentación es el corazón del desarrollo aromático, del perfil sensorial y de las propiedades funcionales del grano. Incorporar microorganismos benéficos como *Saccharomyces cerevisiae* y aprovechar extractos naturales como el del mango Manila no es solo una alternativa innovadora, sino una posibilidad concreta para pequeños y medianos productores de mejorar sus procesos y acceder a nuevos mercados.

Este libro no pretende ofrecer una receta cerrada. Más bien, aspira a abrir puertas: a repensar nuestras prácticas agrícolas, a fortalecer el diálogo entre tradición y tecnología, y a motivar la investigación aplicada como herramienta para el desarrollo rural sostenible. Cada capítulo ha sido concebido para ser comprendido tanto por el lector académico como por el productor curioso, el estudiante apasionado o el chocolatero que desea ir más allá del grano.

Agradezco profundamente a quienes me acompañaron en este recorrido: a mi tutor, a mis colegas investigadores, a los agricultores que me enseñaron con humildad y experiencia, y a las instituciones que creen en el potencial transformador de la agroindustria ecuatoriana.

Ojalá que este libro inspire a muchos a mirar el cacao con otros ojos. Porque en cada almendra bien fermentada se esconde una promesa: la de un futuro más justo, más sabroso y más consciente.

Los Autores



INTRODUCCIÓN

El cacao es mucho más que una materia prima: es historia, identidad, sustento y arte. Desde las primeras civilizaciones precolombinas hasta los exigentes mercados de chocolatería fina en la actualidad, el *Theobroma cacao* L. — el alimento de los dioses— ha sido protagonista de una narrativa rica en saberes, desafíos y oportunidades.

Ecuador, reconocido mundialmente por la calidad de su cacao fino de aroma, ha sido cuna de variedades únicas y de agricultores que, generación tras generación, han cultivado esta planta con orgullo. Sin embargo, en la era de la innovación agroindustrial y la creciente demanda de productos diferenciados, ya no basta con sembrar y cosechar: es necesario transformar. Y es justamente en la etapa de fermentación, muchas veces ignorada o poco controlada por pequeños y medianos productores, donde se define la calidad sensorial, química y funcional del chocolate final.

Este libro surge del cruce entre la ciencia y la tradición, del encuentro entre los saberes ancestrales del cacao y las posibilidades tecnológicas que ofrecen hoy los microorganismos y los subproductos frutales. A partir de una investigación experimental realizada con cacao de la variedad CCN51, se explora cómo la incorporación de *Saccharomyces cerevisiae* (levadura de pan) y extracto de mango Manila —una fruta tropical rica en compuestos bioactivos— puede revolucionar el proceso de fermentación, elevando los estándares de calidad del grano.

Durante las próximas páginas, el lector recorrerá un camino que parte del origen histórico y cultural del cacao, atraviesa los fundamentos bioquímicos del proceso fermentativo, se detiene en los resultados experimentales obtenidos con tratamientos innovadores y propone, finalmente, aplicaciones prácticas para transformar la producción cacaotera ecuatoriana desde la finca hasta la barra de chocolate.

Aroma, Ciencia y Tradición no es solo un título: es una invitación a comprender el cacao desde una perspectiva integral, a valorar su potencial oculto y a atreverse a innovar con respeto a sus raíces. Este libro busca ser una herramienta útil para productores, técnicos agroindustriales, chocolateros artesanales, investigadores y estudiantes que sueñan con un cacao más competitivo, sostenible y sabroso. Porque detrás de cada grano bien fermentado, hay una historia de conocimiento, pasión y futuro.



CAPÍTULO I

EL CACAO ECUATORIANO: PATRIMONIO Y POTENCIAL



1.1 HISTORIA Y DOMESTICACIÓN DEL CACAO

1.1.1 Origen Amazónico: Evidencia Arqueológica en Santa Ana-La Florida (Cultura Mayo Chinchipe-Marañón)

Tradicionalmente, Mesoamérica (México, Guatemala y Honduras) era considerada el punto de origen de la domesticación del cacao, con evidencia de su uso alrededor del 2000 a.C. Sin embargo, investigaciones arqueológicas recientes, respaldadas por el CIRAD y dirigidas por el arqueólogo Francisco Valdez, han modificado fundamentalmente esta comprensión. El sitio de Santa Ana-La Florida (SALF), ubicado en Palanda, Zamora Chinchipe, en la Alta Amazonía ecuatoriana, ha proporcionado pruebas convincentes del uso del cacao que datan de más de 5.300 años antes del presente (entre 3500 y 3300 a.C.). Este hallazgo antecede al uso mesoamericano en más de un milenio.

Las pruebas arqueológicas incluyen gránulos de almidón de *Theobroma cacao* encontrados en vasijas de cerámica, como botellas de asa de estribo, ollas globulares con cuello carenado y cuencos de piedra pulida, así como en fragmentos de cerámica de las excavaciones. La presencia de teobromina en estas muestras arqueológicas ha confirmado adicionalmente el uso del cacao. Este sitio no era solo un asentamiento, sino que funcionó como un centro ceremonial para la cultura Mayo Chinchipe-Marañón, lo que sugiere un consumo temprano con propósitos sociales y rituales. La cultura Mayo Chinchipe-Marañón, una civilización precolombina, prosperó en el bosque tropical húmedo de la Alta Amazonía, desarrollando prácticas sofisticadas de domesticación de plantas e interactuando a través de diversas zonas ecológicas, como lo demuestran las conchas marinas encontradas en SALF.

Este descubrimiento en Santa Ana-La Florida redefine la narrativa global de la domesticación del cacao. Anteriormente, la posición de Mesoamérica implicaba una línea cultural específica para la difusión del cacao. Ahora, la región amazónica de Ecuador es reconocida como la “cuna del cacao”. Esta corrección no es meramente académica; representa una reevaluación significativa que eleva la posición histórica y cultural de Ecuador en el sistema alimentario mundial. Ello sugiere que el conocimiento y la utilización inicial del cacao se propagaron desde la Amazonía hacia Mesoamérica, en lugar de lo contrario, lo que pone de manifiesto la existencia de antiguas redes de comercio y de intercambio cultural a larga distancia. Esta nueva comprensión proporciona una base sólida para la reivindicación de Ecuador como un verdadero “patrimonio” del cacao. La presencia de conchas marinas (*Strombus*, *Spondylus*) en el sitio de Santa Ana-La Florida, lejos de la costa en la Amazonía, indica una red de interacción simbólico-económica bien establecida entre la Amazonía y la costa del Pacífico ya en el quinto milenio a.C. Esto sugiere que productos exóticos de

alto valor, incluyendo potencialmente el cacao amazónico, formaron parte de estos intercambios. El cacao, incluso en sus primeras formas domesticadas, no era solo una fuente de alimento local, sino una mercancía lo suficientemente valiosa como para ser comercializada a través de diversas zonas ecológicas, sentando las bases para su posterior significado comercial.

1.1.2 Dispersión Temprana y Uso Precolombino en Ecuador

La evidencia arqueológica indica que el cacao se dispersó rápidamente desde la Amazonía hacia la costa del actual Ecuador, donde fue adoptado de manera rápida por culturas contemporáneas como la Valdivia. Su presencia está bien documentada en la Costa desde la fase Chorrera, hace aproximadamente 3.000 años, con representaciones cerámicas inequívocas de la mazorca de cacao. A la llegada de los españoles en 1526, ya se observaban grandes árboles de cacao en la costa del Pacífico, lo que demuestra un conocimiento y uso establecidos de la especie antes del contacto europeo.

La rápida dispersión del cacao desde la Amazonía hasta la costa y su amplia adopción por culturas precolombinas como la Valdivia, subraya las sofisticadas prácticas agrícolas y comerciales de las sociedades indígenas. Esto demuestra que el viaje de la planta no fue una imposición colonial, sino que se construyó sobre el conocimiento y las redes indígenas existentes. El hecho de que la variedad “Nacional”, característica de Ecuador, esté vinculada al origen amazónico implica una línea continua de cultivo y adaptación por parte de las comunidades locales, lo que la convierte en un cultivo verdaderamente “ancestral”.

1.1.3 El Cacao en la Colonia: Auge y el “Cacao de Arriba”

Para el año 1600, ya existían pequeñas plantaciones de cacao a lo largo de la cuenca del río Guayas, especialmente río arriba del río Daule. El cacao ecuatoriano adquirió una reputación especial por la calidad de sus granos y la finura de su aroma, siendo conocido como “Cacao de Arriba” o “Sabor Arriba”.² Guayaquil se convirtió en el principal proveedor de España después del declive de la producción mexicana a fines del siglo XVI. La Real Cédula de 1789 otorgó a Guayaquil la facultad de exportar cacao directamente, consolidando su importancia comercial.

Aunque el cacao era conocido desde tiempos ancestrales, el período colonial, particularmente el siglo XVIII, lo transformó en una importante mercancía comercial para Ecuador. El cambio de Callao a Guayaquil como principal punto de exportación indica un reconocimiento estratégico por parte de la corona española de la calidad y el volumen del cacao ecuatoriano. Este período estableció el “Cacao de Arriba”

como una designación *premium*, sentando las bases para la futura reputación de Ecuador como productor de cacao fino de aroma. Esta es una conexión en la que las estructuras económicas coloniales amplificaron y formalizaron las prácticas agrícolas indígenas existentes en una red comercial global.

1.1.4 La era del “Gran Cacao” y el Liderazgo Mundial en el Siglo XIX

El siglo XIX marcó una “época dorada” para el cacao ecuatoriano. Entre 1870 y 1920, Ecuador fue el principal productor y exportador mundial de cacao. La producción se duplicó para 1880 (15.000 TM) y se triplicó para la década de 1920 (40.000 TM).² Este período de bonanza fue tan significativo que los primeros bancos del país se crearon gracias a la sólida base económica que ofrecía el cacao.

La riqueza generada por el cacao dio lugar al ascenso de una poderosa élite conocida como las familias del “Gran Cacao”, principalmente en regiones como Vines (Los Ríos). Su influencia se extendió más allá de la economía, dejando un legado cultural que integró costumbres europeas en la sociedad ecuatoriana. A menudo, estas familias confiaban la administración de sus haciendas a terceros para pasar largas temporadas en Europa, lo que le valió a Guayaquil el apodo de “París Chiquito”.

La era del “Gran Cacao” ilustra cómo un único producto agrícola puede moldear profundamente la infraestructura económica y la estratificación social de una nación. El hecho de que los primeros bancos se establecieran gracias al cacao 2 demuestra una conexión directa entre la prosperidad agrícola y el desarrollo de instituciones financieras modernas. El legado de este período va más allá de lo económico, influyendo en las prácticas culturales y consolidando el papel del cacao como símbolo de la riqueza y la identidad nacional, dejando incluso una huella duradera en las costumbres sociales.

1.1.5 Crisis Cacaoteras del Siglo XX: Enfermedades y la Introducción de Nuevas Variedades

La década de 1920 fue “funesta” debido a la aparición y rápida expansión de enfermedades graves como la Moniliasis (monilla) y la Escoba de Bruja, que redujeron la producción en un 30%. Junto con la falta de medios de transporte y mercados internacionales como consecuencia de la Primera Guerra Mundial, estas enfermedades sumieron al sector cacaotero y a la economía ecuatoriana en un período de depresión e inestabilidad.

Para combatir estas enfermedades, se produjo una introducción masiva de cacao extranjero, particularmente de Venezuela, que se cruzó con la variedad Nacional local. Estos híbridos resultaron más vigorosos y productivos, pero su calidad aromática

era inferior a la del Nacional original. También se introdujo la variedad Trinitario.

Las crisis cacaoteras del siglo XX representan un punto de inflexión crítico. La relación es clara: los brotes de enfermedades forzaron un cambio del monocultivo y la dependencia de la susceptible variedad Nacional a la introducción de híbridos resistentes a enfermedades como el CCN51 y el Trinitario. Esto llevó a una compensación: mayor productividad y resiliencia a expensas de la calidad única de “fino de aroma”. Esta tendencia pone de manifiesto la tensión constante en el desarrollo agrícola entre maximizar el rendimiento y preservar la calidad intrínseca, un tema que sigue dando forma a la industria cacaotera de Ecuador en la actualidad.

Tabla 1. Hitos Clave en la Historia del Cacao Ecuatoriano

FECHA/PERÍODO	HITO CLAVE	DESCRIPCIÓN BREVE
5300 AP	Domesticación en Amazonía	Evidencia arqueológica en Santa Ana-La Florida (cultura Mayo Chinchipe-Marañón)
1526	Llegada Española	Observación de grandes árboles de cacao en la costa del Pacífico, uso precolombino establecido
1600	Auge Colonial	Plantaciones en la cuenca del río Guayas, Guayaquil principal exportador de “Cacao de Arriba”
1870-1920	Era del Gran Cacao	Liderazgo mundial en exportación, motor económico, creación de los primeros bancos
1920s	Crisis Enfermedades	Moniliasis y Escoba de Bruja reducen la producción en un 30%, introducción de híbridos
1965	Desarrollo CCN51	Creación de variedad híbrida resistente a enfermedades y de alta productividad

1.2 EL CACAO EN LA CULTURA ECUATORIANA

1.2.1 Patrimonio Ancestral e Identidad Nacional

El cacao es una planta milenaria en Ecuador; su cultivo es considerado una práctica ancestral tanto en la Costa como en la Amazonía. El Ministerio de Agricultura y Ganadería ha afirmado que este producto ha sido una parte esencial de la identidad del país desde tiempos ancestrales.

Las profundas raíces históricas del cacao, ahora confirmadas por evidencia

arqueológica, lo elevan más allá de un simple producto agrícola a un símbolo de identidad y patrimonio nacional. El énfasis constante de fuentes oficiales como el Ministerio de Agricultura y Ganadería refuerza esta condición. Esto implica un ciclo de retroalimentación cultural: el descubrimiento científico de su origen fortalece el orgullo nacional, lo que a su vez impulsa los esfuerzos para preservar y promover el cacao como un activo ecuatoriano único. Esta es una implicación más amplia de los hallazgos históricos en la autopercepción cultural contemporánea.

1.2.2 El “Cacao Fino de Aroma” como Emblema Cultural

Ecuador es reconocido como la “cuna del cacao fino de aroma”, una variedad altamente valorada por su perfil aromático único, descrito como floral, dulce, afrutado, con un ligero amargor al final. Esta calidad lo convierte en un ingrediente insustituible para la industria chocolatera. El nombre genérico “de Arriba”, que aún caracteriza al cacao ecuatoriano, hace referencia a su calidad aromática y a su origen histórico de las zonas río arriba del Daule en Guayaquil

El “Cacao Fino de Aroma” no es solo un producto; es una característica definitoria de la destreza agrícola y la identidad cultural de Ecuador. El término “de Arriba” no es solo un indicador geográfico, sino una designación histórica de calidad, que vincula atributos sensoriales específicos a un origen nacional. Esta relación muestra cómo una calidad de producto superior, desarrollada a lo largo de siglos, se arraiga profundamente en la conciencia nacional y sirve como un punto de distinción internacional, influyendo en las percepciones globales de los productos ecuatorianos.

1.2.3 Legado Social y Económico de la Élite “Gran Cacao”

El auge del cacao en el siglo XIX generó importantes ingresos fiscales y acumulación de capital, lo que llevó a una forma de modernidad en Ecuador. La élite del “Gran Cacao”, que controlaba la producción y exportación, dejó un legado cultural duradero, integrando costumbres europeas en la sociedad ecuatoriana. A menudo, confiaban la administración de las haciendas a terceros para pasar temporadas prolongadas en Europa, lo que le valió a Guayaquil el apodo de “París Chiquito”.

La era del “Gran Cacao” demuestra cómo la prosperidad económica impulsada por un solo producto básico puede remodelar profundamente la jerarquía social, las prácticas culturales e incluso el desarrollo urbano de una nación. La integración de costumbres europeas y el surgimiento de una clase élite ilustran una conexión entre el poder económico derivado del cacao y la formación de una identidad sociocultural distintiva. Este legado, aunque histórico, sigue influyendo en las percepciones de

riqueza, clase y conexiones internacionales en Ecuador, mostrando los efectos a largo plazo de un auge económico pasado.

1.2.4 Reconocimiento como Patrimonio Cultural Inmaterial

El Estado ecuatoriano, a través del Ministerio de Cultura y Patrimonio, ha trabajado activamente para reconocer el cultivo del “cacao fino de aroma” como un elemento constitutivo del patrimonio cultural de la nación. La denominación “de arriba” fue registrada en el Instituto Ecuatoriano de la Propiedad Intelectual (IEPI) en 2006 para la protección de su denominación de origen. En 2017, los “Usos y conocimientos tradicionales asociados a la producción del cacao nacional fino de aroma” fueron incluidos en la Lista Representativa del Patrimonio Cultural Inmaterial Nacional de Ecuador.

El reconocimiento oficial del “cacao fino de aroma” como patrimonio cultural inmaterial es una medida estratégica para proteger su identidad única y promoverlo a nivel mundial. Esta formalización proporciona un marco legal y cultural que puede ayudar a combatir la adulteración y garantizar precios justos, ya que aprovecha el valor cultural para obtener beneficios económicos. Es un paso proactivo del Estado para salvaguardar un activo nacional, lo que demuestra una implicación más amplia de la apreciación cultural que se traduce en políticas y estrategias económicas.

1.2.5 Marcas Emblemáticas y su Contribución a la Reputación Global (e.g., Paccari, República del Cacao)

Marcas ecuatorianas como Paccari y República del Cacao han elevado el nombre del país en la industria chocolatera global. Paccari, fundada por Santiago Peralta, es reconocida por su enfoque ético y sostenible de producción y ha ganado múltiples premios internacionales, posicionando el chocolate ecuatoriano entre los mejores del mundo. El perfil sensorial único del cacao “Fino de Aroma” de Ecuador, con sus notas florales, afrutadas y a nuez, es altamente valorado por chocolateros suizos y alemanes. Esta calidad excepcional llevó a Barry Callebaut, un fabricante líder mundial de productos de chocolate y cacao, a establecer operaciones en Ecuador en 2022 para asegurar un suministro estable de cacao *premium*. Quito también se ha posicionado como un destino principal para los entusiastas del chocolate.

El éxito de marcas de chocolate de alta gama como Paccari y República del Cacao crea un “efecto halo” para todo el cacao ecuatoriano. Sus premios internacionales y su enfoque en la producción ética y sostenible no solo comercializan sus propios productos, sino que también mejoran la reputación general del cacao ecuatoriano como ingrediente *premium* a nivel mundial. Esta relación demuestra cómo el

procesamiento de valor añadido y la construcción de marca pueden amplificar significativamente el impacto cultural y económico de una materia prima, atrayendo más inversiones y consolidando la posición de Ecuador en el mercado gourmet.

Tabla 2. Cacao Ecuatoriano como Patrimonio Cultural

ASPECTO CULTURAL	DESCRIPCIÓN/ SIGNIFICADO	IMPACTO EN LA IDENTIDAD/ REPUTACIÓN
Origen Ancestral	Cuna de la domesticación del cacao, uso por culturas precolombinas hace >5300 años	Fortalece la identidad nacional y la posición histórica de Ecuador
Cacao Fino de Aroma	Sabor “de Arriba” único, floral, frutal, inigualable, esencial para chocolate fino	Emblema de calidad y distinción global para el país
Legado “Gran Cacao”	Élite económica del siglo XIX que controló la producción, moldeó la sociedad y costumbres	Influencia económica y social duradera, parte de la historia de la modernización
Reconocimiento Oficial	Cultivo y usos tradicionales reconocidos como Patrimonio Cultural Inmaterial	Protección legal y promoción de su designación de origen (“de arriba”)
Marcas Emblemáticas	Paccari, República del Cacao posicionan el chocolate ecuatoriano en la élite mundial	Posiciona a Ecuador como líder en chocolate gourmet y atrae inversión

1.3 TIPOS Y VARIEDADES: EL CCN51 COMO PROTAGONISTA

1.3.1 El Cacao Nacional Fino de Aroma: Características y Valor

La variedad Nacional es la más buscada por los fabricantes de chocolate debido a la calidad de sus granos y la finura de su aroma. Es conocida por su perfil aromático floral y su sabor inigualable, considerado insustituible para la industria chocolatera. Su aroma único se atribuye a la presencia de ácido graso linoleico.

Aunque su cultivo está ahora más desarrollado en la región costera del Pacífico, el análisis genético sugiere que su centro de domesticación probable se encuentra en la región amazónica de Zamora Chinchipe, lo que indica una antigua migración a través del intercambio entre sociedades amazónicas y costeras. Estudios recientes buscan preservar el patrimonio genético de esta variedad emblemática de cacao ecuatoriano en la Amazonía.

A pesar de los desafíos y la introducción de nuevas variedades, el “Nacional Fino de Aroma” mantiene su estatus como el cacao más valorado e insustituible para el chocolate fino. Los esfuerzos para preservar su patrimonio genético resaltan un punto crítico: no se trata solo de una planta, sino de un recurso genético único que confiere una ventaja competitiva en el mercado de alta gama. Esto implica una estrategia a largo plazo para equilibrar la productividad económica con la preservación de una biodiversidad única, un tema central en la agricultura sostenible.

1.3.2 El CCN51: Origen, Desarrollo y Características Agronómicas

El CCN-51 (Colección Castro Naranjal) fue desarrollado por Homero Castro en 1965 en Naranjal, provincia de Guayas. Es un cultivar de cacao híbrido, este clon se destaca por su adaptabilidad a diversas zonas climáticas y su fuerte resistencia a enfermedades como la Moniliasis (“Frosty Pod” o “Mal de Quevedo”) y la Escoba de Bruja. Estas enfermedades habían devastado previamente gran parte de la producción de cacao ecuatoriano. Agronómicamente, es un árbol pequeño y manejable, abundante en frutos, con mazorcas grandes (aproximadamente 8.5 mazorcas equivalen a 1 libra de cacao seco). La producción comienza tempranamente, tan solo dos años después de la siembra.⁸ El cultivar de cacao híbrido CCN-51 recibió la certificación de registro del Ministerio de Agricultura y Ganadería en 2019, reconociendo su calidad y origen.

El desarrollo del CCN51 por Homero Castro es una respuesta directa a las devastadoras enfermedades del cacao del siglo XX. Esta innovación agrícola, impulsada por la necesidad de resistencia a enfermedades y mayores rendimientos, transformó el sector y condujo a un “nuevo auge cacaotero” en la década de 1970. Esto subraya cómo la mejora científica y el desarrollo de híbridos se convierten en herramientas cruciales para la resiliencia agrícola y la recuperación económica frente a las amenazas bióticas.

1.3.3 Ventajas del CCN51: Productividad, Resistencia a Enfermedades y Rendimiento en Fábrica

El CCN51 ofrece altos rendimientos, que oscilan entre 2 y 2.5 toneladas por

hectárea. Su introducción impulsó un nuevo auge cacaotero en Ecuador en la década de 1970, contribuyendo a la estabilización económica y la generación de empleo. Permite un mayor rendimiento en fábrica debido a su alto contenido de manteca (54%) en sus frutos. Actualmente, los agricultores ecuatorianos prefieren sembrar CCN-51 debido a sus múltiples beneficios, a pesar de la demanda del mercado tradicional de cacao fino de aroma.

La adopción generalizada del CCN51 es un claro ejemplo de cómo los incentivos económicos impulsan las decisiones agrícolas. Su alta productividad, resistencia a enfermedades y contenido superior de manteca se traducen directamente en mayores ingresos para los agricultores y eficiencia en la fábrica. Esto demuestra una relación en la que la viabilidad económica a menudo tiene prioridad sobre los atributos de calidad tradicionales, especialmente para los pequeños agricultores que buscan medios de vida estables. Esto crea una tensión entre la búsqueda de la cantidad y la preservación de perfiles de calidad únicos.

1.3.4 Desafíos y Potencial del CCN51 en Calidad de Sabor y Aroma

Aunque es altamente productivo, el CCN51 puede generar un magnífico sabor y aroma si se fermenta adecuadamente, lo que podría igualar o incluso superar al cacao Nacional. Sin embargo, el CCN51 es generalmente *más difícil* de fermentar bien en comparación con el cacao Nacional, que fermenta con mayor facilidad. Desde el año 2000, se ha producido una mezcla indiscriminada de cacao Nacional con CCN51, lo que puede diluir el perfil de “fino de aroma”.

La afirmación de que el CCN51 puede lograr un sabor magnífico si se fermenta adecuadamente subraya un punto crucial: el potencial genético de una variedad solo puede realizarse plenamente a través de un procesamiento postcosecha adecuado. El desafío de que el CCN51 sea *más difícil* de fermentar bien revela un patrón: las ganancias de productividad a menudo introducen nuevas complejidades en el control de calidad. Esto implica que mejorar la calidad general del cacao ecuatoriano, especialmente con híbridos productivos, depende críticamente de mejorar las prácticas de fermentación y secado, en lugar de depender únicamente de la selección genética.

1.3.5 La Convivencia y Mezcla de Variedades en la Producción Ecuatoriana

La mayor parte del cacao ecuatoriano actual es una mezcla de variedades Nacional y Trinitario, introducidas después de 1920. A pesar de la hibridación, el sabor “Arriba” aún persiste debido a las condiciones agroclimáticas de Ecuador. Se

considera importante mantener un equilibrio en la producción y especializar los procesos de fermentación para mejorar la calidad del CCN51.

La coexistencia del Nacional y el CCN51 refleja un equilibrio dinámico en la producción cacaotera ecuatoriana. Los agricultores equilibran el alto valor de mercado del “fino de aroma” con la seguridad económica que ofrecen las variedades de alto rendimiento y resistentes a enfermedades. El hecho de que el sabor “Arriba” aún persista implica que el terruño único y la genética residual del Nacional continúan ejerciendo una influencia. Esto destaca una tendencia más amplia en la agricultura: la negociación continua entre preservar variedades tradicionales de alta calidad y adoptar variedades modernas y productivas, lo que a menudo lleva a sistemas híbridos complejos.

Tabla 3. Comparativa de Variedades de Cacao: Nacional Fino de Aroma vs. CCN51

CARACTERÍSTICA	NACIONAL FINO DE AROMA	CCN51
Origen	Amazonía ecuatoriana (probable centro de domesticación)	Naranjal, Guayas (desarrollado por Homero Castro)
Aroma/Sabor	Floral, frutal, inigualable (“Sabor Arriba”), insustituible	Potencialmente magnífico si bien fermentado, puede igualar o superar a Nacional
Productividad	Baja (susceptible a enfermedades)	Alta (2-2.5 ton/ha)
Resistencia a Enfermedades	Susceptible (Moniliasis, Escoba de Bruja)	Alta (Moniliasis, Escoba de Bruja)
Contenido de Manteca	Alto (±50%)	Alto (54%)
Facilidad de Fermentación	Alta (fermenta con facilidad)	Baja/Media (<i>más difícil</i> de fermentar bien)
Uso Principal	Chocolate fino, gourmet, nichos de mercado	Cacao a granel, mezcla, industria

1.4 SITUACIÓN ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN Y EXPORTACIÓN EN ECUADOR

1.4.1 Posición de Ecuador en el Mercado Global de Cacao

Ecuador se ha consolidado como el tercer productor y exportador mundial de

cacao en grano. Además, es el exportador del 63% del cacao fino de aroma a escala global.

La posición de Ecuador como el tercer mayor exportador en general, pero el dominante exportador (63%) de cacao fino de aroma, revela una posición estratégica en el mercado. Esto no es una contradicción, sino un posicionamiento de mercado sofisticado. Ello implica que Ecuador aprovecha su patrimonio genético único (Nacional) para dominar un segmento *premium*, al mismo tiempo que compete en el mercado a granel con variedades como el CCN51. Esta doble estrategia permite tanto exportaciones de alto valor como un volumen significativo, contribuyendo al crecimiento económico general.

1.4.2 Cifras Recientes de Producción y Exportación (2023-2024): Un “Año Dorado”

El año 2024 fue un “año dorado” para el cacao ecuatoriano. Las exportaciones de cacao y sus derivados alcanzaron un récord de 3.618 millones de dólares, lo que representa un crecimiento del 174% en valor exportado. El sector experimentó un aumento del 6,78% en volumen y un notable incremento del 155,70% en ingresos, según datos de Anecacao (2024). En los primeros seis meses de 2024, el volumen aumentó un 19,8% (185 toneladas métricas) y los ingresos un 188,4% (1.266,90 millones de dólares) en comparación con el primer semestre de 2023. Para octubre de 2024, el cacao y sus derivados generaron 2.547 millones de dólares, convirtiéndose en el tercer producto en ingresos de exportación, superando a los enlatados de pescado.

El “año dorado” para el cacao ecuatoriano fue impulsado significativamente por una crisis de producción en África, la principal región productora de cacao a nivel mundial. Este factor externo provocó un aumento de los precios internacionales y una mayor demanda de cacao ecuatoriano. Esta relación demuestra cómo las interrupciones en la cadena de suministro global pueden crear oportunidades inesperadas para países productores específicos. Ello implica que, si bien los esfuerzos internos de Ecuador son cruciales, su éxito reciente también es una función de factores geopolíticos y climáticos más amplios que afectan a sus competidores.

1.4.3 Evolución de Precios y su Impacto en la Cadena de Valor

El precio por tonelada de cacao alcanzó casi los 12.000 dólares en abril de 2024, fluctuando entre 7.000 y 8.000 dólares de julio a noviembre, y volviendo a subir a 11.300 dólares en diciembre. El precio casi se duplicó, pasando de 2.838

a 6.832 dólares por tonelada métrica entre el primer semestre de 2023 y el primer semestre de 2024. Estos resultados han generado beneficios para diversos actores de la cadena de valor, especialmente para los productores, quienes recibieron más dinero por su cacao, lo que les permitió cubrir sus necesidades e invertir en su desarrollo. Sin embargo, la alta volatilidad de los precios ha generado problemas de liquidez y rentabilidad para otros actores de la cadena. Los productores también se quejan de que los grandes compradores aplican diferenciales de 1.500 a 2.000 dólares por debajo de la cotización bursátil.

Si bien los precios récord generaron ingresos significativos y beneficiaron a los productores, la alta volatilidad que los acompañó creó problemas de liquidez y rentabilidad para otros actores de la cadena de suministro. Las quejas de los productores sobre los diferenciales de precios ponen de manifiesto un patrón: incluso en un auge, los beneficios pueden no distribuirse equitativamente, y la dinámica del poder de mercado aún puede desfavorecer a los productores primarios. Esto implica que el crecimiento sostenible requiere no solo precios altos, sino también mecanismos para estabilizar los ingresos de los agricultores y garantizar una captura de valor justa en toda la cadena.

1.4.4 Principales Destinos de Exportación y Cuotas de Mercado

En 2024, la Unión Europea fue el principal destino del cacao ecuatoriano (39% de las exportaciones, 1.298 millones de dólares, un aumento del 281%), seguida de Malasia (17%, 579 millones de dólares, un aumento del 99%) y Estados Unidos (14%, 484 millones de dólares, un aumento del 183%). Indonesia y México también mostraron un crecimiento significativo (134% y 281% respectivamente). En conjunto, estos cinco países representaron el 91% del total exportado. Para 2025, el sector aspira a superar las 500.000 toneladas exportadas, centrándose en la sostenibilidad, la productividad y el cumplimiento de las regulaciones internacionales.

El fuerte crecimiento de las exportaciones a diversos mercados como la Unión Europea (UE), Malasia y EE. UU; indica una estrategia exitosa de diversificación de mercados. El notable crecimiento en el mercado de la UE (281%) sugiere una fuerte demanda de cacao ecuatoriano, probablemente impulsada por su reputación de fino aroma y un creciente enfoque en el abastecimiento sostenible. Esto implica una alineación estratégica con las tendencias de consumo global y las demandas regulatorias (por ejemplo, cacao libre de deforestación), posicionando a Ecuador para un crecimiento continuo en mercados exigentes.

Tabla 4. Desempeño de Exportaciones de Cacao Ecuatoriano (2023-2024)

INDICADOR	2023	2024	CRECIMIENTO % (2024 VS 2023)
Valor Total Exportado (USD)	\$1,171	\$3,618M	174%
Volumen Exportado (TM, H1)	155 TM	185 TM	19,8%
Ingresos Totales (USD, H1)	\$439.3M	\$1,266.9M	188,4%
Precio Promedio por Tonelada (USD, H1)	\$2,838/TM	\$6,832/TM	140,7%

Tabla 5. Principales Destinos de Exportación del Cacao Ecuatoriano (2024)

DESTINO	VALOR EXPORTADO (USD)	% DEL TOTAL EXPORTADO	CRECIMIENTO % (2024 VS 2023)
Unión Europea	\$1,298M	39%	281%
Malasia	\$579M	17%	99%
Estados Unidos	\$484M	14%	183%

1.4.5 Iniciativas de Sostenibilidad y Acceso a Mercados Exigentes (Cacao Libre de Deforestación)

La tendencia global hacia el consumo de alimentos limpios y libres de contaminantes hace que el cacao sea uno de los cultivos que necesariamente deben manejarse cada vez más con un enfoque de producción agroecológica. Ecuador participa activamente en iniciativas como el “Proyecto Cacao Libre de Deforestación” (parte del programa AL-INVEST Verde, financiado por la UE), cuyo objetivo es garantizar que el cacao exportado no provenga de áreas deforestadas. Esto incluye programas clave como PROAmazonía y Pago por Resultados (mecanismo REDD+), que han permitido el acceso a nuevos mercados de la UE (Italia, Bélgica) para el cacao libre de deforestación.

El proyecto implementa sistemas de trazabilidad y diligencia debida, proporciona capacitación para la productividad, la economía circular y la digitalización, y fomenta la organización de productores. Sin embargo, la adaptación a las nuevas regulaciones y herramientas digitales representa un desafío, particularmente para los productores de mayor edad (más de 65 años).

El impulso hacia el cacao “libre de deforestación” y otras iniciativas de sostenibilidad es una consecuencia directa de la evolución de las demandas del mercado internacional y los marcos regulatorios (por ejemplo, las regulaciones de la UE). Esto implica una transformación significativa en las prácticas de producción locales, avanzando hacia métodos agroecológicos y requiriendo una considerable capacitación y digitalización entre los productores. El desafío para los productores de mayor edad pone de manifiesto una implicación social: si bien son beneficiosos para el acceso al mercado, estos cambios pueden exacerbar las desigualdades existentes y requieren apoyo específico para garantizar un crecimiento inclusivo.

1.5 Desafíos de Calidad en la Postcosecha

Esta sección examina críticamente los persistentes desafíos en el procesamiento postcosecha del cacao ecuatoriano, particularmente en lo que respecta a la fermentación y el secado, y su profundo impacto en la calidad final del producto y la competitividad en el mercado.

1.5.1 La Importancia Crítica de la Postcosecha en la Calidad Final del Cacao

Los procesos postcosecha (fermentación, secado, limpieza, almacenamiento y transporte) influyen profundamente en el desarrollo de las propiedades que definen la calidad del chocolate, incluyendo el olor, el sabor, el brillo, la fluidez y la textura en boca. La elección de la variedad y el proceso de fermentación son los factores principales que afectan el sabor, el aroma y el color de los granos de cacao. La acción de la fermentación, el secado y el tostado de las almendras contribuye a sus propiedades organolépticas y facilita la transformación, reducción o síntesis de moléculas que determinan la calidad o los defectos físicos de los diferentes tipos de cacao.

Si bien la genética y el terroir sientan las bases, la información disponible enfatiza consistentemente que el manejo postcosecha es crítico para desarrollar los atributos de calidad final del cacao. Esta es una relación directa: los procesos postcosecha inadecuados conducen directamente a defectos y a la pérdida de los perfiles sensoriales deseados. Esto implica que la inversión y el enfoque en esta etapa son primordiales para que Ecuador capitalice plenamente su potencial de “fino de aroma” y cumpla con los exigentes estándares internacionales, especialmente dadas las complejidades introducidas por variedades como el CCN51.

1.5.2 Problemas Recurrentes en Fermentación y Secado en Ecuador

Un desafío importante es la falta de buenas prácticas de fermentación y secado.

Muchos agricultores venden el cacao “en baba” (sin fermentar).

En cuanto a la fermentación, el CCN51 es *más difícil* de fermentar bien que el Nacional. La fermentación directa (FD) puede llevar a temperaturas desiguales en los cajones (parte superior caliente, inferior fría), a diferencia del presecado (SVR) donde la temperatura es más uniforme. Además, la duración incorrecta (72-96 horas para FD frente a 48-60 horas para SVR) y la remoción inadecuada son problemas comunes. El control de la temperatura es crucial (45-55°C para FD, 40-50°C para SVR). Los procesos internos del grano (temperatura, agua, ácidos, azúcares, enzimas) son vitales para el desarrollo del sabor, y una fermentación inadecuada lo obstaculiza.

En lo que respecta al secado, la falta de un buen secado es un problema recurrente. Las altas temperaturas durante el secado pueden provocar una rápida evaporación del agua, pero retener la acidez en el grano. El secado natural al sol requiere un espacio y mano de obra significativos, con requisitos específicos de carga y recolección. Si se utilizan secadoras, la temperatura debe ser inferior a 50°C, con ciclos de calor alternos y volteo regular. El cacao ahumado (secado en carretera) no es aceptado por los estándares internacionales.

El desglose detallado de los problemas de fermentación y secado revela deficiencias técnicas específicas que impiden directamente la capacidad de Ecuador para producir consistentemente cacao de alta calidad. La conexión es clara: el control inadecuado de la temperatura, la duración incorrecta y la mezcla insuficiente durante la fermentación, junto con métodos de secado erróneos, conducen a sabores indeseables (por ejemplo, alta acidez, notas ahumadas) y defectos físicos (granos pizarrosos). Esto implica que, incluso con una genética superior, un procesamiento deficiente actúa como un cuello de botella, impidiendo que el cacao alcance su máximo potencial de mercado y a menudo dando lugar a penalizaciones.

1.5.3 Impacto de la Falta de Organización y la Intermediación

El mayor problema en el sistema de comercialización es causado por la falta de organización y la intervención de todo tipo de intermediarios. Los intermediarios a menudo compran cacao “en baba” o ya fermentado y secado, lo que lleva a un deterioro de la calidad porque “nadie se hace responsable verdaderamente de la calidad”, y el cacao se entrega de la manera más conveniente, a menudo engañando a los compradores. Los criterios de calidad no se consideran en gran parte del sistema común de comercialización del cacao en Ecuador. Ecuador está perdiendo competitividad en los mercados de cacao fino de aroma debido al mal manejo de los procesos de producción y postcosecha, lo que resulta en penalizaciones en precios y cupos de venta.

La “falta de organización” y el papel omnipresente de los “intermediarios” se identifican como las causas fundamentales del deterioro de la calidad. Esto pone de manifiesto un problema sistémico: incluso si los agricultores individuales mejoran sus prácticas, la cadena de comercialización fragmentada y no regulada permite que la calidad se degrade antes de llegar al mercado. Esto implica que abordar los desafíos de la postcosecha requiere no solo capacitación técnica para los agricultores, sino también reformas estructurales en la cadena de suministro, incluyendo una mejor organización entre productores y exportadores, y programas estatales más efectivos para hacer cumplir los estándares de calidad y reducir la intermediación explotadora.

1.5.4 Estándares Internacionales y la Pérdida de Competitividad

El mercado de productos agrícolas, incluido el cacao, es cada vez más exigente en cuanto a calidad. Organismos internacionales como la Asociación de Cacao de Londres tienen reglas estrictas, rechazando el cacao ahumado y tolerando solo hasta un 5% de granos pizarrosos (mal fermentados) y un 5% de granos defectuosos. La Bolsa de Nueva York también clasifica por procedencia y época, considerando parámetros como el contenido de manteca, el porcentaje de humedad, el porcentaje de mohos y la inocuidad. Históricamente, Ecuador carecía de una forma práctica de calificar internamente el sabor “Arriba”, lo que llevaba a envíos basados únicamente en la palabra del productor o comerciante. Las pruebas de corte actuales (ASSS/ASS/ASE/CCN51) no siempre se correlacionan con el sabor “Arriba”, lo que indica una desconexión con las demandas del mercado de cacao fino de aroma. La exportación de productos que no cumplen con los estándares conlleva penalizaciones en los precios y los cupos de venta tanto para los exportadores como para el país.

La discrepancia entre los métodos de evaluación de calidad internos de Ecuador (o la falta de ellos) y los estrictos estándares internacionales crea una barrera significativa para maximizar el valor. La relación es directa: el incumplimiento de estos estándares resulta en penalizaciones económicas y la pérdida de competitividad en los lucrativos mercados de cacao fino de aroma. Esto implica una necesidad crucial de alinear los sistemas nacionales de control de calidad con las demandas del mercado global, potencialmente a través de la certificación independiente y una trazabilidad robusta, para garantizar que la reputación de “fino de aroma” se traduzca en una ventaja de mercado consistente.

1.5.5 Propuestas y Estrategias para la Mejora de la Calidad Postcosecha

Para mejorar la calidad postcosecha, se propone implementar condiciones controladas de fermentación y secado. Es crucial evitar la mezcla de CCN51 con Nacional, o evitar la mezcla de cacao afectado por Monilia. Los certificados de

calidad deben emitirse al cargar el cacao en el barco, no días antes. Es importante desarrollar variedades “Arriba” más productivas y pagar un precio competitivo y atractivo a los productores para incentivar la calidad. La capacitación debe extenderse a los comerciantes, no solo a los agricultores, sobre los estándares de calidad y las mejores prácticas. Además, se debe fomentar la organización de los productores en asociaciones y cooperativas para fortalecer sus capacidades de gestión y poder de negociación.

Las soluciones propuestas destacan que mejorar la calidad postcosecha en Ecuador requiere un enfoque multifacético. No se trata solo de soluciones técnicas (fermentación/secado controlados), sino también de abordar problemas sistémicos (organización, precios justos, capacitación para todos los actores, evitar la mezcla). Esto implica que una estrategia holística, que abarque políticas, incentivos económicos y desarrollo de capacidades en toda la cadena de valor, es necesaria para una mejora sostenible de la calidad y para que Ecuador realice plenamente su potencial como productor líder de cacao fino de aroma.

Tabla 6. Desafíos y Soluciones Propuestas en la Postcosecha del Cacao Ecuatoriano

DESAFÍO	IMPACTO EN LA CALIDAD/MERCADO	SOLUCIÓN PROPUESTA
Falta de buena fermentación/secado	Deterioro de sabor/ aroma, acidez residual, granos pizarrosos	Fermentación y secado controlados, monitoreo de temperatura y duración
Mezcla indiscriminada de variedades	Dilución del perfil “fino de aroma” y pérdida de calidad uniforme	Evitar mezcla de CCN51 con Nacional, o de cacao afectado por Monilia
Falta de organización/ intermediación	Pérdida de responsabilidad en la calidad, entrega de cacao engañosa	Fomentar organización de productores en asociaciones/cooperativas
Incumplimiento de estándares internacionales	Penalizaciones en precio y cupos de venta, pérdida de competitividad	Certificación de calidad al cargar el cacao, alinear con normas internacionales
Precios no competitivos para productores	Desincentivo a la inversión en calidad y buenas prácticas 12	Pagar un precio competitivo y atractivo a los productores 11
Falta de capacitación en la cadena	Desconocimiento de índices de calidad y manejo adecuado 10	Capacitación a comerciantes y productores en manejo y estándares 10

El cacao ecuatoriano representa un patrimonio inestimable y posee un potencial considerable en el mercado global. La evidencia arqueológica ha reescrito la historia de la domesticación del cacao, posicionando a la Alta Amazonía ecuatoriana como su cuna hace más de 5.300 años. Este descubrimiento no solo fortalece la identidad nacional, sino que también subraya el papel fundamental de Ecuador en la historia global de este cultivo. La trayectoria del cacao en Ecuador, desde su uso ancestral por la cultura Mayo Chinchipe-Marañón hasta la era del “Gran Cacao” que impulsó la economía del siglo XIX, demuestra su arraigo cultural y su capacidad para moldear la sociedad. El reconocimiento oficial como Patrimonio Cultural Inmaterial y el éxito de marcas emblemáticas refuerzan su posición como un producto de calidad y un símbolo nacional.

Sin embargo, el camino hacia la maximización de este potencial no está exento de desafíos. La coexistencia de variedades como el Nacional Fino de Aroma y el CCN51 presenta una dicotomía entre la calidad superior y la productividad. Si bien el CCN51 ha sido fundamental para la resiliencia y el volumen de exportación, su potencial aromático solo se realiza plenamente a través de una fermentación y un secado adecuados, procesos que actualmente enfrentan problemas recurrentes en Ecuador. La falta de organización en la cadena de valor y la intermediación ineficiente contribuyen a la inconsistencia en la calidad, lo que a menudo lleva a que el país no cumpla con los exigentes estándares internacionales y, consecuentemente, reciba penalizaciones en los mercados.

Para asegurar un futuro sostenible y de alto valor para el cacao ecuatoriano, es imperativo abordar estos desafíos de postcosecha de manera integral. Esto implica no solo la implementación de prácticas de fermentación y secado controladas y la prevención de la mezcla indiscriminada de variedades, sino también reformas estructurales en la cadena de suministro. Fomentar la organización de los productores, garantizar precios justos que incentiven la calidad y capacitar a todos los actores de la cadena, desde el agricultor hasta el comerciante, son pasos cruciales. Además, la alineación de los sistemas de control de calidad nacionales con las demandas del mercado global y el fortalecimiento de iniciativas de sostenibilidad como el cacao libre de deforestación son esenciales para mantener y expandir el acceso a mercados *premium*. Al capitalizar su patrimonio genético único y mejorar continuamente sus procesos, Ecuador puede consolidar su posición no solo como un exportador líder en volumen, sino como el referente indiscutible del cacao fino de aroma a nivel mundial.



CAPÍTULO 2

LA FERMENTACIÓN: CORAZÓN DE LA CALIDAD DEL CHOCOLATE



La producción de chocolate de alta calidad es un arte y una ciencia, donde cada etapa del procesamiento del cacao, desde la cosecha hasta el producto final, influye decisivamente en el perfil sensorial. Dentro de este complejo proceso, la fermentación se erige como el paso más fundamental y transformador, una etapa bioquímica y microbiológica que es, en esencia, el corazón de la calidad del chocolate. Sin una fermentación adecuada, los granos de cacao no pueden desarrollar los sabores, aromas y colores distintivos que los hacen tan apreciados a nivel mundial.

2.1 ¿Qué es la fermentación del cacao?

La fermentación del cacao es un proceso postcosecha de importancia crítica que transforma los granos crudos, inherentemente amargos y astringentes, en los precursores que darán origen al sabor, aroma y color característicos del chocolate. Este paso es indispensable para la producción de productos de cacao de alta calidad. El proceso se inicia inmediatamente después de la cosecha y la apertura de las mazorcas, cuando los granos, aún cubiertos por una pulpa mucilaginosa, se agrupan en un espacio confinado.

El propósito primordial de la fermentación es inducir una serie de cambios bioquímicos dentro de los granos que conduzcan al desarrollo de las propiedades organolépticas deseables. Los granos de cacao sin fermentar retienen un sabor amargo y astringente y son incapaces de producir el aroma distintivo del chocolate después del tostado. Más allá de la formación de sabor, la fermentación también cumple la función práctica de facilitar la eliminación de la pulpa mucilaginosa, lo que simplifica considerablemente las etapas posteriores de secado y procesamiento de los granos.

2.1.1 La Importancia Crítica para la Calidad del Chocolate

La calidad final del chocolate, manifestada en atributos como su olor, sabor, brillo, fluidez y textura en boca, depende directamente de los procesos que tienen lugar antes y después de la cosecha del grano, siendo la fermentación un factor determinante. Este proceso, en conjunto con el secado y el tostado de las almendras, contribuye a sus propiedades organolépticas y facilita la transformación, reducción o síntesis de moléculas que definen la calidad o los posibles defectos físicos en los distintos tipos de cacao. La elección de la variedad de cacao y el método de fermentación son los principales factores que influyen en el sabor, el aroma y el color de los granos de cacao.

La importancia de la fermentación radica en su papel como el paso transformador que dicta el potencial del chocolate final. La reiterada mención de la fermentación

como un paso fundamental y su impacto directo en todos los atributos sensoriales principales –sabor, aroma, color y textura– establece una relación causal innegable. No es simplemente una etapa más en la cadena de producción; es el requisito previo que permite que el cacao desarrolle su complejidad. Sin este proceso, los granos permanecen amargos y astringentes, incapaces de convertirse en el producto deseado. Esto significa que cualquier avance en la calidad del cacao, incluyendo las innovaciones en la fermentación con mango y levadura, debe basarse en una comprensión profunda y una optimización rigurosa de este proceso central.

2.1.2 Condiciones Iniciales de la Pulpa y los Granos de Cacao

Al momento de la extracción, los granos de cacao frescos están envueltos en una pulpa mucilaginoso. Esta pulpa se compone principalmente de 82-87% de agua, 10-15% de azúcares fermentables (como glucosa, fructosa y sacarosa), 2-3% de pentosas, y 1-3% de ácido cítrico y pectina. El pH inicial de esta pulpa es notablemente ácido, aproximadamente 3,6, debido a la alta concentración de ácido cítrico. Este ambiente, caracterizado por un pH bajo y niveles inicialmente reducidos de oxígeno dentro de la masa de granos, crea las condiciones favorables para la colonización de los microorganismos que darán inicio al proceso fermentativo.

La composición inicial de la pulpa no es meramente descriptiva; es un factor determinante de la sucesión microbiana. El desglose detallado de los componentes de la pulpa, como azúcares, ácidos y pectina, explica directamente por qué ciertos grupos microbianos, como levaduras, bacterias lácticas (BAL) y bacterias acéticas (BAA), prosperan en secuencias específicas. El ambiente inicial ácido, rico en azúcares y anaeróbico, selecciona a las levaduras, que luego modifican el entorno al producir etanol, consumir azúcares y degradar la pectina. Estos cambios, a su vez, favorecen el crecimiento de las BAL y, posteriormente, de las BAA. Esta intrincada interdependencia subraya que cualquier variación en la composición de la pulpa, ya sea por diferentes variedades de cacao, niveles de madurez o la incorporación de pulpa de mango, alterará intrínsecamente la sucesión microbiana y, por ende, el perfil de sabor resultante.

Además, la fermentación se puede concebir como una etapa de “precocción” fundamental. La literatura indica que los precursores del sabor se forman durante la fermentación y se potencian durante las etapas posteriores de secado y tostado. Esto significa que la fermentación no es simplemente un proceso para eliminar el mucílago o para matar el embrión del grano; es una fase activa de construcción molecular. Durante este tiempo, se crean los ingredientes crudos que, mediante la reacción de Maillard durante el tostado, se transformarán en los complejos compuestos aromáticos del chocolate. Este proceso bioquímico sienta las bases para todo el desarrollo del sabor

en el producto final, elevando la fermentación de una mera etapa de procesamiento a una fase crítica en la creación del perfil de calidad del cacao.

2.2 PROCESOS BIOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS CLAVE

La fermentación del grano de cacao es un proceso biológico complejo, impulsado por una sucesión microbiana ordenada y una serie de transformaciones bioquímicas interconectadas. Comprender estos procesos es esencial para controlar y optimizar la calidad del chocolate.

2.2.1 Visión General de la Comunidad Microbiana

La fermentación del grano de cacao es un proceso espontáneo, lo que significa que es iniciado por microorganismos que se encuentran de forma natural en el entorno de fermentación. Los tres grupos microbianos principales que dirigen esta transformación son las levaduras, las bacterias lácticas (BAL) y las bacterias acéticas (BAA). Además de estos, también pueden estar presentes bacterias aeróbicas formadoras de esporas y diversas especies de hongos filamentosos.

La variabilidad en la composición de estos microorganismos, que a menudo provienen del suelo, el aire y el equipo utilizado en la región productora, puede dar lugar a una amplia gama de perfiles sensoriales en el cacao fermentado. Esta diversidad, si bien puede presentar desafíos en términos de consistencia, también ofrece la oportunidad de descubrir nuevos perfiles de sabor.

La investigación ha demostrado consistentemente una “sucesión microbiana ordenada” durante la fermentación del cacao. Esta secuencia no es aleatoria; es una cascada ecológica finamente ajustada donde los subproductos metabólicos de un grupo microbiano crean las condiciones ideales para el crecimiento y la actividad del siguiente. Las levaduras, por ejemplo, prosperan inicialmente en el ambiente anaeróbico y ácido de la pulpa, produciendo etanol y agotando el oxígeno. Estos cambios, a su vez, favorecen el crecimiento de las BAL, que son tolerantes a los ácidos. Finalmente, a medida que la pulpa se licúa y el oxígeno comienza a difundirse en la masa, las BAA se vuelven dominantes, utilizando el etanol como sustrato. Esta intrincada interacción microbiana es fundamental para la calidad del cacao, ya que cada grupo contribuye con transformaciones químicas específicas que son esenciales para el desarrollo del sabor.

2.2.2 Transformaciones Bioquímicas Esenciales

Las interacciones microbianas desencadenan una serie de transformaciones bioquímicas cruciales dentro de la pulpa y los granos de cacao:

- Degradación de Azúcares:

Las levaduras son los primeros colonizadores y consumen el alto contenido de azúcares fermentables (glucosa, fructosa, sacarosa) presentes en la pulpa. Como resultado de esta fermentación alcohólica, producen etanol y dióxido de carbono. Este proceso ocurre en condiciones predominantemente anaeróbicas.

- Producción de Ácidos Orgánicos:

Una vez que las levaduras han modificado el ambiente, las bacterias lácticas (BAL) proliferan y convierten los azúcares residuales en ácido láctico, lo que contribuye a una mayor disminución del pH en la masa.

Posteriormente, las bacterias acéticas (BAA) toman el relevo, oxidando el etanol producido por las levaduras en ácido acético. Este paso es de vital importancia para el desarrollo del sabor característico del chocolate.

- Actividad Enzimática:

Las levaduras secretan enzimas pectinolíticas que degradan la pectina de la pulpa, licuándola y permitiendo así que el oxígeno atmosférico comience a penetrar en la masa en fermentación. Esta licuefacción de la pulpa es un paso crítico que facilita el avance efectivo del proceso.

La difusión de los ácidos (láctico y acético) y el calor generado en los granos provoca la muerte del embrión y activa las enzimas endógenas dentro de los cotiledones. Estas enzimas son fundamentales para la descomposición de proteínas y otros compuestos complejos dentro del grano, liberando precursores de sabor.

Es importante señalar que las lipasas, tanto endógenas como las producidas por mohos, pueden generar Ácidos Grasos Libres (AGL). El control de estos AGL es crucial, ya que niveles elevados pueden conducir al desarrollo de sabores extraños o rancidez en el producto final.

La combinación de ácidos acético y láctico, junto con el aumento de las temperaturas, no son meros subproductos del proceso; son agentes activos que penetran en el grano, provocando la muerte del embrión, la ruptura de las paredes celulares y la activación de enzimas cruciales. Este cambio interno dentro de los cotiledones es lo que realmente libera el potencial de sabor del cacao. La muerte del embrión, aunque parezca un evento destructivo, es en realidad un catalizador esencial para el desarrollo de la calidad. Este es un vínculo causal fundamental: la interrupción de la viabilidad del embrión permite que las reacciones bioquímicas internas, mediadas por enzimas, transformen los componentes del grano en los deseables precursores del sabor.

2.2.3 Formación de Precusores de Sabor y Aroma

Los profundos cambios bioquímicos que tienen lugar dentro de los granos durante la fermentación conducen a la formación de precursores de sabor y aroma. Estos precursores, que incluyen aminoácidos (como leucina, alanina, fenilalanina y tirosina) y azúcares reductores, son compuestos que, por sí mismos, no poseen el perfil aromático final del chocolate. Sin embargo, su presencia es indispensable, ya que se potencian y transforman en los compuestos aromáticos finales durante las etapas posteriores de secado y, crucialmente, el tostado. La reacción de Maillard, una serie compleja de reacciones químicas entre aminoácidos y azúcares reductores que ocurre durante el tostado, es la responsable de convertir estos precursores en los compuestos volátiles que definen el aroma y sabor del chocolate.

2.2.4 Dinámica de los Cambios de Temperatura y pH

La fermentación del cacao es un proceso dinámico que implica cambios significativos en las condiciones físico-químicas de la masa:

Temperatura: El proceso de fermentación es exotérmico, lo que significa que genera calor. Este calor eleva progresivamente la temperatura de la masa de granos. Para una fermentación óptima, las temperaturas deben alcanzar idealmente entre 32°C y 60°C. En algunos estudios, se ha observado una temperatura promedio máxima de 51°C después de 48 horas de fermentación.⁹ Este aumento de temperatura es fundamental, ya que acelera las reacciones bioquímicas y enzimáticas dentro de los granos.

pH: El pH inicial de la pulpa es bajo, oscilando alrededor de 3,6-4,0, debido a la presencia de ácido cítrico. A medida que avanza la fermentación, el pH experimenta cambios significativos. Inicialmente, puede disminuir aún más debido a la producción de ácidos orgánicos por las levaduras y BAL. Sin embargo, en fases posteriores, el pH tiende a aumentar ligeramente a medida que el ácido cítrico es consumido por las bacterias lácticas y el ácido acético se volatiliza o se oxida. Un pH de 4.5 puede alcanzarse después de 144 horas de fermentación en algunos casos. Estos cambios en el pH son cruciales, ya que influyen directamente en la actividad enzimática y en la sucesión de las poblaciones microbianas a lo largo del proceso.

La coexistencia de la biodiversidad microbiana natural con la necesidad de control de calidad representa un desafío constante. Si bien la variabilidad de los microorganismos que se encuentran de forma natural en el entorno de fermentación puede, en ocasiones, dar lugar a “nuevos perfiles sensoriales” únicos, la falta de un control riguroso en la fermentación tradicional a menudo resulta en una calidad inconsistente y en la aparición de defectos en el cacao. Esto pone de manifiesto

una tensión inherente entre la exploración de sabores espontáneos y distintivos y la necesidad de lograr una producción consistente y de alta calidad a granel. La gestión de esta tensión es un aspecto clave para la industria cacaotera.

Tabla 7. Microorganismos Clave y sus Roles en la Fermentación del Cacao

GRUPO DE MICRO ORGANISMOS	ESPECIES/ GÉNEROS DOMINANTES (EJEMPLOS)	ACTIVIDADES METABÓLICAS PRIMARIAS	IMPACTO EN EL GRANO/PULPA	CONDICIONES ÓPTIMAS/FASE
Levaduras	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Pichia kudriavzevii</i> , <i>Hanseniaspora</i> , <i>Candida</i>	Fermentación alcohólica (producción de etanol y CO2), Pectinólisis	Licuefacción de la pulpa, Generación de calor, Cambios iniciales de pH	Inicial (anaeróbica, pH bajo, alta concentración de azúcares)
Bacterias Lácticas (BAL)	<i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>Leuconostoc</i>	Producción de ácido láctico (a partir de azúcares residuales)	Reducción adicional del pH, Contribución a la acidez del grano	Intermedia (microaerófila, acidez creciente)
Bacterias Acéticas (BAA)	<i>Acetobacter pasteurianus</i>	Oxidación de etanol a ácido acético	Aumento de temperatura (reacción exotérmica), Penetración de ácido en el grano, Muerte del embrión, Activación enzimática	Final (aeróbica, temperatura más alta)
(Opcional) <i>Bacillus</i> spp.		Degradación de proteínas, Producción de amoníaco	Pueden contribuir a sabores extraños si proliferan excesivamente	Fases tardías (aeróbicas)
(Opcional) Hongos Filamentosos		Producción de lipasas	Generación de Ácidos Grasos Libres (AGL), que pueden causar sabores extraños	Pueden indicar mal manejo postcosecha

2.3 FASES: ALCOHÓLICA, ACÉTICA Y OXIDATIVA

La fermentación del cacao se caracteriza por una sucesión de fases bien definidas, cada una dominada por diferentes grupos microbianos y marcada por cambios bioquímicos y físico-químicos específicos. Estas fases son interdependientes, y el éxito de una sienta las bases para la siguiente, culminando en la formación de los precursores del sabor.

2.3.1 Fase Alcohólica (Fase Inicial)

Esta fase inicial es impulsada predominantemente por las levaduras. Las levaduras prosperan en las condiciones iniciales de la pulpa de cacao, que son anaeróbicas y tienen un pH bajo (alrededor de 3,6 a 4,0). La pulpa es rica en azúcares fermentables como glucosa, fructosa y sacarosa, que sirven como sustrato principal para las levaduras.

Dentro de las primeras 24 a 48 horas de fermentación, la población de levaduras aumenta rápidamente, alcanzando su máximo desarrollo en aproximadamente 24 horas. Su actividad metabólica principal es la fermentación alcohólica, mediante la cual convierten los azúcares en etanol y dióxido de carbono. Este proceso es exotérmico y genera una cantidad significativa de calor, contribuyendo al aumento inicial de la temperatura en la masa en fermentación.

Un aspecto fundamental de esta fase es la secreción de enzimas pectinolíticas por parte de las levaduras. Estas enzimas degradan la pectina presente en la pulpa, lo que conduce a su licuefacción. La licuefacción de la pulpa es vital, ya que reduce la viscosidad de la masa y permite que el aire, y por lo tanto el oxígeno, comience a penetrar gradualmente en el interior, preparando el escenario para las fases aeróbicas posteriores. Los géneros de levaduras comunes en esta fase incluyen

Pichia, *Hanseniaspora*, *Saccharomyces* y *Candida*. Las especies de *Hanseniaspora* suelen ser dominantes al principio, pero son gradualmente reemplazadas por especies más tolerantes al etanol y a las altas temperaturas, como *Saccharomyces cerevisiae*, a medida que los niveles de etanol aumentan.

2.3.2 Fase Láctica (Fase Intermedia)

A medida que la actividad de las levaduras progresa y el ambiente dentro de la masa en fermentación comienza a cambiar, las bacterias lácticas (BAL) se vuelven un grupo microbiano dominante. Su crecimiento máximo se observa típicamente después de 48 horas. Las BAL son microorganismos microaerófilos, lo que significa que pueden prosperar en condiciones de bajo oxígeno, y son tolerantes tanto a los ácidos como al etanol producido en la fase anterior.

Durante esta fase, las BAL continúan la degradación de los azúcares residuales presentes en la pulpa, convirtiéndolos principalmente en ácido láctico. Esta producción de ácido láctico contribuye a una mayor reducción del pH dentro de la masa y los granos, lo que es crucial para los cambios bioquímicos internos. La producción continua de ácidos orgánicos, tanto láctico como acético (que se formará en la siguiente fase), es un motor clave para las transformaciones bioquímicas dentro del grano de cacao.

2.3.3 Fase Acética y Oxidativa (Fase Final)

Con la creciente penetración de oxígeno en la masa fermentativa, facilitada por la licuefacción de la pulpa y las remociones periódicas, las bacterias acéticas (BAA) proliferan y se vuelven el grupo microbiano predominante. Las BAA suelen alcanzar su máximo desarrollo después de 48 horas, coincidiendo con la disponibilidad de etanol y oxígeno.

La función principal de las BAA en esta fase es la oxidación del etanol, producido por las levaduras en la fase alcohólica, en ácido acético. Esta reacción es altamente exotérmica, lo que contribuye significativamente al aumento de la temperatura en la masa en fermentación, a menudo alcanzando rangos de 40-55°C.

El ácido acético, junto con estas altas temperaturas, se difunde en los granos de cacao. Esta penetración de ácido y calor es un evento crucial: provoca la muerte del embrión del grano, impidiendo su germinación, y desencadena la descomposición de las paredes celulares dentro de los cotiledones. La muerte del embrión, aunque parezca un proceso destructivo, es en realidad un paso esencial que activa las enzimas endógenas del grano. Estas enzimas son las responsables de hidrolizar proteínas en aminoácidos y de descomponer otros compuestos complejos, liberando así los precursores del sabor que serán fundamentales para el desarrollo del aroma y sabor del chocolate durante el tostado.

El término “fase oxidativa” se utiliza para describir el período en el que las BAA son altamente activas, ya que llevan a cabo una conversión oxidativa del etanol a ácido acético. Aunque los documentos no definen explícitamente una “fase oxidativa” separada con grupos microbianos distintos más allá de las BAA, sí enfatizan la importancia de la entrada de oxígeno y la subsecuente oxidación del etanol por las BAA. Si las condiciones lo permiten, el ácido acético puede oxidarse aún más a dióxido de carbono y agua. Esta fase es crítica para la activación de enzimas endógenas y la formación de precursores del sabor.

La interdependencia de las fases es un aspecto fundamental del proceso. Las fases de fermentación no son eventos discretos y aislados, sino que fluyen una hacia la otra de manera continua y secuencial. El resultado de una fase actúa como el insumo o el desencadenante de la siguiente. Por ejemplo, la actividad de las levaduras, al producir etanol y enzimas pectinolíticas, no solo transforma los azúcares, sino que también modifica el entorno de la pulpa (cambiando el pH y permitiendo la entrada de oxígeno), lo que a su vez posibilita la proliferación de las bacterias lácticas y acéticas. Este encadenamiento de eventos resalta la fermentación como un sistema biológico dinámico y altamente interconectado, donde cada grupo microbiano prepara el terreno para el siguiente, impulsando la transformación bioquímica general del cacao.

El paso que implica la muerte del embrión, causado por los efectos combinados del calor y la penetración de ácido, es un evento aparentemente destructivo, pero se presenta como esencial para el desarrollo de la calidad. Esta es una relación causal contraintuitiva pero crítica: la interrupción de la viabilidad del embrión permite la activación de enzimas internas y el inicio de las complejas reacciones químicas dentro de los cotiledones que liberan el potencial de sabor del cacao. Sin esta etapa “mortal”, los precursores del sabor no se formarían adecuadamente, afectando negativamente la calidad final del chocolate.

Finalmente, el papel evolutivo de la aireación a lo largo del proceso es digno de mención. Al inicio de la fermentación, los niveles de oxígeno son bajos, lo que favorece el crecimiento de levaduras y bacterias lácticas, que son anaeróbicas o microaerófilas. Sin embargo, la introducción gradual de oxígeno, facilitada por la licuefacción de la pulpa y las remociones periódicas de la masa, es crucial para la proliferación de las bacterias acéticas aeróbicas en la fase final. Esto subraya que la aireación no es un factor constante, sino un parámetro que debe gestionarse dinámicamente a lo largo de la fermentación. La disponibilidad controlada de oxígeno en cada etapa influye directamente en la sucesión microbiana y en las vías metabólicas activas, lo que a su vez impacta directamente en la calidad del grano fermentado.

Tabla 8. Cambios Bioquímicos y Físico-Químicos Durante las Fases de Fermentación del Cacao

FASE	MICRO ORGANISMOS PREDOMINANTES	CAMBIOS CLAVE EN LA PULPA	CAMBIOS CLAVE EN EL GRANO	CAMBIOS FÍSICO-QUÍMICOS	DURACIÓN APROXIMADA
Alcohólica	Levaduras (Saccharomyces, Pichia, Hanseniaspora)	Degradación de azúcares (glucosa, fructosa, sacarosa), Producción de etanol y CO2, Licuefacción de pectina	Penetración inicial de etanol y CO2	Aumento de temperatura (32-40°C), pH inicial bajo (3,6-4,0)	0-24/48 horas
Láctica	Bacterias Lácticas (BAL) (Lactobacillus, Leuconostoc)	Producción de ácido láctico (a partir de azúcares residuales)	Mayor penetración de ácidos en el grano	pH disminuye aún más, Temperatura sigue aumentando	24-48/72 horas
Acética/	Bacterias Acéticas (BAA) (Acetobacter)	Oxidación de etanol a ácido acético, Posible oxidación de ácido acético a CO2 y H2O	Penetración de ácido acético y calor, Muerte del embrión, Descomposición de paredes celulares, Activación enzimática, Hidrólisis de proteínas, Formación de precursores de sabor	Temperatura máxima (45-55°C), pH comienza a subir ligeramente	48-120 horas (o más)

2.4 TÉCNICAS TRADICIONALES VS. FERMENTACIÓN DIRIGIDA

La calidad del cacao fermentado, y por ende del chocolate, está intrínsecamente ligada a las técnicas de fermentación empleadas. Históricamente, el proceso ha sido espontáneo, pero el avance científico ha permitido el desarrollo de métodos dirigidos que buscan optimizar y estandarizar los resultados.

2.4.1 Fermentación Tradicional

La fermentación tradicional del cacao es un proceso no controlado que se inicia por la acción de microorganismos que se encuentran de forma natural en los sitios de fermentación. Los granos de cacao, una vez extraídos de las mazorcas, se amontonan en espacios confinados, que pueden ser pilas cubiertas con hojas de plátano o cajas de madera. En Nigeria, por ejemplo, los agricultores locales suelen utilizar hojas de plátano y de malanga para este método tradicional.

Las características de este método incluyen una actividad microbiana espontánea, que depende del microbiota indígena presente en el entorno, como el suelo, el aire, el equipo y las superficies de las vainas. Las condiciones iniciales son anaeróbicas, pero a medida que la pulpa se licúa, se produce una transición gradual hacia condiciones más aeróbicas. Durante los primeros 2 a 3 días, la temperatura de la masa suele elevarse a un rango de 40-45°C. Esta elevación de temperatura, junto con la actividad microbiana, conduce a la degradación de la pulpa y a la mezcla de sustancias, lo que a su vez activa la actividad enzimática y la descomposición de proteínas en aminoácidos dentro del grano.

A pesar de su arraigo cultural, la fermentación tradicional presenta desafíos y desventajas significativas. La naturaleza incontrolada de este método conduce a una alta variabilidad en las comunidades y la actividad microbiana, lo que se traduce en una calidad inconsistente del cacao. Esta inconsistencia es un problema considerable en países productores como Ecuador, donde la falta de organización y un manejo postcosecha deficiente contribuyen al deterioro de la calidad del cacao. Existe un mayor riesgo de crecimiento microbiano indeseable y contaminación. Además, la sobre-fermentación en procesos espontáneos puede propiciar el aumento de *Bacillus* spp. y hongos filamentosos, los cuales pueden causar la aparición de sabores extraños en el cacao.

La variedad CCN51, que es altamente productiva y resistente a enfermedades, es crucial para la economía de Ecuador. Sin embargo, se ha señalado que es “*más difícil de fermentar bien*” en comparación con el cacao Nacional. Esta situación subraya una limitación de los métodos tradicionales, que pueden tener dificultades para optimizar el sabor de ciertas variedades de alto rendimiento. En Ecuador, los

criterios de calidad a menudo no se consideran en el sistema de comercialización común, y los productores venden “cacao en baba” (cacao sin fermentar), confiando en medidas subjetivas como la “experiencia de la mano” para evaluar la humedad, lo que contribuye a la falta de responsabilidad en la calidad.

2.4.2 Fermentación Dirigida (con Cultivos Iniciadores)

En contraste con la fermentación tradicional, la fermentación dirigida implica la adición intencional de cepas microbianas específicas, conocidas como cultivos iniciadores, para controlar y guiar el proceso de fermentación. Estos cultivos están formulados científicamente para optimizar los resultados.

Los beneficios de la fermentación dirigida son numerosos:

Control y Estandarización: El objetivo principal es estandarizar el proceso, lo que lleva a perfiles aromáticos más reproducibles y una calidad consistente en el chocolate final.

Fermentación Acelerada: Puede acelerar significativamente el proceso, reduciendo potencialmente el tiempo de fermentación de los 5-7 días típicos de los métodos tradicionales a tan solo 2-3 días en condiciones optimizadas. Esta aceleración se logra mediante una conversión más eficiente del ácido cítrico y una mayor producción de ácido láctico.

Perfiles Sensoriales Mejorados: Es posible seleccionar cepas específicas para producir características de sabor deseadas, como un amargor reducido, notas frutales o florales mejoradas, y una mayor complejidad en el perfil aromático. Por ejemplo, levaduras como *Saccharomyces cerevisiae* y *Pichia kudriavzevii* son cruciales para la producción de ésteres aromáticos y compuestos alcohólicos que contribuyen a estos perfiles.

Superación de Contaminantes: Las especies microbianas inoculadas son capaces de superar la contaminación natural presente en la masa de pulpa y granos, asegurando una fermentación más limpia y controlada.

Eficiencia Mejorada: Conduce a una mayor eficiencia de fermentación y una mejor calidad de los granos inoculados en comparación con la fermentación espontánea.

Efectos Sinérgicos: La utilización de cultivos iniciadores de cepas mixtas puede inducir efectos sinérgicos, lo que resulta en actividades enzimáticas intensas y la generación de compuestos de sabor complejos. Ejemplos de cultivos iniciadores incluyen combinaciones de levaduras, BAL y BAA, como *Saccharomyces cerevisiae* H5S5K23, *Lactobacillus fermentum* 222 y *Acetobacter pasteurianus* 386B.

2.4.3 Comparación de Técnicas

Los métodos tradicionales de fermentación, si bien permiten una variabilidad regional y el potencial para perfiles únicos asociados al terroir, a menudo adolecen de inconsistencia y problemas de calidad, particularmente en contextos como Ecuador, donde el manejo postcosecha puede ser deficiente.

En contraste, la fermentación dirigida ofrece un control superior, consistencia y la capacidad de adaptar los perfiles de sabor. Esto aborda directamente los desafíos de los métodos tradicionales y puede mejorar significativamente la calidad de variedades como la CCN51. Representa un avance hacia el control de calidad a escala industrial. La elección entre ambos métodos a menudo depende del resultado deseado: perfiles únicos y artesanales (que requieren una gestión tradicional muy cuidadosa) versus perfiles consistentes y de alta calidad a granel o especializados (logrados con fermentación dirigida).

El “dilema del CCN51” es un ejemplo claro de cómo la ciencia puede abordar un problema práctico. La variedad CCN51 es altamente productiva y resistente a enfermedades, lo que la hace económicamente vital para Ecuador. Sin embargo, es “*más difícil* de fermentar bien”, lo que presenta una contradicción directa: una variedad crucial para la subsistencia de los agricultores tiene dificultades con los procesos de calidad tradicionales. La fermentación dirigida ofrece una solución potencial para desbloquear el potencial de sabor del CCN51, permitiendo a Ecuador capitalizar su productividad sin sacrificar la calidad. Al utilizar cultivos microbianos específicos, se pueden superar los desafíos inherentes a la fermentación de esta variedad de alto rendimiento, maximizando así tanto la cantidad como la calidad para los productores ecuatorianos.

Los desafíos en la calidad del cacao ecuatoriano, como la falta de organización, el mal manejo postcosecha y la venta de “cacao en baba” (cacao sin fermentar) 8, ponen de manifiesto una brecha significativa entre la comprensión científica de la fermentación y las prácticas agrícolas. La fermentación dirigida, aunque representa un avance científico, ofrece un camino para cerrar esta brecha al proporcionar resultados más controlados y predecibles. Esto, a su vez, tiene el potencial de mejorar los medios de vida y el acceso al mercado para los pequeños productores, al permitirles cumplir con estándares de calidad más exigentes.¹⁷ La aplicación de estos avances científicos puede transformar la realidad económica de las comunidades cacaoteras.

Existe una tensión entre el “sabor del lugar” y la estandarización. Mientras que la fermentación tradicional permite “perfiles sensoriales” únicos vinculados a la microbiota local y a factores ambientales específicos del terroir, la fermentación

dirigida busca la estandarización y la reproducibilidad. Esto crea una dicotomía: ¿se prioriza el sabor “tradicional” único, que puede ser inherentemente variable, o el sabor consistente y controlado que permite la ciencia? La variedad “Nacional” de Ecuador es valorada por su “fino de aroma” y “sabor arriba”, lo que sugiere un perfil tradicional distintivo. La búsqueda de “nuevas fronteras” en la fermentación, como la adición de mango y levadura, podría implicar una fermentación dirigida que no solo mejore o replique los aromas tradicionales deseables, sino que también explore nuevas dimensiones de sabor, equilibrando la tradición con la innovación científica.

Tabla 9. Comparación de Técnicas de Fermentación: Tradicional vs. Dirigida

CARACTERÍSTICA	FERMENTACIÓN TRADICIONAL	FERMENTACIÓN DIRIGIDA
Control	Bajo o nulo	Alto
Fuente de Microorganismos	Ambiente/Microbiota espontánea	Cultivos iniciadores específicos
Consistencia de Calidad	Variable/Inconsistente	Alta/Reproducible
Tiempo de Fermentación	5-7 días (o más)	2-5 días (potencialmente más corto)
Perfil de Sabor	Potencialmente único pero impredecible	Adaptable/Consistente, con notas deseadas (frutales, florales)
Riesgo de Defectos/ Contaminación	Alto (moho, pizarroso, sabores extraños)	Bajo (superación de contaminantes)
Adaptabilidad a Variedades (ej. CCN51)	Desafíos para optimizar sabor	Mejora potencial para el desarrollo de sabor
Requerimiento de Mano de Obra/ Espacio	Alto (para volteo, secado al sol)	Menor (en sistemas controlados)

2.5 NORMATIVAS INTERNACIONALES (INCLUYE INEN 176:2018)

La calidad del cacao en el mercado global está regida por una serie de normativas y estándares internacionales que buscan asegurar la uniformidad y las propiedades deseadas del grano. Ecuador, como uno de los principales productores de cacao fino de aroma, también cuenta con su propia normativa específica, la INEN 176:2018.

2.5.1 Estándares Internacionales Generales de Calidad para Granos de Cacao Fermentados

Las organizaciones de comercio internacional establecen requisitos estrictos para los granos de cacao de calidad comercial. Se exige que los granos estén fermentados adecuadamente, completamente secos, y libres de olores anómalos o extraños, como el humo, así como de cualquier evidencia de adulteración. Además, los granos deben estar razonablemente libres de insectos vivos, granos partidos, fragmentos de cáscara y materia extraña, y deben presentar un tamaño razonablemente uniforme.

La evaluación de la calidad se realiza en gran medida mediante una “prueba de corte” (cut test), que permite identificar el grado de fermentación y el porcentaje de granos defectuosos. Los defectos comunes incluyen granos mohosos, pizarrosos (subfermentados), dañados por insectos, germinados o planos.

Los estándares internacionales suelen clasificar el cacao en grados, con límites específicos para los defectos:

- **Granos de cacao de Grado 1:** Permiten un máximo del 3% de granos mohosos, un máximo del 3% de granos pizarrosos (subfermentados) y un máximo del 3% total para granos dañados por insectos, germinados o planos.
- **Granos de cacao de Grado 2:** Permiten un máximo del 4% de granos mohosos, un máximo del 8% de granos pizarrosos y un máximo del 6% total para granos dañados por insectos, germinados o planos.

El contenido de humedad es otro parámetro crítico, con un rango generalmente aceptado de 6-7.5%. Organizaciones como la Asociación de Cacao de Londres tienen sus propias normativas, prohibiendo el cacao ahumado y tolerando solo hasta un 5% de granos pizarrosos y un 5% de granos defectuosos.

2.5.2 Detalles de la Norma Ecuatoriana INEN 176:2018

La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 176:2018-02) es el estándar nacional que establece los requisitos de calidad y los criterios de clasificación para los granos de cacao beneficiados destinados a la comercialización en Ecuador.¹ Esta norma

define términos clave para la industria, como “cacao fino”, que se caracteriza por sus sabores y aromas florales, frutales y otras notas especiales.¹ También especifica características para el cacao CCN51 y para granos con diferentes grados de fermentación, incluyendo granos violetas y diversos tipos de granos defectuosos.

La norma INEN 176:2018 clasifica el cacao fino en tres categorías principales:

Arriba Superior Summer Selecto (A.S.S.S): Esta es la categoría de mayor calidad, que requiere que 100 almendras pesen más de 130 gramos y presenten un porcentaje de fermentación superior al 75%.

Arriba Superior Selecto (A.S.S)

Arriba Superior Época (A.S.E)

Entre los requisitos específicos de la norma se incluyen un contenido máximo de humedad del 7% y límites estrictos para la presencia de granos mohosos, pizarrosos (sin fermentar), dañados por insectos, germinados, planos, partidos, negros, ahumados, violetas y ligeramente fermentados. La “buena fermentación” se define por la coloración de los cotiledones, que deben ser marrón o marrón rojizo con estrías de fermentación profunda. Para la variedad CCN51, la coloración puede variar a marrón-violeta. Adicionalmente, la norma cubre aspectos como el muestreo, el envasado y el etiquetado del cacao.

2.5.3 Desafíos en Ecuador relacionados con la calidad y el cumplimiento de las normativas

A pesar de que Ecuador es un actor global crucial en la producción de cacao, especialmente reconocido por su cacao fino de aroma, del cual exporta el 63% a nivel mundial ¹⁹, el país enfrenta desafíos significativos en cuanto a la calidad y el cumplimiento de las normativas.

Un problema recurrente es la falta de organización entre los productores y la proliferación de intermediarios en la cadena de comercialización. Esta situación a menudo lleva a la venta de “cacao en baba” (cacao sin fermentar) y a prácticas de fermentación inadecuadas, ya que no hay una verdadera responsabilidad por la calidad a lo largo de la cadena. Los criterios de calidad, que son fundamentales en mercados exigentes, a menudo no se consideran en el sistema de comercialización común en Ecuador. Por ejemplo, la medición del contenido de humedad a veces se basa únicamente en la “experiencia de la mano” del productor o comerciante, en lugar de métodos estandarizados.

Esta situación ha llevado a que Ecuador pierda competitividad en los nichos de mercado de cacao fino de aroma, principalmente debido al mal manejo de los procesos

de producción y postcosecha. Como consecuencia, los exportadores a menudo envían productos que no cumplen con los estándares de calidad internacionales, lo que resulta en penalizaciones de precios y restricciones en los cupos de venta para el país. Históricamente, una de las dificultades para las exportaciones de “Cacao Arriba” de Ecuador ha sido la ausencia de un método práctico y confiable dentro del país para verificar su sabor distintivo, lo que obligaba a depender únicamente de la palabra del productor o comerciante. De hecho, la prueba de corte actual, utilizada para clasificar el cacao (ASSS/ASS/ASE/CCN51), no siempre se correlaciona con el “sabor arriba”, y estudios han revelado que muchas muestras que no cumplían con la norma ASSS sí poseían este sabor deseado. Esto indica una limitación fundamental en los métodos actuales de evaluación de la calidad para el cacao fino de aroma, lo que podría penalizar granos de calidad genuina que no encajan en los criterios visuales.

Además, la adaptación a las nuevas regulaciones representa un desafío particular para los productores de mayor edad, muchos de los cuales tienen más de 65 años y enfrentan dificultades con el uso de herramientas digitales, el acceso a información georreferenciada y la documentación requerida.

A pesar de estos desafíos, existen iniciativas en curso para mejorar la situación. Proyectos como el “Proyecto Cacao Libre de Deforestación”, parte del programa AL-INVEST Verde, buscan fortalecer la trazabilidad, la capacitación y el cumplimiento de los estándares del mercado, incluyendo la producción de cacao libre de deforestación. Estos esfuerzos son cruciales para que Ecuador mantenga y mejore su posición en el mercado global de cacao de alta calidad.

La existencia de normas nacionales detalladas como la INEN 176:2018 para la calidad del cacao, incluyendo categorías específicas para el cacao fino de aroma 22, contrasta fuertemente con los problemas graves y sistémicos de control de calidad, las malas prácticas de fermentación y la falta de cumplimiento en la cadena de suministro real. Esta disparidad indica una brecha significativa entre la intención regulatoria y la implementación práctica. La presencia de estándares de calidad no garantiza su aplicación en el campo, lo que socava la posición de Ecuador como líder en “fino de aroma”. Esto sugiere que el “corazón de la calidad” –la fermentación– a menudo se descuida en la práctica a pesar de la existencia de marcos regulatorios.

La fermentación del cacao es, sin lugar a dudas, el proceso central que define la calidad organoléptica del chocolate. Desde la transformación de la pulpa mucilaginoso por la acción de levaduras, bacterias lácticas y acéticas, hasta la intrincada cascada de cambios bioquímicos dentro del grano, cada etapa es fundamental para el desarrollo de los precursores de sabor y aroma. La interdependencia de estas fases, donde los

subproductos de un grupo microbiano crean las condiciones para el siguiente, es un testimonio de la complejidad y precisión de este proceso biológico. La muerte del embrión del grano, aparentemente destructiva, es un catalizador esencial que activa las enzimas internas, liberando el potencial de sabor.

Si bien las técnicas tradicionales de fermentación pueden ofrecer perfiles únicos vinculados al terroir, su falta de control intrínseco a menudo conduce a una inconsistencia en la calidad y a la aparición de defectos. Esta variabilidad representa un desafío significativo para la industria, especialmente en países como Ecuador, donde, a pesar de contar con normativas de calidad como la INEN 176:2018, la implementación práctica a menudo se ve obstaculizada por la falta de organización y un manejo postcosecha deficiente. La incapacidad de la prueba de corte para correlacionar siempre con el “sabor arriba” subraya las limitaciones de los métodos de evaluación actuales para el cacao fino de aroma.

En este contexto, la fermentación dirigida con cultivos iniciadores emerge como una solución prometedora. Esta técnica permite un control preciso sobre el proceso, acelerando la fermentación, estandarizando los perfiles de sabor y mitigando el riesgo de contaminación. Es particularmente relevante para variedades como el CCN51, que, a pesar de su alta productividad, presenta desafíos en la fermentación tradicional. La aplicación de la ciencia para optimizar la fermentación puede cerrar la brecha entre las prácticas agrícolas y los estándares de calidad deseados, mejorando la competitividad y los ingresos de los productores.

Las “nuevas fronteras en la fermentación del cacao con mango y levadura” representan una oportunidad para explorar cómo la manipulación controlada de la microbiota y la adición de sustratos específicos pueden no solo mejorar la calidad y consistencia del cacao, sino también diversificar y enriquecer su perfil aromático. Al integrar la ciencia y la tradición, es posible desarrollar métodos que honren el “sabor del lugar” al tiempo que se cumplen las exigencias de un mercado global cada vez más sofisticado. La investigación continua en este campo es vital para desbloquear el potencial completo del cacao y asegurar un futuro sostenible para su producción.



CAPÍTULO 3

INNOVACIÓN CON SABOR: MANGO Y LEVADURA EN LA FERMENTACIÓN



3.1 INTRODUCCIÓN AL USO DE ADITIVOS NATURALES EN LA FERMENTACIÓN

Los aditivos naturales son componentes derivados de fuentes biológicas que se incorporan a los alimentos con el objetivo de mejorar sus propiedades organolépticas, prolongar su vida útil o enriquecer su perfil nutricional. Su función primordial es la conservación, al prevenir la proliferación de microorganismos indeseables y la degradación del alimento, garantizando así su frescura y seguridad alimentaria.

En la industria alimentaria, la aplicación de aditivos naturales es diversa. Por ejemplo, el extracto de romero es valorado por su alto contenido de antioxidantes, que previenen la rancidez de grasas y aceites, además de aportar notas herbales. El ácido cítrico, presente en frutas cítricas, se utiliza para regular la acidez y prevenir el crecimiento bacteriano, mejorando también la textura en productos como mermeladas. El vinagre, o ácido acético, es eficaz en la reducción del pH de los alimentos, inhibiendo el crecimiento de bacterias y mohos, lo que lo hace ideal para productos fermentados. Para la mejora del color, se emplean aditivos como el betacaroteno, que proporciona tonos amarillo-naranja, y la cúrcuma, conocida por su intenso color amarillo y propiedades antioxidantes. En cuanto a la potenciación del sabor, el extracto de vainilla es muy apreciado en la repostería por su aroma dulce, mientras que el glutamato natural, presente en la levadura nutricional, realza el sabor umami en sopas y aperitivos, siendo clave en productos bajos en sodio.

La creciente valoración de la naturalidad y la transparencia por parte de los consumidores representa un cambio fundamental en el mercado. Esta tendencia no es una moda superficial, sino que refleja un deseo más profundo de productos percibidos como inherentemente más saludables y sabrosos. La integración de componentes naturales, como el mango y la levadura, en la fermentación del cacao, se alinea con esta poderosa corriente del mercado. Esta estrategia puede elevar la aceptación del producto, permitir precios superiores y fomentar una mayor confianza en la marca, transformando un producto básico en un artículo de especialidad que destaca por su calidad intrínseca y sus orígenes naturales.

3.1.1 El Papel de los Aditivos Naturales en la Modulación del Perfil Sensorial de Alimentos Fermentados

La fermentación es un proceso tecnológico que, por su naturaleza, mejora intrínsecamente el perfil nutricional, funcional y sensorial de los alimentos. Los aditivos naturales tienen la capacidad de actuar como moduladores de este perfil. Por ejemplo, los compuestos fenólicos presentes en los extractos de mango y cacao han demostrado estimular el crecimiento de bacterias probióticas clave, incluyendo

diversas especies de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*. Esta interacción sugiere que el mango no solo añade su sabor inherente, sino que también influye activamente en la población microbiana.

La co-fermentación, que implica la introducción de pulpa de frutas tropicales en el proceso de fermentación del cacao, puede dirigir la producción de nuevos perfiles de sabor y aroma. Esto se traduce en notas afrutadas más pronunciadas y una acidez distintiva en el cacao final. La estimulación del crecimiento de bacterias beneficiosas por parte de los polifenoles del mango indica que el mango actúa como un sustrato prebiótico dentro del entorno de fermentación del cacao. Esto va más allá de una simple adición de sabor; sugiere una biomodulación activa donde los componentes del mango fomentan estratégicamente el crecimiento y la actividad metabólica de cepas microbianas específicas, como ciertas bacterias lácticas. Estos microorganismos dirigidos pueden realizar nuevas transformaciones enzimáticas, como el metabolismo de polifenoles que conduce a la “actividad tanasa”, o sintetizar compuestos volátiles únicos a partir de los sustratos combinados de cacao y fruta. El resultado son perfiles de sabor que no son una mera mezcla, sino una sinergia compleja e integrada, y que potencialmente mejoran las propiedades funcionales, como la capacidad antioxidante o el contenido probiótico, del producto final.

3.2 PROPIEDADES DEL MANGO MANILA (MANGIFERA INDICA L.)

En la producción de mango el Ecuador es uno de los productos que se considera a nivel mundial como uno de los principales, su mayor producción del mango se encuentra localizando en la provincia del Guayas. El mango cuenta con propiedades altamente antioxidantes en la piel o en sus cascara, la piel del mango cuenta con un potencial antioxidante que podría deberse a las acciones sinérgicas de los bioactivos como los polifenoles, carotenoides, fitoquímicos, enzimas, vitamina C y vitamina E, que cuenta la fruta del mango en su contenido y es muy favorable incluso para los subproductos que se puede obtener de dicha fruta.

La fruta del mango se la considera destacado por sus atributos, en los territorios del país Mexicano cuenta con diferentes producciones de este tipo de fruta, aunque actualmente en la producción del mango enfrente problemas agroecológicos, por el cultivo del mango está siendo desplazado por la caña de azúcar, la malanga y también otros frutales, por otros problema que también involucran a los cambios climáticos, los factores climáticos son lo que contribuyen en el desarrollo del mango, tanto en su proliferación, en el estado de Veracruz en México, esta región se lo considera adecuada para la producción del mango debido a su clima que se produce con ambiente con humedad relativa para producción y temperaturas adecuadas.

El mango manila como es conocido en su composición o en su estructura es una fuente de pectina, taninos y de ácidos orgánicos, también contiene los antioxidantes, que son la vitaminas como la vitamina C, E, carotenoides y fenoles, también contiene los compuestos bioactivos como la vitamina A y los minerales como el hierro, potasio, calcio, magnesio, entre otros más que son de gran aporte para el cuerpo humano, este tipo de fruta contiene también algo fundamental que es muy comercializado que es mangiferina, el mango manila a diferencia de otro tipo de mango se diferencia por su sabor dulce y también por su alto contenido de azúcar, por lo que se da a causa de su acidez que es muy baja, ya que el mango manila es suave, jugosa y cuenta con pocas fibras en la fruta.

3.3 Beneficios de *S. cerevisiae* en alimentos

La importancia del uso de la levadura es un proceso esencial para cualquier proceso que conlleve a la fermentación, como por ejemplo se lo utiliza la levadura comúnmente en la realización de bebidas, la utilización de la levadura mejora en general las propiedades organolépticas del alimento fermentado, única dependiendo de las características del tipo de levadura seleccionada.

S. cerevisiae o levadura de pan, es considerado como uno de los microorganismos que tiene muchos beneficios, dentro de la industria alimentaria y en el área de la salud, la levadura gracias a su contenido nutritivo que cuenta ayuda aumentar la energía de una persona que los consume, ayuda a la sostenibilidad del sistema inmunitario que son de beneficios para la salud, cuenta con una función depuradora que ayuda a la piel y el hígado, es un ayudante en curar o evitar en cierta parte el acné y el dermatitis.

3.4 SINERGIAS ENTRE FRUTAS TROPICALES Y MICROORGANISMOS EN LA FERMENTACIÓN DEL CACAO

La co-fermentación con frutas tropicales representa una innovación en el proceso postcosecha tradicional del cacao, integrando la pulpa de frutas tropicales durante la fermentación del grano. El objetivo principal de esta técnica es desarrollar perfiles sensoriales específicos en el cacao, aprovechando la simbiosis natural entre el cacao y las frutas que crecen en las mismas regiones ecuatoriales.⁷

3.4.1 Mango como Fuente de Polifenoles y su Interacción con la Microbiota del Cacao

El mango, particularmente sus extractos de polifenoles, ha demostrado tener un efecto estimulante sobre el crecimiento de un grupo de bacterias probióticas,

incluyendo *Lactobacillus casei*, *L. rhamnosus*, *L. acidophilus*, *L. plantarum* y *Bifidobacterium bifidum*. Estas bacterias probióticas también exhibieron “actividad tanasa” cuando se incubaron con extracto de mango, lo que resultó en la producción de ácido gálico libre. Además, los polifenoles de mango y cacao han modulado la microbiota intestinal humana, promoviendo el crecimiento de ciertas bacterias beneficiosas y reduciendo otras.

La capacidad del mango para estimular el crecimiento de bacterias probióticas implica que actúa como un sustrato prebiótico dentro del entorno de fermentación del cacao. Esta interacción influye en la ecología microbiana y las vías metabólicas, lo que puede tener un impacto directo en el perfil de sabor y aroma del cacao fermentado. Aunque la pulpa de mango puede separarse del cacao sin afectar negativamente el sabor del grano, su inclusión en la fermentación o su reutilización en otros productos derivados del cacao, como bebidas o mermeladas, añade valor y mejora la sostenibilidad.

3.4.2 Impacto en el Perfil de Sabor y Aroma del Cacao

La co-fermentación con pulpa de frutas tropicales produce un perfil sensorial distintivo en los granos de cacao, caracterizado por “notas afrutadas intensas, equilibradas con acidez y un toque característico”. Estudios han demostrado que la fermentación de la pulpa de cacao con hongos como

Laetiporus persicinus puede generar una bebida con notas tropicales a coco, mango, maracuyá y durazno.

Los compuestos aromáticos clave que contribuyen a este perfil tropical incluyen:

(R)-Linalool: Con notas florales y afrutadas, y un alto valor de actividad odorante (OAV).

Benzoato de metilo: Con notas verdes y dulces, que pueden contribuir a la impresión a mango.

2-feniletanol: Con notas a rosa y dulces.

5-butil-2(5H)-furanona: Con fuertes notas a coco y durazno.

(E)-nerolidol: Con notas florales y amaderadas.

Los microorganismos presentes en la fermentación consumen y/o producen compuestos volátiles que modifican el perfil sensorial general. El tipo de cepas de bacterias lácticas utilizadas puede determinar el perfil volátil y sensorial en jugos de mango fermentados. Esta capacidad de ingeniería del sabor a través de la co-fermentación permite la creación de productos únicos y diferenciados.

3.4.3 Potencial para Nuevos Productos y Valor Añadido

La reutilización de la pulpa de cacao, un subproducto de la producción del grano, para la elaboración de bebidas, mermeladas o preparaciones de frutas, representa una estrategia importante para mejorar la sostenibilidad de la producción de cacao y añadir valor para los agricultores. La fermentación de la pulpa de cacao con microorganismos específicos puede dar lugar a la creación de nuevas bebidas no alcohólicas con excepcionales aromas tropicales-afrutados, lo que aumenta significativamente su aceptación. Este enfoque no solo optimiza el uso de los recursos, sino que también abre nuevas vías para la diversificación de productos y la generación de ingresos en el sector cacaotero.

3.5 INNOVACIÓN BIOTECNOLÓGICA EN PAÍSES CACAOTEROS

La biotecnología está revolucionando la producción y procesamiento del cacao, ofreciendo herramientas para superar desafíos y mejorar la calidad del producto final.

3.5.1 Avances en Fermentación Dirigida y Cultivos Iniciadores

La fermentación dirigida, que implica la inoculación de la masa de cacao con cepas microbianas específicas (cultivos iniciadores), ofrece un control, estandarización y aceleración significativos del proceso. Esta técnica permite obtener un sabor consistente y reproducible en el chocolate, independientemente de la región productora o el método de fermentación. Los beneficios incluyen una reducción de la amargura, la mejora de las notas afrutadas y florales, y la prevención del crecimiento de hongos indeseables.

El uso de cultivos iniciadores de cepas mixtas, que combinan levaduras, bacterias lácticas y bacterias acéticas, ha demostrado mejorar la eficiencia de la fermentación y la complejidad del sabor. Además, la fermentación inoculada tiene el potencial de reducir el período de fermentación a entre tres y cinco días, en comparación con los cinco a siete días de la fermentación natural. Estos avances biotecnológicos no solo permiten la “ingeniería del sabor”, sino que también garantizan una “estandarización” crucial para la industria.

3.5.2 Ingeniería de Sabor y Modificación Enzimática

La biotecnología mejora los perfiles de sabor del cacao mediante técnicas avanzadas para analizar y optimizar los compuestos aromáticos. La tecnología enzimática, por ejemplo, descompone los compuestos complejos del cacao, lo que da lugar a perfiles de sabor más matizados. La ingeniería genética también se está explorando para desarrollar nuevas variedades de cacao con rasgos deseables, como resistencia a enfermedades y un sabor mejorado.

Enzimas específicas como polifenol oxidasa, la proteasa y la carboxipeptidasa desempeñan un papel crucial en la producción de compuestos precursores del sabor y en la reducción de la amargura y la astringencia durante la fermentación. Además, la agricultura de precisión, que utiliza sensores avanzados y drones para monitorear y controlar factores como la temperatura, la humedad y las condiciones del suelo, está optimizando la producción de cacao.

3.5.3 Desafíos y Oportunidades en Países Cacaoteros (Enfoque en Ecuador)

Ecuador, reconocido como la cuna del cacao y principal exportador de cacao fino de aroma, enfrenta desafíos significativos en su sector cacaotero, pero también cuenta con vastas oportunidades gracias a la innovación biotecnológica.

Históricamente, el sector cacaotero ecuatoriano ha lidiado con el “mal manejo de procesos de producción y postcosecha”, la falta de organización entre productores y la intervención de intermediarios. Estas deficiencias han resultado en un deterioro de la calidad del cacao y, consecuentemente, en penalizaciones de precios y cuotas de venta en los mercados internacionales. La mezcla indiscriminada de variedades como el cacao Nacional y el CCN51, siendo este último *más difícil* de fermentar adecuadamente, ha contribuido a la inconsistencia de la calidad.

Un desafío demográfico importante es la edad avanzada de muchos productores (más de 65 años), quienes enfrentan dificultades para adaptarse a las nuevas regulaciones que exigen el uso de herramientas digitales, acceso a información georreferenciada y documentación. Además, la presencia de cadmio en las almendras de cacao representa una amenaza para la salud humana y las exportaciones, especialmente con los límites máximos impuestos por la Unión Europea (0,8 mg/kg desde 2019). La baja adopción de tecnologías avanzadas, como los cultivos iniciadores, se ve obstaculizada por factores socioeconómicos, incluyendo la falta de acceso a crédito, mano de obra, insumos y capacitación adecuada.

3.5.4 Oportunidades Biotecnológicas

A pesar de estos desafíos, la biotecnología ofrece soluciones prometedoras para el cacao ecuatoriano:

Mejora de la Calidad y Competitividad: La biotecnología permite producir granos de alta calidad con perfiles de sabor consistentes, lo cual es crucial para el cacao fino de aroma de Ecuador. Esto se logra mediante la fermentación dirigida, que asegura la uniformidad y el cumplimiento de los estándares de calidad exigidos por los mercados gourmet.

Reducción de Cadmio: Un innovador bioproceso, desarrollado por un equipo multidisciplinario, utiliza un consorcio de hongos nativos para reducir la solubilidad del cadmio en la rizosfera de las plantas de cacao. Este avance, actualmente en fase de pruebas de campo en Ecuador, tiene el potencial de disminuir la acumulación de cadmio en los granos, cumpliendo con las normativas internacionales y protegiendo la salud del consumidor (Vásquez et al., 2024).

Sostenibilidad y Valor Añadido: Proyectos como AL-INVEST Verde, financiados por la Unión Europea, promueven activamente prácticas sostenibles en el sector cacaotero ecuatoriano, incluyendo el policultivo para optimizar la productividad y la gestión sostenible de recursos, así como la reutilización de residuos en microempresas industriales para generar nuevos productos. La biotecnología puede apoyar estas iniciativas, por ejemplo, mediante el uso de subproductos del cacao y de frutas tropicales (como la pulpa de mango) para crear nuevos productos de valor añadido, como bebidas.

Capacitación y Digitalización: Programas de capacitación buscan mejorar la productividad y promover la digitalización entre los productores, fortaleciendo su capacidad para cumplir con los estándares del mercado y aumentar el volumen de negocio con cacao libre de deforestación.

Acceso a Mercados *Premium*: El control de calidad y la diferenciación de sabor, facilitados por la biotecnología, permiten a Ecuador mantener su posición como el principal exportador de cacao fino de aroma y acceder a mercados más exigentes, como la Unión Europea, Malasia y Estados Unidos, que son sus principales destinos de exportación. En 2024, las exportaciones de cacao y sus derivados de Ecuador alcanzaron un récord de 3.618 millones de dólares, un crecimiento del 174% en valor, impulsado por la alta demanda internacional y el alza histórica de los precios.



CAPÍTULO 4

EL EXPERIMENTO: FERMENTACIÓN CONTROLADA CON CCN51



El experimento se realizó en la Granja Experimental “San Pablo”, ubicada en el km 7 ½ de la vía Babahoyo – Montalvo, la cual pertenece a la Carrera de Agroindustria de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, en la Universidad Técnica de Babahoyo de; Provincia de Los Ríos, Babahoyo, Ecuador, cuyas coordenadas son LAT: - 1. 797 411 y Long: - 79. 482 843 y una humedad relativa del 82 %.

4.1 DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS

En la investigación se utilizó un diseño experimental completo al azar (DCA) trifactorial, con un modelo de 12 tratamiento con 2 réplicas un total de 24 objetos de estudio; como primer factor, con la mazorca de cacao en estado fisiológico sazona y madura, como segundo factor se realizó la adición de levadura a concentración (0 %, 0,5 % y 1 %) por cada 2 000 ml gr-1 de cacao fresco.

Tabla 10. Tabla de factores de estudio

FACTOR A	FACTOR B	FACTOR C
Estado de madurez	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Extracto de fruta mango
Sazona	0%	0%
Madura	0,5%	
	1,0%	3%

Se realizó un análisis de Anova para la causa de la variabilidad de los datos establecidos, de la fuente de variación de los factores y la interacción entre ellos, la interacción de los datos experimentales y de la estadística se realizó aplicando el sistema que se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Fuente Anova

FUENTE DE UBICACIÓN (FV)		GRADO DE LIBERTAD
Tratamiento	T – 1	11
Factor total madurez	(em – 1)	1
Factor levadura	(Le – 1)	2
Factor extracto	(Ex – 1)	1
In.em*Lev	(em – 1)(Le – 1)	2
In.em*Extra	(em – 1)(Ex – 1)	1
In.Lev*Extra	(Le – 1)(Ex – 1)	2
Int.em*em**Lev	(em – 1)(Le – 1)(Ex – 1)	2

Cacao experimental total	$(em * Le * Ex)(r - 1)$	12
Total	$em * Le * Ex * r - 1$	23

Arreglo de tratamientos

Tabla 12. Tabla de tratamiento

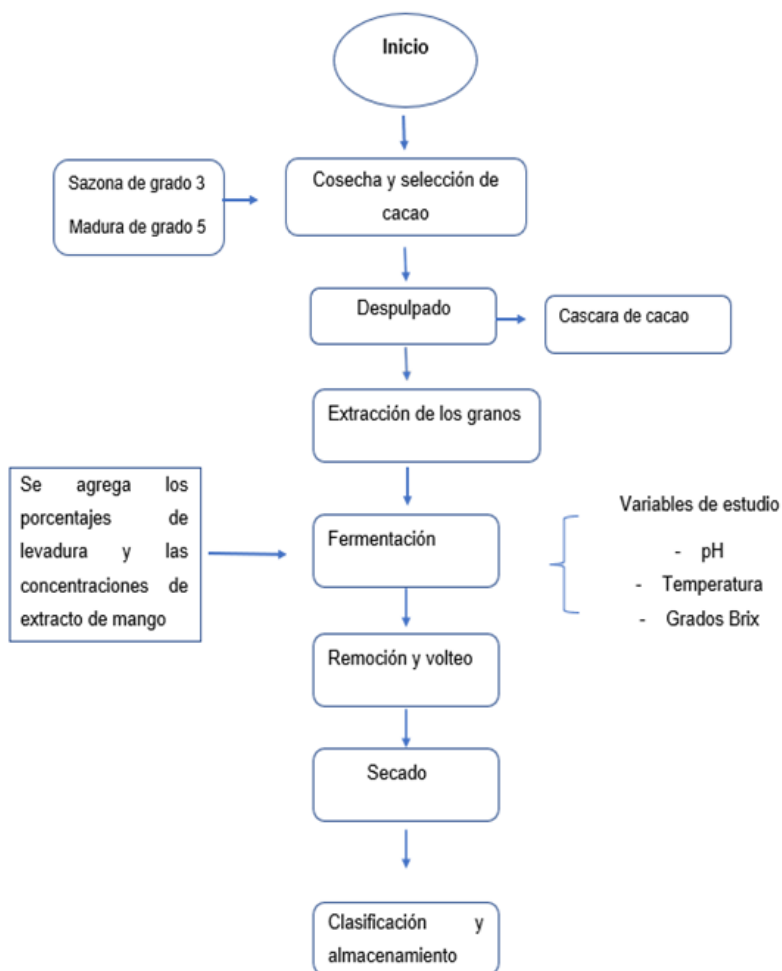
N	TRATAMIENTOS Y REPETICIONES	DESCRIPCIÓN
1	T1 R1	Estado de madurez sazona Lev 0 % sin mango
2	T2 R2	Estado de madurez sazona Lev 0 % con mango 3%
3	T3 R3	Estado de madurez sazona Lev 0,5 % sin mango
4	T4 R4	Estado de madurez sazona Lev 0,5 % con mango 3%
5	T5 R5	Estado de madurez sazona Lev 1,0 % sin mango
6	T6 R6	Estado de madurez sazona Lev 1,0 % con mango 3%
7	T7 R7	Estado de madurez madura Lev 0 % sin mango
8	T8 R8	Estado de madurez madura Lev 0 % con mango 3%
9	T9 R9	Estado de madurez madura Lev 0,5 % sin mango
10	T10 R10	Estado de madurez madura Lev 0,5 % con mango 3%
11	T11 R11	Estado de madurez madura Lev 1,0 % sin mango
12	T12 R12	Estado de madurez madura Lev 1,0 % con mango 3%
Formulación de levadura $2\,000\text{ gr} * 0,5\% / 100 = 10\text{ gr}$ $2\,000\text{ gr} * 1\% / 100 = 20\text{ gr}$ Formulación de extracto de fruta $2\,000\text{ gr} * 3\% / 100 = 60\text{ gr}$		

Tabla 13. Tabla de testigo para prueba de capacidad antioxidante

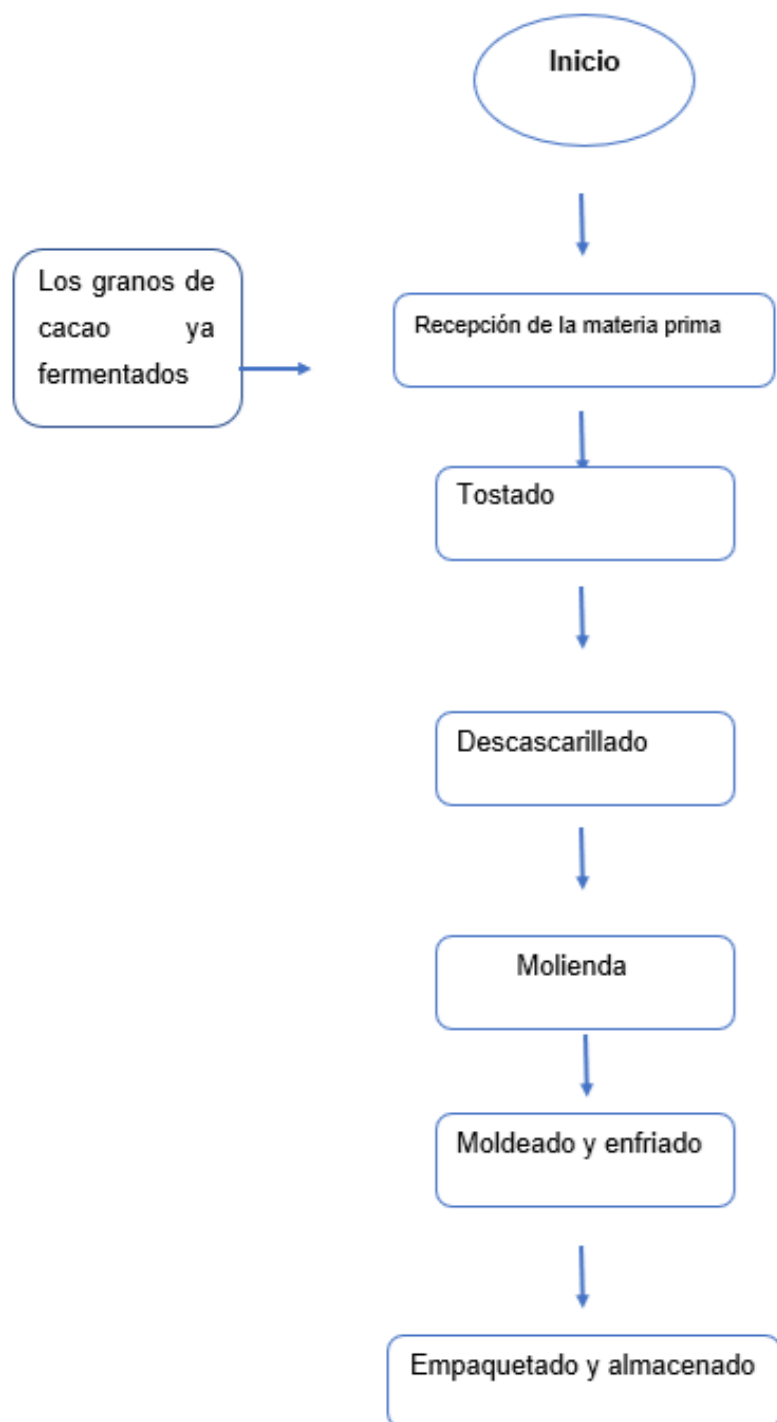
TESTIGO	TRATAMIENTO	COMPOSICIÓN
1	T1	Estado de madurez sazona Lev 0 % sin mango
2	T7	Estado de madurez madura Lev 0 % sin mango
3	T6	Estado de madurez sazona Lev 1,0 % con mango 3%
4	T12	Estado de madurez madura Lev 1,0 % con mango 3%

4.2 PROCEDIMIENTOS

4.2.1 Procedimiento de fermentación de cacao diagrama de flujo



4.2.2 Procedimiento de elaboración de chocolate diagrama de flujo



4.2.3 Descripción de fermentación de cacao

Para la fermentación de cacao primero se realizó el procedimiento de la cosecha donde se hizo la fase de selección de cacao, donde se contó con dos grados de madurez, donde se tuvo la sazona de grado 3 °C y con la madura de grado 5 °C. Luego se pasó a la etapa de despulpado donde a las mazorcas de cacao con ayuda de un machete se le realizó un corte transversal a cada una de las mazorcas recolectadas, durante el paso de la cosecha, en el paso de despulpado se extrajeron los granos de cacao, para luego ser pesados y colocados de manera correcta para cada de uno de los tratamientos.

Cada tratamiento de los granos de cacao tuvo un peso de 2.000 g, luego se pasó a la fase de fermentación donde los grupos separados de cada grano de cacao, fueron colocados en sacos de yute, se necesitaron 24 sacos de yute para los tratamiento y repeticiones. De esta manera se inició la fase de fermentación que es realizada durante 5 días. Durante este período se evaluaron las variables de temperatura, grados °Brix y pH, tomando en cuenta que durante esos días de fermentación el cacao debe subir de temperatura, pero no debe de pasar de los 50 °C.

La etapa de fermentación el cacao pasa a la etapa de secado donde la se realizó mediante la exposición directa de sol. Al exponer el cacao al sol de manera directa durante 7 días de secado, se elimina la humedad de cacao, pasada la etapa de secado, el cacao es almacenado en bolsas de papel para mantener la calidad.

4.2.4 Dosificación utilizada en cada una de los diferentes tratamientos

Tabla 14. Dosificación para el tratamiento T1 R1 Y T7 R7

MATERIAS PRIMAS	%	GRAMOS
Cacao CCN 51 sazona de grado 3 y madura de grado 5	100	2000
TOTAL	100	

Tabla 15. Dosificación para el tratamiento T2 R2 Y T8 R8

MATERIAS PRIMAS	%	GRAMOS
Cacao CCN 51 sazona de grado 3 y madura de grado 5	97	2000
Mango	3	60
TOTAL	100	

Tabla 16. Dosificación para el tratamiento T3 R3 Y T9 R9

MATERIAS PRIMAS	%	GRAMOS
Cacao CCN 51 sazona de grado 3 y madura de grado 5	99,5	2000
Mango	0,5	10
TOTAL	100	

Tabla 17. Dosificación para el tratamiento T4 R4 Y T10 R10

MATERIAS PRIMAS	%	GRAMOS
Cacao CCN 51 sazona de grado 3 y madura de grado 5	96	2000
Levadura	0,5	10
Mango	3,5	60
TOTAL	100	

Tabla 18. Dosificación para el tratamiento T5 R5 Y T11 R11

MATERIAS PRIMAS	%	GRAMOS
Cacao CCN 51 sazona de grado 3 y madura de grado 5	99	2000
Levadura	1	20
TOTAL	100	

Tabla 19. Dosificación para el tratamiento T6 R6 Y T12 R12

MATERIAS PRIMAS	%	GRAMOS
Cacao CCN 51 sazona de grado 3 y madura de grado 5	96	2000
Levadura	1	20
Mango	3	60
TOTAL	100	

Tabla 20. Materias primas, materiales y herramientas a utilizar

ETAPAS	MATERIA PRIMA	EQUIPOS	MATERIALES
Cosecha y selección de cacao	Cacao CCN-51 en grado 3 y 5	Machete	Guantes, mascarilla, gorra, abrigo
Despulpado	Cacao CCN-51 en grado 3 y 5	Machete	Guantes, mascarilla
Extracción de los granos	Cacao CCN-51 en grado 3 y 5	Recipientes	Guantes, mascarilla
Fermentación	Cacao CCN-51 en grado 3 y 5, levadura y extracto de mango	Gramera, sacos de yute, termómetro, pHmetro y refractómetro	Guantes, mascarilla y mandil
Remoción y volteo	Cacao CCN-51 en grado 3 y 5, levadura y extracto de mango	N/A	Guantes y mascarilla
Secado	Cacao CCN-51 en grado 3 y 5, levadura y extracto de mango	N/A	Guantes y mascarilla
Clasificación y almacenamiento	Cacao CCN-51 en grado 3 y 5, levadura y extracto de mango	N/A	Guantes, mascarilla y mandil

En la tabla 20 se describe el proceso de la fermentación del cacao (CCN – 51), en el cual se adicionó en diferentes dosis para cada tratamiento, la levadura y extracto de fruta de mango, que se da durante el proceso como comienza de la recepción de materia prima, de la selección de las mazorcas, despulpado, extracción de los granos de cacao, fermentación, remoción y volteo, secado y clasificación y almacenado, que son las diferentes fases que pasa el cacao para fermentarlo, ya que también gracias a los instrumentos se la realizó la fermentación utilizando, sacos de yute, balanza, recipientes, machete y para su control durante la fermentación se mide las variables de temperatura, grados Brix y pH. Durante el proceso se utilizó el equipo de protección adecuado.

4.3. EVALUACIONES FÍSICO-QUÍMICAS Y SENSORIALES REALIZADAS

Tabla 21. Evaluaciones físico-químicas y sensoriales realizadas

DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS
Fisicoquímico	pH Grados Brix Temperatura Acidez titulable (ácido láurico) Ceniza Prueba de corte Capacidad antioxidante	- NOM-F-352-S-1980 -NOM-186-SSA1/SCFI-2013 -NTE INEN-ISO 750:2013 -NOM-F-352-S-1980 -NTE INEN 176:2021 -NTE INEN 176:2021
Organolépticas	Aroma, apariencia, sabor, textura, aceptabilidad	Encuesta realizada por escala hedónica

La tabla 21 muestra la técnica para la evaluación de los aspectos de la fermentación del cacao, de los aspectos como fisicoquímicos de pH, grados, temperatura, acidez titulable, ceniza, prueba de corte y capacidad antioxidante, con los aspectos organolépticos como sería el aroma, apariencia, textura, sabor y aceptabilidad del cacao que se miden mediante la encuesta realizada.

Tabla 22. Instrumentos utilizados en diferentes categorías según los aspectos que se evalúan.

DIMENSIONES	INDICADOR	INSTRUMENTOS
Fisicoquímico	pH Temperatura Grados Brix Ceniza Acidez titulable Capacidad antioxidante	pH metro Termómetro Refractómetro Análisis de ceniza Minititulador métodos químicos y ensayos colorimétricos
Organoléptico	Aroma, apariencia, sabor, textura, aceptabilidad	Hoja de encuesta

En la tabla 22 se muestra la descripción de los diferentes instrumentos para el proceso de la fermentación del cacao, según el análisis que muestra en la tabla 21 sobre los análisis fisicoquímico y organoléptico.

Análisis organoléptico

Que se realizó por medio de una evolución que fue dirigida mediante una encuesta a 20 catadores semis entrenados, la evaluación se da una escala hedónica

donde se evaluará los aspectos tanto como el aroma, sabor, textura, apariencia y aceptabilidad, la muestra para el análisis será de un tamaño pequeño de un peso de 5g por cada tratamiento.

Análisis fisicoquímico

Los análisis fisicoquímicos se realizaron mediante los establecido por las normas ecuatorianas correspondientes.

Calidad física de la almendra de cacao y determinación de variables

Índice de mazorca.

La variable se refiere al número de mazorcas requeridas (20 mazorcas) para poder alcanzar 1 kg de cacao seco, la recolección según el arreglo de los tratamientos estados de madurez sazonas y maduras, se determinó por medio de la siguiente formula (Vera et al., 2015):

Ecuación 1. Índice de mazorca.

$$IM = \frac{\text{Numero de mazorcas}}{\text{peso en gramos de las almendras secas}} \times 1000$$

Índice de semilla.

Se procedió a tomar 100 granos de cacao fermentados y secos al azar estos, además deben ser pesados en una balanza analítica para conocer el porcentaje en gramos, esto se realizó antes de la prueba de corte, se utilizó la siguiente formula (Solórzano et al., 2016):

Ecuación 2. Índice de semilla.

$$IS = \frac{\text{Peso(g)}100\text{semillas}}{100}$$

Porcentaje de testa y cotiledón.

Para su determinación se tomó al azar 30 gramos de almendras de cacao secas y fermentadas, para determinar esta variable se empleó de la siguiente formula (Sánchez et al., 2019).

Ecuación 3. Determinación de testa y cotiledón.

$$\% \text{ de testa} = \frac{(\text{Peso de la testa})}{\text{Peso de 30 gramos de cacao}} \times 100$$

Prueba de corte.

Se seleccionó al azar 100 granos de cacao, se procedió a pesar en una balanza analítica de precisión y realizar un corte transversal para constatar por un examen visual su clasificación ya sea bien fermentadas, mediana fermentada, violeta, pizarras, total de bien fermentadas y medianas fermentadas. Y de esta manera se conoció el efecto que tuvo la fermentación mediante la aplicación del cóctel microbiano, siguiendo los lineamientos de la Norma INEN 176 y 177 (INEN, 2018) (INEN, 1995).

Volumen de almendras en 100 gramos.

Se procedió a la toma aleatoria las muestras respectivas de las habas de cacao las cuales fueron pesadas en una balanza hasta obtener 100 gramos luego se registrará el número de habas que hayan completado los 100 gramos (Vera et al., 2015).

Humedad.

Posteriormente después del secado se procedió a realizar la toma del porcentaje de humedad mismo que oscila entre 7 a 8 % de humedad respectivamente, con ayuda de un Higrómetro portátil (Aqua – Boy 3 de sistema Farenkopf), para la medición se debe conectar el electrodo a la hembrilla y ponerlo en contacto con las almendras de cacao en este caso es el objeto de la medición cuya cantidad es aproximadamente 8 almendras de cacao para obtener la muestra, se debe apretar el pulsador de medición blanco y leer el valor directamente en la escala después de la medición se debe soltar el pulsador blanco del higrómetro y repetir sucesivamente por los tratamientos y repeticiones según la normativa INEN 173 (Tinoco & Ospina, 2010) (INEN, 1989).

Determinación de pH: En las normas de **NOM-F-352-S-1980** que establece el método de la determinación de pH, estudios adicionales indican que el pH del cacao seco puede variar según el tipo y las condiciones de procesamiento, se ha reportado un pH de 4.78 y de 5.48.

Determinación de grados Brix: Los grados Brix dan resultados a la concentración de azúcar en soluciones acuosas, la norma que establece el proceso es **NOM-186-SSA1/SCFI-2013** para la determinación de Brix.

Determinación de temperatura: Para la determinación de Con ayuda de un termómetro digital vamos a tomar la temperatura, se coloca directamente en cada una de los tratamientos y repeticiones. La temperatura tiene que estar en un rango de 45 °C y 50 °C con respeto en las normas INEN que se debe de mantener esa temperatura.

Determinación de ceniza: Se coloca 2 gramos de muestra en un trisole previamente tarado, para luego ser introducido en una mufla para el proceso de calcinado, a una temperatura de 550 °C a una duración de 5 horas (Intriago et al, 2023).

Determinación de acidez titulable: Se muele la muestra del cacao, luego se mezcla con el agua destilada, agregamos la solución de hidróxido de sodio (NaOH) realizando una agitación constante (AOAC, 2019).

Determinación de prueba de corte: Los granos del cacao que son seleccionados, son cortados longitudinalmente, con la utilización de un cuchillo afilado, los granos cortados son observados con las características de su color interno, por lo que los granos defectuosos se separan porque no se ha realizado una buena fermentación (Pérez et al, 2023). Se lo puede comparar con las normas INEN 176:2018, los granos pizarros sin fermentar presenta en su interior gris negruzco o verdoso de aspecto.

Determinación de capacidad antioxidante: Para la determinación de la capacidad antioxidante, se realiza la recolección de los granos del cacao para la muestra, que se realiza con ayuda de un disolvente de agua y se realiza la medición ya sea por el método de DPPH.

4.4 PROCESAMIENTO DE DATOS

Recopilación de datos

Se comienza con la recolección de los datos requerido son para el estudio, que se establecen todos los niveles establecidos como el análisis fisicoquímico y organoléptico, que implica la recopilación detallada de la información obtenida en cada uno de las áreas para asegura un análisis preciso y claro.

Los datos físico y químico que son obtenidos serán analizados para obtener las propiedades y la estabilidad del producto. Para la determinación las pruebas organolépticas se miden los aspectos sensoriales como sería el sabor, aroma, color, textura, apariencia y aceptabilidad ayudándonos con la información para saber de la calidad y aceptabilidad del producto.

Definición de grupos

Se da por medio de la prueba Tukey que se identifica los tratamientos para la respectiva comparación, en este análisis, cada uno de los tratamientos será considerado distinto del resto para hacer la comparación y evolución del efecto.

Aplicación del método de Tukey

Dado el análisis de la varianza se indica diferentes significados entre las medias que se lo procede a la realización de las comparaciones múltiples utilizando el método de Tukey, el método de Tukey ajusta los intervalos de confianza para la evaluación de los demás en las combinadas de medias de los grupos, asegurando una comparación confiable y precisa.

Interpretación de resultados

El método Tukey en la actualidad está establecida para la orientación de datos y dar con los diferentes significados en la muestra, este tipo de método facilitara las comparaciones múltiples que se realizan y respaldando las conclusiones con las evidencias estadísticas, también el análisis estadístico permite identificar que muestras son diferentes de una manera significativa.

Aspectos éticos

Esta investigación da a entender que los resultados son precisos y claros, también se mantendrán la integridad en el momento preciso de recolección de datos y también durante el análisis de la información, de manera similar con el compromiso de la práctica de ética y solidad de cada una de la fase de la investigación, de la toma de las medidas estrictas para la confiabilidad y también de la gestión de la información adecuada para garantizar la transparencia del trabajo.



CAPÍTULO 5

**RESULTADOS ¿QUÉ NOS DICE LA
CIENCIA? ¿QUÉ APORTAMOS?**



En este capítulo se presentan los resultados de la evaluación de la fermentación de cacao, que incluye los parámetros fisicoquímicos como el pH, temperatura, grados Brix, ceniza, acidez titulable, prueba de corte y capacidad antioxidante (a los 4 testigos). También se ha realizado los análisis organolépticos para la evaluación del aroma, sabor, apariencia, textura y aceptabilidad del chocolate elaborado.

5.1 EVALUACIÓN DEL PH DURANTE LA FERMENTACIÓN DEL CACAO

La variable pH como se muestra en la tabla 23, mostró un incremento progresivo durante los cinco días de fermentación, con diferencias influenciadas por la interacción de los factores madurez, concentración de *S. cerevisiae* y adición de extracto de mango. En el día 1 los valores oscilaron entre 3,00 y 4,00, mientras que al día 5 se registraron niveles entre 4,00 y 5,00.

El análisis de varianza evidenció que el extracto de mango al 3 % generó efecto significativo en el día 4 ($p = 0,0111$) del, lo cual se reflejó en un aumento consistente del pH en los tratamientos que incluyeron este factor. Por su parte, los factores de madurez y elevación no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) a lo largo del periodo fermentativo. No obstante, se identificó una tendencia ascendente más marcada en los tratamientos con cacao maduro y levadura al 1%.

El tratamiento que combinó cacao maduro, 1 % de levadura y 3 % de extracto de mango alcanzó el valor de pH más elevado (5,00) al día 5, seguido por los tratamientos con 0,5 % de levadura y sin extracto, que mantuvieron un rango entre 4,50 y 4,80. En contraste, los tratamientos sin levadura ni extracto presentaron valores menores, manteniéndose en un rango de 4,00 a 4,50.

Las interacciones entre factores no mostraron significancia estadística, aunque se evidencia un comportamiento fisiológicamente diferencial a favor de los tratamientos con biocomponentes añadidos. Los coeficientes de variación se mantuvieron dentro de los límites aceptables (CV: 8,59 – 14,63), y el error estándar de la media fue consistente ($\pm 0,25$ a $\pm 0,35$).

Tabla 23. Efecto de la interacción de estado de madurez, en base a la inducción de levadura (0 %, 0,5 % y 1 %), y la aplicación de extractos de mango, sobre las variables pH en el periodo fermentativo.

FACTOR			VARIABLE										
Cacao Madurez	%Leva dura	% Extracto	pH1		pH2		pH3		pH4		pH5		
Sazona	0	0	4,00		4,00		4,00		5,00		5,00		
		3	3,00		3,50		3,50		4,50		4,50		
	0.5	0	3,50		3,50		4,00		4,00		5,00		
		3	3,00		3,50		4,00		5,00		5,00		
	1	0	3,50		3,50		3,50		3,50		4,50		
		3	3,00		3,00		4,00		5,00		5,00		
Madura	0	0	3,00		3,00		4,00		4,00		4,50		
		3	3,00		3,50		4,00		4,50		4,50		
	0.5	0	3,00		3,00		3,50		4,00		4,00		
		3	4,00		4,00		4,00		5,00		5,00		
	1	0	3,50		3,50		4,00		5,00		5,00		
		3	3,00		3,00		4,00		4,50		5,00		
		CV	10,74		14,63		9,12		9,07		8,59		
		EEM ±	0,250		0,350		0,25		0,29		0,29		
Probabilidad			Cacao Madurez	0,5744	ns	0,4301	ns	0,5744	ns	>0,9999	ns	0,3370	ns
			%Levadura	0,723	ns	0,5314	ns	>0,9999	ns	>0,9999	ns	0,4933	ns
			%Extracto	0,1089	ns	>0,9999	ns	0,5744	ns	0,0111	*	0,3370	ns
			Cacao Madurez*% Levadura	0,1393	ns	0,5314	ns	0,3000	ns	0,0878	ns	0,2153	ns
			Cacao Madurez* Extracto	0,0137	*	0,1284	ns	0,5744	ns	0,3370	ns	0,3370	ns
			%Levadura *% Extracto	0,0878	ns	0,1780	ns	0,3000	ns	0,0878	ns	0,2153	ns
			Cacao Madurez*% Levadura *%Extracto	0,1393	ns	0,5314	ns	0,3000	ns	0,0097	*	0,2153	ns

5.2 EVAUACIÓN DEL °BRIX DURANTE LA FERMENTACIÓN DEL CACAO

Los valores de la tabla 24 de los sólidos solubles (°Brix) presentaron una disminución progresiva a lo largo de los cinco días de fermentación, con rangos iniciales entre 21,00 y 23,00, y valores finales entre 6,00 y 8,00. Este comportamiento fue consistente en todos los tratamientos, reflejando el consumo gradual de azúcares por la microbiota fermentativa.

El análisis estadístico reveló que el factor levadura tuvo efecto significativo en el día 3 (p = 0,0124), mientras que el extracto de mango fue significativo en el día 4 (p = 0,0385). No se observaron diferencias estadísticas relevantes para el factor de madurez ni para las interacciones múltiples (p > 0,05).

Los tratamientos con levadura al 1% mostraron una mayor reducción del °Brix al finalizar el proceso, alcanzando valores de hasta 6,00, lo que indica una fermentación más activa. El tratamiento que combinó cacao maduro con levadura al 1 % y extracto de mango presentó una caída sostenida, con valores de 21,50 °Brix en el día 1 hasta 6. 50 en el día 5. Por otro lado, los tratamientos sin levadura ni extracto mantuvieron valores superiores, finalizando con promedios de 8,00 °Brix.

El coeficiente de variación (CV) se mantuvo entre 4,88 y 8,29, y el error estándar de la media (EEM) fluctuó entre ±0,35 y ±0,56, indicando uniformidad en los datos. La tendencia decreciente observada en todos los tratamientos confirma la progresión del proceso fermentativo.

Tabla 24. Efecto de la interacción de estado de madurez, en base a la inducción de levadura (0 %, 0.5 % y 1 %), y la aplicación de extractos de mango, sobre las variables (°Brix) en el periodo fermentativo.

FACTOR			VARIABLE										
Cacao Madurez	% Levadura	% Extracto	°BRIX1		°BRIX2		°BRIX3		°BRIX4		°BRIX5		
Sazona	0	0	23,00		16,50		13,50		9,50		6,50		
		3	21,50		15,00		12,00		10,00		6,50		
	0.5	0	21,50		17,00		13,00		8,50		6,00		
		3	20,00		16,50		12,50		9,50		6,00		
	1	0	21,00		15,50		11,00		9,50		6,50		
		3	21,50		15,50		12,50		9,50		6,00		
Madura	0	0	21,00		16,00		12,50		9,50		6,00		
		3	20,50		16,50		11,00		8,50		6,50		
	0.5	0	21,00		17,50		14,00		11,00		6,50		
		3	21,50		17,00		13,50		10,00		6,50		
	1	0	21,00		15,50		12,50		10,00		6,50		
		3	21,50		16,00		12,00		9,00		6,00		
		CV	7,80		4,88		8,33		8,29		8,00		
		EEM ±	1,170		0,560		0,74		0,56		0,35		
Probabilidad			Cacao Madurez	0,5744	ns	0,4301	ns	0,5744	ns	>0.9999	ns	0,3370	ns
			%Levadura	0,723	ns	0,5314	ns	>0.9999	ns	>0.9999	ns	0,4933	ns
			%Extracto	0,1089	ns	>0.9999	ns	0,5744	ns	0,0111	*	0,3370	ns
			Cacao Madurez*% Levadura	0,1393	ns	0,5314	ns	0,3000	ns	0,0878	ns	0,2153	ns
			Cacao Madurez* Extracto	0,0137	*	0,1284	ns	0,5744	ns	0,3370	ns	0,3370	ns
			%Levadura *% Extracto	0,0878	ns	0,1780	ns	0,3000	ns	0,0878	ns	0,2153	ns
			Cacao Madurez*% Levadura *%Extracto	0,1393	ns	0,5314	ns	0,3000	ns	0,0097	*	0,2153	ns

5.3 EVALUACIÓN DE TEMPERATURA DURANTE LA FERMENTACIÓN DEL CACAO

La variable temperatura mostraron en la tabla 25, dan un incremento continuo desde el primer día hasta el final del proceso fermentativo, con variaciones determinadas principalmente por el uso de *S. cerevisiae*. En el día 1, las temperaturas iniciales oscilaron entre 23,0 °C y 27,0 °C, mientras que para el día 5 se alcanzaron valores máximos entre 45,0 °C y 47,5 °C.

El análisis estadístico evidenció un efecto significativo del factor levadura sobre el aumento de temperatura en el segundo día de fermentación ($p = 0,0029$), reflejando una mayor actividad metabólica inducida por su aplicación variable en contraste, los factores madurez y extracto de mango no presentaron efectos significativos sobre la variable temperatura ($p > 0,05$) en ninguno de los días evaluados. Tampoco se observaron diferencias estadísticas relevantes en las interacciones dobles ni triples entre los factores.

Los tratamientos que incorporan levadura al 1 % muestran los incrementos más marcados de temperatura durante la fermentación. En particular, la combinación de cacao maduro, 1 % de levadura y 3 % de extracto de mango alcanzó la temperatura más alta registrada al día 5 (47,5 °C). En contraste, los tratamientos testigo sin adición de levadura ni extracto se mantuvieron entre 43,0 °C y 45,0 °C, con una progresión térmica más moderada.

El coeficiente de variación fue bajo en todos los días de evaluación (CV: 1,81 – 7,54), y el error estándar de la media se mantuvo dentro de parámetros aceptables ($\pm 0,50$ a $\pm 1,37$), lo cual indica precisión y consistencia en las mediciones térmicas obtenidas durante el ensayo experimental.

Tabla 25. Efecto de la interacción de estado de madurez, en base a la inducción de levadura (0 %, 0.5 % y 1 %), y la aplicación de extractos de mango, sobre las variables pH en el periodo fermentativo

FACTOR			VARIABLE				
Cacao	%	%	Temp1	Temp2	Temp3	Temp4	Temp5
Madurez	Levadura	Extracto					
Sazona	0	0	25,00	30,00	39,00	43,50	47,00
		3	24,00	30,00	38,50	43,00	46,50
	0,5	0	23,00	31,50	39,00	42,50	46,50
		3	27,00	31,50	39,50	43,00	47,00
	1	0	26,50	31,50	39,50	43,00	47,50
		3	26,50	31,50	38,50	43,50	47,50

Madura	0	0	26,50	30,00	38,50	43,00	47,50
		3	26,50	30,50	39,00	43,00	46,00
	0,5	0	27,50	31,00	39,50	43,00	47,00
		3	24,00	31,50	39,50	43,00	46,50
	1	0	25,00	32,00	39,50	43,00	46,50
		3	26,50	32,00	39,00	43,50	47,00
		CV	7,54	2,46	1,81	1,90	2,09
		EEM ±	1,370	0,54	0,50	0,58	0,69
Probabilidad		Cacao Madurez	0,4156	0,6027	0,5744	>0,9999	0,5433
		%Levadura	0,7154	0,0029	0,2453	0,6555	0,6845
		%Extracto	0,8366	0,6027	0,5744	0,6261	0,5433
		Cacao Madurez*% Levadura	0,3928	0,6186	0,9206	0,8314	0,6845
		Cacao Madurez* Extracto	0,3126	0,6027	0,5744	>0,9999	0,5433
		%Levadura *% Extracto	0,8126	0,9315	0,3694	0,6555	0,4275
		Cacao Madurez*% Levadura *%Extracto	0,0672	0,9315	0,5731	0,8314	0,6845

5.4 EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE LEVADURAS Y EXTRACTO DE MANGO EN LA CALIDAD DEL CACAO FERMENTADO

La evaluación física del grano evidenciado en la tabla 26, mostró diferencias significativas influenciadas por los factores madurez, levadura y extracto de mango. El análisis estadístico indicó efecto significativo del estado de madurez sobre el peso seco ($p = 0,0002$), índice de semilla ($p = 0,0176$) y porcentaje de granos fermentados ($p = 0,0827$). De igual manera, el factor levadura presentó diferencias altamente significativas sobre el peso seco ($p < 0,0001$), mientras que el extracto no evidenció efectos relevantes ($p > 0,05$).

El tratamiento que combinó cacao maduro con 1 % de levadura y 3 % de extracto de mango alcanzó el mayor peso seco (845,50 g) y mayor índice de semilla (1.80). En este tratamiento también se observó el porcentaje más alto de granos fermentados (86,0 %), y la menor presencia de defectos: granos violetas (3,00 %), pizarrosos (0,50%) y mohosos (0,00 %).

En contraste, los tratamientos sin levadura ni extracto mostraron los valores más bajos en calidad física, con granos fermentados entre 36,0 % y 54,0 %, alto porcentaje de violetas (hasta 45,50 %), y mayor frecuencia de granos pizarrosos (1,5 %).

El porcentaje de cotiledón y el porcentaje de testa no mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p > 0,05$). Sin embargo, se observaron variaciones fisiológicas esperadas, siendo el cotiledón mayor en frutos maduros tratados con levadura.

Los coeficientes de variación fueron bajos en las variables clave (CV: 0,63 % –4,57 %), y los errores estándar de la media se mantuvieron controlados, indicando consistencia experimental.

Tabla 26. Efecto de la interacción de los dos estados de madurez (Sazona y Madura), en base a la inducción de levadura (0 %, 0,5 % y 1,0 %), Bajo la aplicación de extractos de mango sobre las variables de la prueba de corte.

FACTOR			VARIABLES																	
Cacao Madu rez	% Leva dura	% Extracto	Peso seco		% Testa	% Cotiledón	Indices de semilla	Fermentados		Granos Violetas		Granos Pizarras		Granos Mohosos		IM				
Sazona	0	0	688,00		14,00	86,00	1,79	53,50		45,50		1,00		0,00		15,95				
		3	667,50		16,50	83,50	1,76	48,50		49,00		1,50		1,00		17,67				
	0,5	0	784,50		9,50	90,50	1,62	80,00		18,50		1,00		0,50		15,50				
		3	826,50		11,83	88,17	1,72	88,00		11,50		0,50		0,00		18,79				
	1	0	806,00		8,67	91,33	1,66	93,50		6,00		0,50		0,00		15,33				
		3	815,50		11,17	88,83	1,74	95,50		3,00		1,00		0,50		17,70				
Madura	0	0	703,00		18,83	81,17	1,75	41,50		56,00		2,50		0,00		16,99				
		3	703,00		17,17	82,83	1,74	54,00		45,00		1,00		0,00		17,51				
	0,5	0	839,00		6,50	93,50	1,74	94,50		5,00		0,50		0,00		17,56				
		3	816,50		8,33	91,67	1,62	96,00		3,50		0,50		0,00		15,47				
	1	0	834,00		10,00	90,00	1,59	96,00		3,50		0,50		0,00		16,63				
		3	845,50		8,83	91,17	1,86	98,00		1,00		1,00		0,00		14,20				
		CV																		
		EEM ±	4,57		0,63	0,63	0,02	1,30		1,35		0,28		0,08		0,19				
Probabilidad	Cacao Madurez		0,0020	*	0,7225	ns	0,7225	ns	0,9772	ns	0,0821	ns	0,1145	ns	0,8383	ns	0,0152	*	0,1387	ns
	% Levadura		<0,0001	**	<0,0001	**	<0,0001	*	0,0944	ns	<0,0001	**	<0,0001	**	0,1964	ns	0,6186	ns	0,0178	*
	% Extracto		0,6157	ns	0,2594	ns	0,2594	ns	0,1346	ns	0,0821	ns	0,0851	ns	0,8383	ns	0,1827	ns	0,0614	ns
	Cacao Madurez* %Levadura		0,9135	ns	0,0539	ns	0,0539	ns	0,6571	ns	0,0234	*	0,0339	*	0,7431	ns	0,6186	ns	0,0998	ns
	Cacao Madurez* Extracto		0,3005	ns	0,1455	ns	0,1455	ns	0,8864	ns	0,3399	ns	0,4724	ns	0,5433	ns	0,1827	ns	<0,0001	**
	%Levadura* %Extracto		0,3632	ns	0,7134	ns	0,7134	ns	0,0247	*	0,8296	ns	0,9483	ns	0,5827	ns	0,0635	ns	0,2650	ns
	Cacao Madurez* %Levadura* %Extracto		0,0472	*	0,6691	ns	0,6691	ns	0,0374	*	0,0535	ns	0,1258	ns	0,4275	ns	0,0635	ns	0,0176	ns

5.5 EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE MICROORGANISMOS EN LAS PRUEBAS QUÍMICAS

Los resultados mostraron diferencias marcadas en la acidez titulable como muestra en la tabla 27, con valores que variaron entre 0,93 % y 0,32 %. El análisis estadístico indicó efecto altamente significativo ($p < 0,0001$) para todos los factores: madurez, levadura y extracto de mango, así como para todas sus interacciones. El valor de acidez más bajo (0,32 %) se observó en el tratamiento con cacao maduro, 1 % de levadura y 3 % de extracto de mango, lo que refleja una reducción sustancial de los ácidos orgánicos al finalizar la fermentación. En contraste, el valor más alto (0,93 %) se registró en frutos sazona sin aplicación de levadura ni extracto.

En cuanto a la alcalinidad de cenizas, los valores oscilaron entre 18,85 % y 22,44 %, siendo este parámetro significativamente influenciado solo por el factor madurez ($p = 0,0312$). El resto de factores e interacciones no mostraron efectos estadísticamente significativos ($p > 0,05$). Los valores más altos se asociaron a tratamientos con cacao maduro, con independencia de la aplicación de levadura o extracto.

El contenido de humedad final del grano no presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$), con valores estrechos entre 4,80 % y 4,86 %, indicando uniformidad en el secado postfermentativo. El coeficiente de variación fue bajo en esta variable (1,26 %) y el error estándar de la media se mantuvo en $\pm 0,04$.

Tabla 27. Efecto de la interacción de los dos estados de madurez (Sazona y Madura), en base a la inducción de levadura (0%, 0,5% y 1,0%), Bajo la aplicación de extractos de mango sobre las variables de la prueba químicas.

FACTOR			VARIABLE					
Cacao	%	%	Acidez		Alcalinidad de		Humedad	
Madurez	Levadura	Extracto			Ceniza%			
Sazona	0	0	0.93		19.19		4.84	
		3	0.32		19.12		4.97	
	0,5	0	0.74		22.09		4.81	
		3	0.29		19.36		4.87	
	1	0	0.49		22.15		4.83	
		3	0.65		19.57		4.81	
Madura	0	0	0.47		18.85		4.83	
		3	0.48		19.11		4.93	
	0,5	0	0.34		22.24		4.85	
		3	0.43		19.58		4.80	
	1	0	0.32		19.77		4.85	
		3	0.38		21.59		4.86	

		CV	3,21		12,09		1,26	
		EEM ±	0,010		1,74		0,04	
Probabilidad		Cacao Madurez	<0.0001	*	0,9563		0,9740	
		%Levadura	<0.0001	*	0,3010		0,1519	
		%Extracto	<0.0001	*	0,3397		0,1601	
		Cacao Madurez* %Levadura	0,0001	*	0,9856		0,6003	
		Cacao Madurez *Extracto	<0.0001	*	0,4389		0,4588	
		%Levadura* %Extracto	<0.0001	*	0,4951		0,1326	
		Cacao Madurez* %Levadura* %Extracto	<0.0001	*	0,6232		0,5615	

5.6 INTERACCIÓN ENTRE LOS ESTADOS DE MADUREZ, LA INDUCCIÓN DE LEVADURA Y LA ADICIÓN DE EXTRACTOS DE MANGO EN EL ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO

Los resultados de la evaluación sensorial mostrados en la tabla 28, evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos en las variables apariencia, color, aroma, textura y sabor, determinadas por el estado de madurez del fruto, la concentración de levadura y la inclusión de extracto de mango.

La variable apariencia presentó diferencias significativas para todos los factores ($p < 0,05$), así como en las interacciones madurez $\times$ levadura y levadura $\times$ extracto. Los puntajes oscilaron entre 3,53 y 4,60, siendo los valores más altos observados en frutos maduros tratados con levadura al 1 % y extracto de mango al 3 %.

En cuanto al color, se encontraron diferencias significativas para los factores madurez ($p = 0,0189$) y extracto ($p = 0,0118$), con puntuaciones que variaron entre 3,27 y 4,53. Los tratamientos que incorporaron extracto de mango tendieron a mantener una tonalidad más estable y valorada positivamente por los jueces.

El aroma fue influenciado significativamente por todos los factores ($p < 0,05$), con valores entre 3,27 y 4,87. El mayor puntaje correspondió al tratamiento con mazorca madura, 1 % de levadura y 3 % de extracto, mientras que los valores más bajos se presentaron en los tratamientos sin levadura ni extracto.

Para la textura, el factor levadura mostró significancia ($p = 0,0043$), al igual

que el extracto ($p = 0,0487$). Las puntuaciones oscilaron entre 3,13 y 4,47, siendo superiores en tratamientos con levadura al 1 %.

Finalmente, la variable sabor presentó efecto significativo del extracto ($p = 0,0002$) y de la interacción madurez $\times$ levadura ($p = 0,0498$). Los valores fluctúan entre 3,20 y 4,53, con puntuaciones destacadas en los tratamientos que integraron extracto de mango y cacao maduro.

Los coeficientes de variación oscilaron entre 19,53 % y 22,33 %, y el error estándar de la media se mantuvo entre $\pm 0,20$ y $\pm 0,22$, dentro de los rangos aceptables para pruebas sensoriales con paneles entrenados.

Tabla 28. Efecto de la interacción de los dos estados de madurez (Sazona y Madura), en base a la inducción de levadura (0 %, 0.5 % y 1.0 %), Bajo la aplicación de extractos de mango sobre las variables sensoriales.

FACTOR			VARIABLE				
Cacao Madurez	%Levadura	%Extracto	Apariencia	Color	Aroma	Textura	Sabor
Sazona	0	0	4,60	4,07	4,87	4,47	4,40
		3	4,27	4,13	4,60	3,53	3,93
	0,5	0	4,00	4,00	4,33	4,13	4,20
		3	3,40	4,13	3,93	3,87	3,33
	1	0	3,67	4,27	4,07	4,27	4,33
		3	4,27	4,27	3,67	3,80	4,53
Madura	0	0	3,67	3,87	4,13	3,47	3,80
		3	3,60	3,73	3,07	3,93	3,40
	0,5	0	4,13	3,53	3,53	4,20	4,47
		3	3,60	4,53	3,67	3,93	3,20
	1	0	2,93	3,27	3,27	4,13	4,40
		3	3,53	4,13	3,73	3,40	4,53
		CV	22,33	21,25	20,67	21,66	19,53
		EEM $\pm$	0,22	0,22	0,21	0,22	0,20
Probabilidad		Cacao Madurez	0,0004	0,0189	<0,0001	0,1906	0,1882
		%Levadura	0,0215	0,8061	0,0049	0,4765	<0,0001
		%Extracto	0,6616	0,0118	0,0352	0,0043	0,0002
		Cacao Madurez* %Levadura	0,0029	0,2306	0,0257	0,4284	0,0498
		Cacao Madurez *Extracto	0,6616	0,0450	0,4071	0,1383	0,5720
		%Levadura* %Extracto	0,0008	0,1299	0,0487	0,4284	0,0002
		Cacao Madurez* %Levadura* %Extracto	0,9049	0,1422	0,0128	0,0174	0,7071

5.7 INTERACCIÓN DEL ESTADO DE MADUREZ DEL GRANO, LA INOCULACIÓN DE LEVADURAS Y LA ADICIÓN DE EXTRACTO DE MANGO SOBRE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL CACAO DURANTE LA FERMENTACIÓN

La capacidad antioxidante del cacao fermentado (Figura 1.), medida en $\mu\text{mol Trolox/g}$, reflejó variaciones relevantes asociadas a la interacción entre el estado de madurez del fruto, la inoculación con *S. cerevisiae*. los tratamientos requieren, y la adición de extracto de mango. Todos los tratamientos mantuvieron niveles notables de actividad antioxidante, con valores que oscilaron entre 355,95 y 581,03 $\mu\text{mol Trolox/g}$, confirmando que el cacao CCN - 51 posee un alto potencial bioactivo incluso tras el proceso fermentativo.

Los tratamientos sin adición de biocomponentes conservaron los niveles más elevados de antioxidantes, destacando el cacao sazona sin levadura ni mango (581,03 $\mu\text{mol Trolox/g}$) y el cacao maduro en iguales condiciones (548,51 $\mu\text{mol Trolox/g}$ adecuada). Sin embargo, la aplicación combinada de tecnologías fermentativas también preserva valores antioxidantes considerables, lo que evidencia una adecuada compatibilidad del uso de levadura y extracto de mango con la integridad funcional del grano.

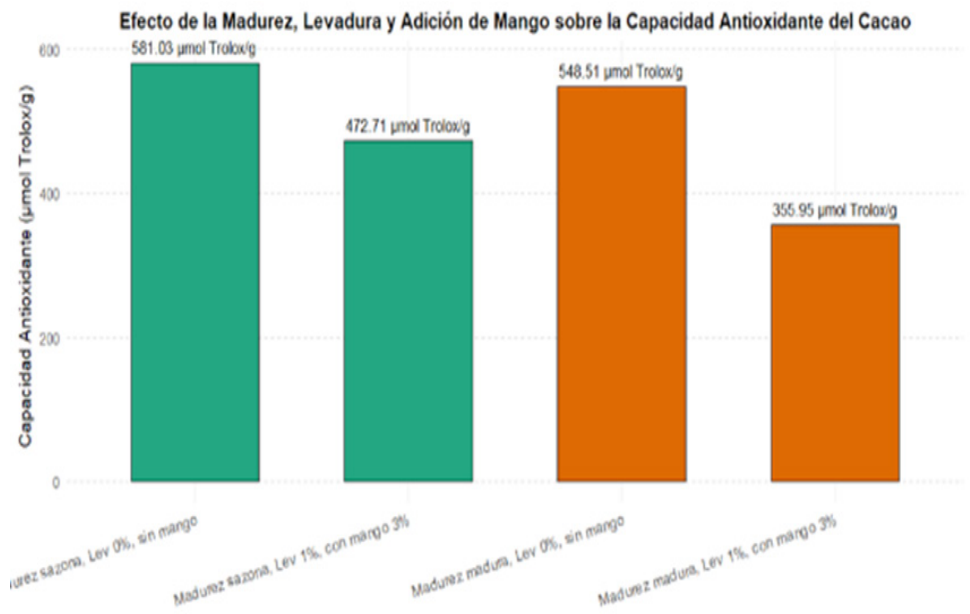


Figura 1. Efecto de la interacción de los dos estados de madurez (Sazona y Madura), en base a la inducción de levadura (0 %, 0.5 % y 1.0 %), Bajo la aplicación de extractos de mango sobre la variable capacidad antioxidante

En particular, el tratamiento con levadura al 1 % y extracto de mango al 3 % aplicado sobre cacao sazón mantuvo una capacidad antioxidante de 472,71 μmol Trolox/g, mientras que en el caso del cacao maduro el valor fue de 355,95 μmol Trolox/g resultados. Estos resultados confirman que, si bien se presenta una ligera reducción, la bioactividad antioxidante se conserva en niveles funcionales, permitiendo el desarrollo de protocolos fermentativos con valor agregado, sin comprometer las propiedades nutraceuticas del cacao.

5.8 DISCUSIÓN

La dinámica del pH durante la fermentación del cacao presentó un patrón ascendente, congruente con los procesos microbianos y bioquímicos que caracterizan esta etapa postcosecha. Inicialmente, los valores oscilaron entre 3,00 y 4,00, aumentando progresivamente hasta alcanzar rangos de 4,00 a 5,00 al quinto día, comportamiento coherente con lo reportado por (Morales et al., 2024), quienes atribuyen este aumento a la producción de metabolitos alcalinos derivados del metabolismo de levaduras y bacterias ácido-lácticas.

En el presente estudio, la adición de extracto de mango al 3% influyó significativamente en el incremento del pH al día 4 ($p = 0,0111$), efecto probablemente asociado a la composición del extracto frutal, rico en azúcares reductores y compuestos fenólicos, que actúan como sustratos fermentativos y amortiguadores fisiológicos (Cedeño et al., 2024). Este hallazgo sugiere que los componentes del mango pueden modular el microambiente fermentativo, favoreciendo la neutralización parcial de ácidos orgánicos formados en fases iniciales, como también lo sugiere (Vásquez et al., 2024) al utilizar extractos frutales como agentes moduladores del pH durante fermentaciones dirigidas.

Aunque los factores de madurez y concentración de levadura no mostraron efectos significativos ($p > 0,05$), se identificó una tendencia consistente hacia mayores valores de pH en los tratamientos que integraron cacao maduro con *S. cerevisiae* al 1%. Esta observación concuerda con lo planteado por (Medina et al., 2020), quienes demostraron que la adición de levaduras incrementa la tasa de metabolización de azúcares, promoviendo la liberación de etanol y compuestos básicos que elevan el pH. Asimismo, reportaron que la fermentación con EM (microorganismos eficaces) a concentraciones del 3 – 5 % potencia la actividad metabólica, generando incrementos similares en pH sin comprometer la calidad fermentativa.

El tratamiento que alcanzó el valor más alto de pH (5,00) correspondió a la interacción entre cacao maduro, levadura al 1% y extracto de mango al 3 %, lo cual refleja una sinergia positiva entre estos tres factores en el control del microambiente

fermentativo. Aunque las interacciones estadísticas no resultaron significativas en todos los días de evaluación, el comportamiento fisiológico observado sugiere que esta combinación promueve condiciones favorables para una fermentación más estable y homogénea, tal como se ha evidenciado en estudios de (Morales et al., 2024) y (Alvarado et al., 2022), quienes destacan el papel de levaduras y cofactores frutales en la modulación de los parámetros fisicoquímicos.

En conjunto, estos resultados respaldan la hipótesis de que el uso combinado de biocomponentes (levaduras y extractos frutales) puede optimizar las condiciones fermentativas del cacao, contribuyendo al control del pH sin alterar excesivamente la dinámica microbiana natural. Esto es fundamental para garantizar el desarrollo adecuado de precursores de aroma y sabor en las almendras, aspecto clave en la producción de cacao fino de aroma.

La disminución progresiva de los sólidos solubles (°Brix) durante los cinco días de fermentación del cacao refleja el metabolismo activo de los microorganismos presentes, particularmente levaduras y bacterias ácido-lácticas, que consumen los azúcares fermentables como fuente principal de energía. Los valores iniciales de 21,00–23,00 °Brix se redujeron hasta 6,00–8,00, lo cual coincide con estudios previos que indican una disminución sostenida del °Brix como indicador de fermentación efectiva (Morales et al., 2024).

En este estudio, el análisis de varianza demostró que el factor levadura presentó un efecto significativo en el día 3 ($p = 0,0124$), y el extracto de mango en el día 4 ($p = 0,0385$). Esta dinámica es congruente con lo reportado por (Alvarado et al., 2022), quienes observaron que la inoculación con *S. cerevisiae* acelera la hidrólisis del mucílago, promoviendo un consumo más rápido de glucosa, sacarosa y fructosa. El extracto de mango, rico en azúcares simples y enzimas naturales, también habría potenciado esta actividad fermentativa al ofrecer sustratos adicionales y modular el ambiente metabólico, como también lo reportan (Cedeño et al., 2024).

La mayor disminución del °Brix se presentó en el tratamiento con cacao maduro, levadura al 1 % y extracto de mango, alcanzando 6,50 °Brix al día 5. Este resultado respalda lo observado por (Medina et al., 2020), quienes concluyeron que la combinación de levaduras activas y frutas tropicales puede intensificar la degradación del mucílago, favorecer la ventilación del fermentador y, en consecuencia, reducir más rápidamente los sólidos solubles.

En contraste, los tratamientos testigo (sin levadura ni extracto) conservaron valores de °Brix más altos (~8,00), lo cual sugiere una fermentación parcial o menos eficiente. Tal comportamiento ha sido asociado a una menor actividad microbiana y a un entorno fermentativo menos dinámico, limitando el desarrollo adecuado de precursores de aroma y sabor (Morales et al., 2024).

La temperatura interna de la masa fermentativa mostró un incremento progresivo desde el primer hasta el quinto día, alcanzando valores finales entre 45,0 °C y 47,5 °C, comportamiento que concuerda con el patrón típico de fermentaciones microbianas activas, tal como lo reportan (Morales et al., 2024) y (Medina et al., 2020). Este ascenso térmico está asociado a la intensificación del metabolismo de levaduras y bacterias ácido-acéticas, que generan calor como subproducto de la oxidación de azúcares y alcoholes.

El análisis estadístico evidenció un efecto significativo del factor levadura en el segundo día ($p = 0,0029$), lo que indica que la inoculación con *S. cerevisiae* favoreció una activación metabólica temprana, acelerando la generación de energía térmica. Esta observación está en línea con lo reportado por (Alvarado et al., 2022), quienes demostraron que la aplicación de levaduras en fermentaciones controladas promueve un rápido incremento de la temperatura, mejorando la degradación del mucílago y favoreciendo el desarrollo de compuestos precursores del aroma.

Por otro lado, los factores madurez y extracto de mango no presentaron efectos significativos sobre la variable temperatura ($p > 0,05$), aunque su combinación con levadura permitió alcanzar temperaturas ligeramente superiores. Los tratamientos que incluyeron levadura al 1 %, especialmente combinados con cacao maduro y 3 % de extracto, fueron los que alcanzaron los valores máximos de temperatura (hasta 47,5 °C), dentro del rango óptimo para la fermentación del cacao fino de aroma (45–50 °C), tal como lo describen (Cedeño et al., 2024).

En contraste, los tratamientos sin adición de levadura ni extracto se mantuvieron por debajo de los 45,0 °C, evidenciando una progresión térmica más lenta y limitada. Estas diferencias térmicas, aunque no siempre significativas estadísticamente en todos los días, tienen implicaciones tecnológicas relevantes, ya que la temperatura influye directamente en la descomposición del mucílago, la muerte de embrión y la transformación de metabolitos precursores del sabor (Morales et al., 2024) y (Vásquez et al., 2024).

Los parámetros físicos evaluados mediante la prueba de corte evidenciaron mejoras sustanciales en la calidad del grano como consecuencia de la interacción entre el estado de madurez, la concentración de levadura y la adición de extracto de mango. En particular, las variables peso seco, índice de semilla y porcentaje de granos fermentados fueron significativamente influenciadas por los tratamientos aplicados, mientras que el porcentaje de testa y cotiledón no presentó diferencias estadísticas, aunque sí variaciones fisiológicas consistentes.

El incremento en el peso seco del grano en los tratamientos con cacao maduro y levadura al 1% ($p < 0,0001$) se asocia directamente a una fermentación más

eficiente, en la cual se logra una mayor degradación del mucílago y una menor pérdida de masa útil, como lo han reportado (Morales et al., 2024) y (Medina et al., 2020). El tratamiento con cacao maduro + levadura al 1 % + extracto de mango al 3 % fue el que alcanzó el mayor peso seco (845,50 g) y el índice de semilla más alto (1,80), reflejando un efecto sinérgico entre la madurez fisiológica del fruto y la acción microbiana promovida por la levadura y el extracto frutal.

Asimismo, el porcentaje de granos fermentados mejoró considerablemente bajo estos tratamientos, alcanzando hasta 86,0 %, mientras que en los tratamientos testigo se registraron valores entre 36,0 % y 54,0 %. Esto corrobora que la inoculación con *S. cerevisiae*, en combinación con extractos ricos en azúcares y enzimas naturales, favorece el ambiente fermentativo, acelerando la acidificación y la activación enzimática endógena del grano (Cedeño et al., 2024).

En cuanto a los defectos físicos, como granos violetas, pizarrosos y mohosos, los mejores resultados se observaron en los tratamientos con intervención biotecnológica, reduciendo su frecuencia a mínimos aceptables para estándares internacionales de cacao fino. El tratamiento óptimo presentó solo 3,00 % de granos violetas, 0,50 % pizarrosos y ausencia total de mohosos (0,00 %). Estos hallazgos coinciden con lo reportado por (Vásquez et al., 2022), quienes destacaron que las fermentaciones dirigidas permiten mejorar significativamente los atributos visuales y estructurales del grano.

Aunque el porcentaje de cotiledón y de testa no mostró diferencias estadísticas ($p > 0,05$), se observaron tendencias favorables en los tratamientos con cacao maduro y levadura, lo cual puede estar relacionado con una mejor descomposición del perispermo y una compactación del cotiledón, tal como señalan (Medina et al., 2020).

La evaluación de los parámetros químicos del grano de cacao fermentado reflejó una influencia significativa de los factores tecnológicos aplicados, en especial sobre la acidez titulable, variable fundamental para determinar el equilibrio de compuestos orgánicos y el desarrollo sensorial del producto final. Los valores oscilaron entre 0,93 % y 0,32 %, evidenciando una reducción sustancial en los tratamientos con intervención biotecnológica, particularmente en aquellos que incluyeron cacao maduro, 1 % de levadura y 3 % de extracto de mango.

El análisis estadístico confirmó un efecto altamente significativo ($p < 0,0001$) de los tres factores (madurez, levadura y extracto), así como de todas sus interacciones, lo que sugiere una sinergia funcional entre ellos para reducir la carga ácida residual. Este comportamiento ha sido previamente descrito por (Morales et al., 2024), quienes relacionaron la inoculación con *S. cerevisiae* con una mayor eficiencia en

la conversión de azúcares a etanol y CO₂, minimizando la acumulación de ácidos orgánicos. Además, el extracto de mango puede haber contribuido con enzimas y compuestos tamponadores que favorecen la neutralización parcial de dichos ácidos, como lo afirman (Cedeño et al., 2024).

El valor mínimo de acidez (0,32 %) en el tratamiento combinado se interpreta como indicador de una fermentación controlada y eficiente, favoreciendo una menor astringencia y mejor perfil de sabor en el grano, tal como han señalado (Medina et al., 2020). En contraste, los frutos sazona sin levadura ni extracto retuvieron el valor más alto (0,93 %), asociado a una menor actividad microbiológica y a una fermentación menos activa.

En cuanto a la alcalinidad de cenizas, los valores registrados (18,85% – 22,44%) fueron influenciados únicamente por el estado de madurez del cacao ($p = 0,0312$). Este parámetro, relacionado con la presencia de minerales básicos en el grano, ha sido utilizado como indicador indirecto del grado de mineralización y del contenido de cenizas solubles. Los valores más altos se concentraron en los tratamientos con frutos maduros, lo cual es coherente con su mayor desarrollo fisiológico y acumulación de nutrientes minerales, como reportaron (Intriago et al., 2024).

Respecto a la humedad final del grano, los valores fueron homogéneos (4,80 % – 4.86 %), sin diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$). Este comportamiento uniforme evidencia un adecuado manejo del secado posfermentativo, condición esencial para evitar el desarrollo de mohos y asegurar la conservación del grano, como destacan (Vera et al., 2024). Los bajos coeficientes de variación ($CV = 1,26$ %) y los errores estándar controlados ($\pm 0,04$) respaldan la confiabilidad de las mediciones.

La evaluación sensorial del cacao fermentado reveló efectos significativos atribuibles a la interacción entre el estado de madurez del fruto, la concentración de levadura y la inclusión de extracto de mango, destacando la influencia positiva de los tratamientos biotecnológicos sobre los atributos organolépticos clave.

La variable apariencia presentó diferencias significativas para todos los factores y para las interacciones madurez $\times$ levadura y levadura $\times$ extracto. Los tratamientos con cacao maduro, levadura al 1 % y extracto de mango al 3 % lograron los puntajes más altos (hasta 4,60), indicando una superficie de grano más uniforme y visualmente atractiva. Este resultado es congruente con lo informado por (Morales et al., 2024), quienes destacan que fermentaciones dirigidas mejoran la presentación visual del grano al optimizar la descomposición del mucílago y la migración de compuestos pigmentarios.

En cuanto al color, se observaron diferencias significativas en los factores madurez ($p = 0,0189$) y extracto ($p = 0,0118$). El extracto de mango pudo haber aportado

polifenoles o carotenoides que estabilizan los pigmentos durante la fermentación, lo que coincide con lo sugerido por (Intriago et al., 2022) al incorporar frutas tropicales ricas en compuestos bioactivos en fermentaciones controladas.

El atributo aroma fue fuertemente influenciado por todos los factores ($p < 0.05$), siendo más alto en los tratamientos con levadura al 1 % y extracto al 3 %. Esto puede deberse a una mayor producción de ésteres, alcoholes y aldehídos aromáticos derivados del metabolismo de *S. cerevisiae*, como lo han documentado (Medina et al., 2020) y (Morales et al., 2024). La combinación de extracto y levadura potencia los precursores volátiles, mejorando así el perfil aromático del cacao fermentado.

La variable textura presentó significancia estadística con respecto a la levadura ($p = 0,0043$) y al extracto ($p = 0,0487$). Este resultado refleja una mejor estructuración del cotiledón, atribuida a una fermentación homogénea y eficiente, tal como también han reportado (Cedeño et al., 2024). Los tratamientos con levadura al 1% obtuvieron puntajes más altos en textura, indicando una mordida más consistente y menos harinosa, asociada a una descomposición óptima de la pared celular.

Finalmente, el sabor mostró diferencias significativas según el extracto ($p = 0,0002$) y la interacción madurez $\times$ levadura ($p = 0,0498$). El tratamiento con cacao maduro + levadura 1 % + mango 3 % recibió los puntajes más altos (hasta 4,53), indicando un perfil sensorial más dulce, redondeado y menos amargo. Esto es consistente con lo reportado por (Vásquez et al., 2024), quienes destacaron que la adición de levaduras y compuestos frutales puede modular la carga fenólica residual y la acidez, contribuyendo a un perfil gustativo más agradable.

La capacidad antioxidante del cacao fermentado, expresada en $\mu\text{mol Trolox/g}$, evidenció variaciones significativas derivadas de la interacción entre el estado de madurez fisiológica del fruto, la inoculación con *S. cerevisiae* y la aplicación de extracto de mango. Los valores oscilaron entre 355,95 y 581,03 $\mu\text{mol Trolox/g}$, lo cual confirma que el cacao CCN-51 mantiene una bioactividad funcional relevante incluso tras el proceso fermentativo, independientemente del tratamiento aplicado.

Los tratamientos control, es decir, sin levadura ni extracto, mantuvieron las concentraciones más elevadas de antioxidantes, en especial en frutos sazona (581,03 $\mu\text{mol Trolox/g}$) y maduros (548,51 $\mu\text{mol Trolox/g}$). Este comportamiento concuerda con lo reportado por (Morales et al., 2024), quienes señalaron que los compuestos fenólicos, principales responsables de la capacidad antioxidante, pueden oxidarse o degradarse durante la fermentación, especialmente bajo condiciones intensificadas por microorganismos exógenos.

No obstante, la inoculación con levadura al 1 % y la adición de extracto de mango al 3 % mantuvieron niveles antioxidantes funcionales en todos los tratamientos, con

valores de 472,71 $\mu\text{mol Trolox/g}$ en cacao sazona y 355,95 $\mu\text{mol Trolox/g}$ en cacao maduro. Esta ligera reducción, aunque estadísticamente relevante, no compromete la calidad bioactiva del producto final, y más bien sugiere una transformación parcial de los compuestos fenólicos en precursores aromáticos y volátiles, como han documentado (Vera et al., 2024).

Asimismo, la disminución de la capacidad antioxidante también puede estar asociada a una mejora del perfil sensorial, dado que muchos de los compuestos antioxidantes particularmente las catequinas y antocianinas son responsables de la astringencia y el amargor. Este fenómeno ha sido reportado por Intriago et al., (2024), quienes indicaron que una reducción moderada de estos compuestos favorece la aceptación sensorial sin afectar las propiedades funcionales del cacao.

La interacción triple observada entre madurez $\times$ levadura $\times$ extracto refleja una compatibilidad tecnológica positiva, ya que la bioactividad se conserva dentro de rangos aceptables, permitiendo el diseño de protocolos fermentativos con valor agregado. Estas estrategias pueden ser utilizadas en programas de fermentación dirigida para cacao industrial o de especialidad, sin sacrificar el potencial nutracéutico del producto.

Conclusiones del trabajo experimental

Determinar el estado de madurez del cacao en que la adición de levadura y extracto de mango mejora la fermentación del grano permitió establecer que la madurez fisiológica avanzada del fruto representa una condición óptima para la aplicación de tecnologías fermentativas dirigidas. En particular, la combinación de frutos maduros con *S. cerevisiae* al 1 % y extracto de mango al 3% favoreció una fermentación más activa, por una mayor producción de calor metabólico (47,5 °C), una acelerada reducción de sólidos solubles hasta 6.0 °Brix y una progresión ascendente del pH 5 hasta 5.00, reflejando un entorno fermentativo más dinámico y eficiente que en frutos en estado sazona. Estos resultados demuestran que la madurez del fruto es un factor determinante en la optimización de la fermentación bajo condiciones controladas.

Analizar la calidad físico-química en las almendras de cacao sometidas a fermentación, en diferentes estados de madurez con adición de levadura y extracto de mango, permitió demostrar mejoras significativas como se muestra en la tabla 18 en variables clave del grano. El tratamiento con cacao maduro, 1 % de levadura y 3 % de extracto de mango obtuvo el mayor peso seco (845,5g), el índice de semilla más alto (1,80) y el porcentaje más elevado de granos fermentados (86,0 %), acompañado de una reducción sustancial en los defectos físicos (granos violetas, pizarrosos y

mohosos). A nivel químico, se evidenció una disminución altamente significativa en la acidez titulable hasta 032 %, sin afectación negativa sobre la alcalinidad de cenizas ni sobre el contenido de humedad. Además, la capacidad antioxidante del grano se mantuvo en niveles funcionales relevantes (355,95–581,03 $\mu\text{mol Trolox/g}$), confirmando que la aplicación de microorganismos y extractos frutales no compromete la bioactividad del cacao, lo que amplía su potencial como ingrediente nutracéutico.

Evaluar la calidad de fermentación con base en la normativa INEN 176:2018 en los tratamientos de estudio, permitió verificar que los tratamientos aplicados a frutos maduros cumplieron con los estándares nacionales para cacao fermentado. Se alcanzaron niveles superiores al 85 % de granos bien fermentados, contenidos de humedad <5%, y una reducción significativa de defectos físicos, garantizando un perfil de calidad alineado con las exigencias de la industria del chocolate fino de aroma. Complementariamente, el análisis sensorial reveló una mejora en los atributos de apariencia, aroma, textura y sabor, siendo más pronunciada en los tratamientos con levadura y extracto de mango, lo que sugiere una valorización organoléptica del producto final.

En conjunto, los hallazgos de esta investigación validan la eficacia del uso combinado de levaduras y extractos frutales como estrategia biotecnológica para optimizar la fermentación del cacao, variedad CCN-51. Esta aproximación permite mejorar integralmente la calidad física, química, sensorial y funcional del grano, fortaleciendo su competitividad en mercados de alto valor, sin comprometer sus propiedades nutracéuticas ni su identidad sensorial.



CAPÍTULO 6

APLICACIONES PRÁCTICAS PARA PEQUEÑOS Y MEDIANOS PRODUCTORES



La producción de cacao en Ecuador es una actividad ancestral que ha sustentado a miles de familias a lo largo del tiempo. Sin embargo, el dinamismo de los mercados actuales exige una constante mejora en la calidad del grano para acceder a segmentos *premium* y diferenciados. El proceso de fermentación, muchas veces subestimado o realizado de forma empírica, es en realidad uno de los pilares más influyentes en la calidad física, química y sensorial del cacao.

Los resultados de esta investigación han demostrado que es posible optimizar la fermentación del cacao mediante la incorporación de levaduras como *S. cerevisiae* y extractos de frutas tropicales como el mango Manila, sin necesidad de grandes inversiones. Este capítulo busca traducir esos hallazgos en recomendaciones accesibles, funcionales y adaptadas a las realidades de los pequeños y medianos productores del país.

6.1 FERMENTACIÓN DIRIGIDA: UNA INNOVACIÓN AL ALCANCE DEL AGRICULTOR

La fermentación dirigida consiste en la adición controlada de microorganismos benéficos y/o coadyuvantes naturales que mejoran el proceso microbiano espontáneo tradicional. En esta investigación, el uso de *S. cerevisiae* (comúnmente empleada en panificación y bebidas) facilitó una fermentación más homogénea, incrementando la producción de compuestos aromáticos deseables y reduciendo las pérdidas por malas prácticas.

La adición de extracto de mango Manila, por su parte, aportó azúcares y compuestos bioactivos que nutrieron la actividad microbiana y enriquecieron el perfil sensorial del grano. Estos efectos son replicables en finca con una adecuada planificación.

6.2 RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA IMPLEMENTAR LA FERMENTACIÓN MEJORADA

A. Materiales necesarios:

- Cajas de madera o polietileno con drenaje (fermentadores).
- Termómetro de varilla o digital.
- Recipientes limpios para preparar soluciones.
- Levadura seca activa (panadera o enológica).
- Mangos Manila maduros o su pulpa licuada.

B. Procedimiento sugerido:

1. Cosechar el cacao en su punto óptimo de madurez.
2. Romper las mazorcas e iniciar la fermentación el mismo día.
3. Preparar una solución con levadura seca activa (0,5 g por kg de masa fresca de cacao), activándola con agua tibia durante 15 minutos.
4. Agregar extracto de mango (100 mL/kg de masa) licuado y colado, directamente sobre la masa mucilaginosa.
5. Homogeneizar la mezcla en el fermentador y cubrir con hojas de plátano o sacos de yute.
6. Voltar la masa cada 24-48 horas para favorecer la aireación.
7. Controlar la temperatura interna (debe mantenerse entre 45 y 50 °C).
8. La fermentación debe durar entre 5 y 7 días, dependiendo de la variedad y el clima.

6.3 ASPECTOS ECONÓMICOS Y VIABILIDAD

Implementar este tipo de fermentación dirigida no requiere maquinaria costosa ni insumos difíciles de conseguir. La levadura seca es económica y disponible en el mercado nacional, mientras que el mango puede obtenerse localmente en temporada alta o procesarse y conservarse como pulpa congelada o deshidratada.

Un análisis preliminar de costos indica que el incremento por quintal de cacao procesado es mínimo frente al valor adicional que puede alcanzarse en mercados de chocolatería fina o exportación. La diferenciación sensorial, el aumento en la capacidad antioxidante y el cumplimiento de normas de calidad son ventajas competitivas que justifican la inversión.

6.4 BUENAS PRÁCTICAS COMPLEMENTARIAS PARA EL ÉXITO DEL PROCESO

- Utilizar solo mazorcas sanas y sin brotes de enfermedades.
- Desinfectar los utensilios y fermentadores antes de cada ciclo.
- Realizar un adecuado secado posterior a la fermentación, hasta alcanzar entre 7% y 8% de humedad.
- Almacenar el grano seco en sacos de yute, en lugares frescos y ventilados.

- Capacitar al personal y mantener registros del proceso.

6.5 HACIA UNA PRODUCCIÓN CON VALOR AGREGADO

El verdadero reto del productor moderno no es solo cultivar, sino diferenciar su cacao en un mercado global exigente. Esta fermentación mejorada representa una herramienta innovadora y sostenible que permite a los agricultores conservar su identidad productiva, mientras mejoran la calidad de su producto y acceden a nuevas oportunidades de comercialización.

Adoptar tecnologías accesibles, basadas en evidencia científica, puede marcar la diferencia entre vender cacao como materia prima genérica o posicionarlo como un grano de especialidad con historia, aroma y valor agregado.



CONCLUSIONES FINALES



El presente libro ha recorrido el fascinante universo del cacao desde una perspectiva integral que conjuga tradición, ciencia e innovación. A partir del análisis histórico, técnico y experimental del proceso de fermentación del cacao ecuatoriano —particularmente de la variedad CCN51— se han generado hallazgos valiosos que permiten reflexionar sobre el papel que juega la postcosecha en la calidad del grano, y cómo esta puede ser optimizada desde la finca misma.

Se confirma que la fermentación no es una etapa secundaria del proceso productivo, sino el eje central para el desarrollo de atributos físico-químicos, organolépticos y funcionales del cacao. A través de la incorporación de *S. cerevisiae* y extracto de mango Manila en el proceso fermentativo, se evidenció una mejora significativa en parámetros como pH, °Brix, temperatura, acidez y capacidad antioxidante, además de un perfil sensorial más atractivo y equilibrado, percibido por catadores entrenados.

La investigación experimental presentada en este libro aporta un modelo replicable de fermentación dirigida, accesible para pequeños y medianos productores, y sustentado en criterios técnicos simples pero eficaces. Este enfoque permite no solo aumentar la calidad del grano, sino también otorgarle un valor diferencial en mercados exigentes como el de la chocolatería fina o la exportación de cacao especial.

Desde la revisión del contexto histórico del cacao en Ecuador hasta la aplicación práctica del tratamiento experimental, se ha puesto en evidencia que es posible —y necesario— construir puentes entre la tradición agrícola y los avances científicos. La biotecnología, lejos de excluir los saberes locales, puede potenciar los procesos existentes y abrir nuevas oportunidades para el desarrollo rural sostenible.

Asimismo, este trabajo reafirma la importancia de una visión holística del sistema cacaotero: desde la selección varietal, la cosecha y la fermentación, hasta el secado, almacenamiento y comercialización. Cada eslabón representa una oportunidad de mejora, y cada mejora es una puerta hacia un cacao más competitivo, justo y con identidad.

Este libro deja sembrada una semilla de transformación: la convicción de que el cacao ecuatoriano —y en especial el producido por agricultores comprometidos con la calidad— puede alcanzar estándares internacionales sin perder su esencia. Innovar desde la finca, aplicar el conocimiento científico y valorar la biodiversidad tropical son caminos posibles y urgentes para construir un futuro cacaotero con aroma a excelencia, sabor a justicia y raíces en la tradición.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- Abad, a., Acuña, C., & Naranjo, E. (2020). El cacao en la Costa ecuatoriana: estudio de su dimensión cultural y económica. (Estudios De La Gestión: Revista Internacional De Administración, 7, 59-83. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.7.3>
- Alcaraz González, M., & Alcaraz González, J. (2025). Interacción Química entre Alimentos: El Papel de los Aditivos en la Mejora de la Calidad de los Productos Alimenticios. *Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano*, 6(1), 1651–1678. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v6i1.561>
- Alvarado Vásquez, K., Vera Chang, J., Tuarez García, D., & Intriago Flor, F. (2022). Fermentación de cacao (*Theobroma cacao* L.) con adición de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) y enzima (PPO's) en la disminución de metales pesados. *Centrosur Agraria*. <https://centrosuragraria.com/index.php/revista/article/view/191>.
- Amorim Leal, G., Gomes, L., Efraim, P., de Almeida Tavares, F., & Figueira, A. (2008). Fermentation of cacao (*Theobroma cacao* L.) seeds with a hybrid *Kluyveromyces marxianus* strain improved product quality attributes, *FEMS Yeast Research*, 8 (5), 788–798. <https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2008.00405.x>
- Andrade Almeida, J, Rivera García, J, Chire Fajardo, GC, & Ureña Peralta, MO. (2019). Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao *Theobroma cacao* L. de Ecuador y Perú. *Enfoque UTE*, 10(4), 1-12. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422019000400001&lng=es&tlng=es.
- Aparicio, N. (16 de marzo de 2022). La fermentación, proceso tecnológico clave para la obtención de proteínas alternativas. <https://www.ainia.com/ainia-news/fermentacion-proceso-tecnologico-obtencion-proteinas-alternativas/>
- Apriyanto, M., & Novitasari, R. (2021). During Fermentation, Microbiology and Biochemistry of the Cocoa Bean. *International Journal of Food Science and Agriculture*, 5(4), 688-691.
- Apriyanto, M., Sutardi, S., Harmayani, E. (2016). Study on effect of fermentation to the quality parameter of cocoa bean in Indonesia. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 35(2), 160-163. <http://dx.doi.org/10.26855/ijfsa.2021.12.016>
- Asociación Nacional de Exportadores de Cacao [Anecacao] (2021). Historia del cacao. <https://anecacao.com/cacao-en-el-ecuador/historia-del-cacao/>
- Bernardo Gandarillas A., & Baldón S. C. (2019). Efecto del tipo de levadura y el uso de mango (*Manguifera indica*) en las características físicas, químicas

- y sensoriales de hidromiel. Tesis de Grado. Universidad de Zamorano. Zamorano, honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/14ea350a-aadd-4b6e-9149-fd2e9a865cc2/content>
- Cabrera, E. (2024). Revelado: Ecuador, origen del cacao. Cambiagro. <https://blog.cambiagro.com/actualidad/ecuador-origen-del-cacao/>
- Cabrera, J. B. Z., Encalada, C. M., Guerrero, J. Q., Reyes, S. H., Castillo, A. M., & Toro, J. L. (2021). Influencia de la madurez de las mazorcas de cacao: calidad nutricional y sensorial del cultivar CCN-51. *Revista Bases de la Ciencia*, 6(2). DOI: https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v6i2.2706
- Campos, S. D. M., Martínez Burgos, W. J., dos Reis, G. A., Ocán Torres, D. Y., dos Santos Costa, G., Rosas Vega, F., Álvarez Badel, B., Sotelo Coronado, L., Lima Serra, J., & Soccol, C. R. (2025). The Role of Microbial Dynamics, Sensorial Compounds, and Producing Regions in Cocoa Fermentation. *Microbiology Research*, 16(4), 75. <https://doi.org/10.3390/microbiolres16040075>
- Castellón C., M. j. (2017). Fermentación microbiana de compuestos polifenólicos presentes en cacao (*Theobroma cacao*) y mango (*Mangifera indica*). Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/5d62f895-c4b8-4393-a186-8b2e726e6cd3/content>
- Codespa (11 de julio de 2025). El cacao del cambio: producción sostenible y libre de deforestación en Ecuador. <https://www.codespa.org/blog/2025/07/11/el-cacao-del-cambio-trabajamos-por-una-produccion-sostenible-y-libre-de-deforestacion-en-ecuador/>
- Comunidad Uhealth (19 de enero de 2023). Los mangos y sus beneficios para la salud. Comunidad UHEALTH. https://news.umiamihealth.org/es/los-mangos-y-sus-beneficios-para-la-salud/?utm_source=chatgpt.com
- Cortez, L. H. V., Barcia, C. S. R., Flor, F. G. I., Delgado, L. A. D., Chang, J. F. V., & Álvarez, L. F. A. (2023). Utilización de extracto de jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) como estrategia para mejorar la calidad del grano de cacao. *Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo*, 4(8), 95-117. <https://www.revistainvestigo.com/EditorInvestigo/index.php/hm/article/view/67>
- Crafack, M., Keul, H., Eskildsen, C., Petersen, M., Saerens, S., Blennow, A., Skovmand-Larsen, M., Swiegers, J. H., Petersen, G. B., Heimdal, H., & Nielsen, D. S. (2014). Impact of starter cultures and fermentation techniques on the volatile aroma and sensory profile of chocolate. *Food Research International*, 63, 306-316. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.032>

- Del Aguila Tello, W. L. (2022). Efecto del zumo de maracuyá (*Passiflora edulis*) como agregado en las características organolépticas durante el proceso de fermentación del cacao CCN51 (*Theobroma cacao L.*). Universidad Nacional de Ucayali. Pucalpa, Perú.
- Díaz Muñoz, C., & De Vuyst, L. (2022). Functional yeast starter cultures for cocoa fermentation, *Journal of Applied Microbiology*, 133(1), 39 -66. <https://doi.org/10.1111/jam.15312>.
- Díaz-Muñoz, C., & De Vuyst, L. (2022). Functional yeast starter cultures for cocoa fermentation. *Journal of applied microbiology*, 133(1), 39–66. <https://doi.org/10.1111/jam.15312>
- Ecuador Chequea (23 de agosto de 2024). Exportadores de cacao viven su momento ‘dorado’ gracias al precio del grano. <https://ecuadorchequea.com/exportadores-de-cacao-viven-su-momento-dorado-gracias-al-precio-del-grano/>
- El Comercio (16 de marzo de 2025). Exportaciones de cacao en Ecuador crecieron 174% en 2024, conozca sus principales destinos. <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/ecuador-duplico-exportaciones-cacao-principales-destinos/>
- Erazo Solórzano, C. Y., Bravo Franco, K. J., Tuárez García, D. A., Fernández Escobar, Ángel O., Torres Navarrete, Y. G., & Vera Chang, J. F. (2021). Efecto de la fermentación de cacao (*theobroma cacao L.*), variedad nacional y trinitario, en cajas de maderas no convencionales sobre la calidad física y sensorial del licor de cacao. *Revista De Investigación Talentos*, 8(2), 42-55. <https://doi.org/10.33789/talentos.8.2.153>
- Escobar K., Vera Chang J., Radice M., & Maddela Naga R. (2023). Evaluación del contenido de cadmio y caracterización fisicoquímica de almendras y pasta de cacao (*Theobroma cacao*). *Innovaciencia*, 11(1), 1-11. <http://dx.doi.org/10.15649/2346075X.3411>
- Fontagro (10 de septiembre de 2024). Innovación biotecnológica para reducir el cadmio en el cacao: un avance crucial para la agricultura sostenible. <https://www.fontagro.org/new/noticias/618/es/innovacion-biotecnologica-para-reducir-el-cadmio-en-el-cacao-un-avance-crucial-para-la-agricultura-sostenible>
- Freire Muñoz, D. A. (2021). Estudio de coliformes totales, mohos y levaduras en panaderías de la ciudad Ambato. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(3), 477–483. <https://doi.org/10.2218/rus.v13i3.2123>

- García Beraún, G. M. (2024). Percepción sensorial en el pan elaborado con masa madre y con levadura comercial Huánuco. Universidad de Huánuco, Perú. <https://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14257/5379/Garci%cc%81a%20Berau%cc%81n%2c%20Greta%20Mirella.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García Briones, A., Pico, B., & Jaimez, R. (2021). La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. (2021). *Novasinergia*, 4(2), 152-172. <https://doi.org/10.37135/ns.01.08.10>
- García, M. (2021). Fermentación del Cacao en Ecuador: Desafíos y Oportunidades. Ediciones AgroEcuador.
- Grandsur (s.f.). Cacao variedad CCN-51. <https://grandsur.com/cacao-variedad-ccn-51/>
- Guzmán Bautista, J. H., Segura Huamánb, A. K., Sempértegui Rafael, R. M., & Carlos Ramos, J. A. (2024). Production and marketing of chocolates in Amazonas-2023. *Journal Scientific Research World Economy EconConnections*, 2(1), 2 – 11. <https://journaleconomy.org/index.php/econ/article/view/8/8>
- Intriago Flor, F., Chávez García G., Vásquez Cortez L., Alvarado Vásquez K., Revilla Lagos Quispe, T. M., Vásquez Montenegro, E. E., Rojas Yauri, G., Huamani Urpe, I. L., & Sosa Choque, J. C. (2024). Fermentación de Cacao Criollo y CCN-51: Bacteria *Lactobacillus Fermentum* y levadura *Saccharomyces Cerevisiae*. *Revista Universidad y Sociedad*, 16(4), 52-63. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202024000400052&lng=es&tlng=es.
- Lagunes Gálvez, S., Loiseau, G., Paredes, J. L., Barel, M., & Guiraud, J. (2007). Study on the microflora and biochemistry of cocoa fermentation in the Dominican Republic. *International Journal of Food Microbiology*, 114(1), 124-130. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.10.041>
- Lefeber, T., Papalexandratou, Z., Gobert, W., Camu, N., & De Vuyst, L. (2012). On-farm implementation of a starter culture for improved cocoa bean fermentation and its influence on the flavour of chocolates produced thereof. *Food Microbiology*, 30(2), 379-392. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.12.021>
- Loaiza, Y. (9 de marzo de 2025). El secreto del cacao ecuatoriano, el alma del mejor chocolate del mundo. Infobae. <https://www.infobae.com/america/america-latina/2025/03/09/el-secreto-del-cacao-ecuadoriano-el-alma-del-mejor-chocolate-del-mundo/>
- López H., R. (2023). Determinación del rendimiento y tiempo de fermentación

del mosto de mango (*Mangifera indica*) de rechazo en la obtención de una bebida alcohólica tipo cerveza [Trabajo de titulación, Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrarias].

- López Hernández, Martha del Pilar, Melo Martínez, Sandra Esperanza, & Criollo Núñez, Jenifer. (2023). Effect of the maturity stage, genotype, and geographical location on the physicochemical characteristics of the cocoa bean during fermentation. *Ingeniería y competitividad*, 25(3), e-20412503. <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i3.12503>
- Maldonado Celis, M. E., Yahia, E. M., Bedoya, R., Landázuri, P., Loango, N., Aguillón, J., Restrepo, B., & Guerrero Ospina, J. C. (2019). Chemical Composition of Mango (*Mangifera indica* L.) Fruit: Nutritional and Phytochemical Compounds. *Frontiers in plant science*, 10, 1073. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01073>
- Mendoza Vargas, E., Cervantes Molina, X. ., & Zamora Cevallos, E. (2022). Recorrido histórico de la importancia del cacao para la economía de Ecuador. *Sinergias Educativas*. <https://doi.org/10.37954/se.vi.193>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] (2019). Cacao Híbrido CCN-51 cuenta con certificación de calidad. <https://www.agricultura.gob.ec/cacao-hibrido-ccn-51-cuenta-con-certificacion-de-calidad/>
- Morales C., 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. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b42b7961-cdac-4779-b893-bbfe0a50b10b/content>
- Nazario Naveda, R. R., Gallozzo Cárdenas, M. M., Angelats Silva, L., Mantilla Sifuentes, F. I., Alayo Zavaleta, Y. M., Castillo Ramírez, A. J., Chavín Castillo, C. A., & Durán Zambrano, M. E. (2020). Reforzamiento de películas biodegradables de almidón de semilla de mango mediante la incorporación de extracto de piel de mango para envase activo. En *Actas del 18º LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education & Technology* (pp. 1-8). LACCEI. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.75>
- NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 176 (2015). INEN. <https://repositorio.utec.edu.ec/items/f8546df1-f07e-4f95-9e15-bd53de6d81d3>
- Pacheco Jiménez, A. A., Heredia, J. B., Gutiérrez Grijalva, E. P., Quintana Obregón, E. A., & Muy Rangel, M. D. (2022). Potencial industrial de la cáscara de mango (*Mangifera indica* L.) para la obtención de pectina en México. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 25, e419. <https://doi.org/10.25100/tip.v25i3.12503>

- Palacios García, A. M., Quevedo Guerrero, J. N., & Rodríguez Delgado, I. (2021). FETENSECA: Alternativa para mejorar la calidad sensorial del cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivar CCN-51. *Manglar*, 18(4), 411-417. <https://doi.org/10.17268/manglar.2021.053>
- Pérez Pereira, C. P. M. R. (2023). Sistema de clasificación del cacao en la prueba de corte implementando procesamiento digital de imágenes [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio institucional Universidad Distrital. <https://repository.udistrital.edu.co/items/e5700bcc-82ed-4cc1-bf2b-7aefd92026b7/full> Revistas UNAMAD+8RIUD+8Revista SCCA+8
- Pérez, Elevina, Guzmán, Romel, Álvarez, Climaco, Lares, Mary, Martínez, Kenia, Suniaga, Germán, & Pavani, Angélica. (2021). Cacao, cultura y patrimonio: un hábitat de aroma fino en Venezuela. *RIVAR* (Santiago), 8(22), 146-162. <https://dx.doi.org/10.35588/rivar.v8i22.4781>
- Piamba, M. Á. (2023). Residuos sólidos y contaminación ambiental de la quebrada La Yunguilla en la Institución Educativa Técnica Agroindustrial Venecia, sede principal. *Ciencia Latina de Tecnología, Innovación y Sociedad*, 10(3), 45-58. <https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/6850>
- Putri Maharani S. D., Damat D., Ekawati, I., Dwi Siskawardani, D., Budy Wiryono, A., Munsif, F., & Utomo, B. (2024). A Short Review: Changes in the Physical-Chemical Properties of Cacao Beans During the Fermentation Process. *BIO Web Conf.* 104, 00032. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410400032>
- Ríos Jara, J. L., & Lévano Rodríguez, D. (2022). Importancia de los dispositivos usados en la fermentación de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 2(1), e281. <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.281>
- Rios Jara, J., & Lévano Rodríguez, D. (2022). Importancia de los dispositivos usados en la fermentación de Cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 2(1), e281. <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.281>
- Robinson A. J. M. (2021). Análisis de los tres tipos de fermentación de cacao en la provincia de Los Ríos [Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Babahoyo]. Repositorio DSpace UTB. Recuperado 21 de mayo de 2021, de <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/9286> CIA Uagraría+2Pontificia Universidad Javeriana+2Redcol+2
- Rodríguez Galvis, S. A. (2022). Desarrollo de un prototipo de fermentador cilíndrico con control de temperatura, humedad y agitación durante el proceso de

fermentación del cacao. Universidad el Bosque. Bogotá, Colombia <https://repositorio.unbosque.edu.co/server/api/core/bitstreams/8a636dae-651c-4ee5-9fc9-4e1ce037fe88/content>

- Rosales-Valdía, 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/10.29057/icbi.v12i23.12047>
- Rosero García, L. V. (2021). Optimización de la fermentación de cacao (*Theobroma cacao*) de especies cultivadas en los departamentos de Meta y Guaviare Colombia: Revisión de literatura [Trabajo de titulación de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Javeriana.
- Samaniego R., s. D. (2019). Gobernanza de la cadena de cacao en Ecuador. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/c66b9562-ff3f-415a-b21f-281e0eab85e9/content>
- Sánchez, M., Mestanza, C., Vargas, Y., Burbano, R., Calero, A., & Ramirez, C. (2019). Evaluation of the Cocoa Bean (*Theobroma Cacao L.*), using Two Fermentators, Orellana and Sucumbios Provinces, Ecuador. *Int. J. Eng. Res. Technol*, 8(7).
- Sánchez, V., Zambrano, J., y Iglesias, C. (2019). La cadena de valor del cacao en América Latina y el Caribe. Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5382>
- Sosa Tinoco, M. M. (2020). Aproximación al chocolate y promoción del territorio. Un análisis comparativo entre México y España. *Communication Papers. Media Literacy and Gender Studies.*, 9(19). https://doi.org/10.33115/udg_bib/cp.v9i19.22501
- Sun, W., Shahrajabian, M. H., & Lin, M. (2022). Research Progress of Fermented Functional Foods and Protein Factory-Microbial Fermentation Technology. *Fermentation*, 8(12), 688. <https://doi.org/10.3390/fermentation8120688>
- Tababela Cargo Center (27 de mayo del 2025). Cacao ecuatoriano con alto protagonismo en mercados internacionales. TCC. <https://www.tcc.com.ec/cacao-ecuatoriano-con-alto-protagonismo-en-mercados-internacionales/>
- Tagro S., G., Dadie, A., Koffi, K., Dabonne, S., Ban-Koffi, L., Kedjebo, K., & Nemlin, G. (2010). Performance of different fermentation methods and the effect of their duration on the quality of raw cocoa beans, *International Journal of*

Food Science and Technology, 45(2), 2508–2514. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02424.x>

- Thomas, E.; Iman, S., Atkinson, R., Zavaleta, D., Rodriguez Callanaupa, C.A.A., Lastra, S.; Murrieta, E., Farfan Pinedo, A., Castro, J., Ramirez, J., Samanamud, A., Paredes, C., Arango Ledesma, K.L., Cruz, W., Ramirez, M.M., Zhang, D. (2023) Diversidad genética de cacao en el Perú. In: Thomas, Evert; Lastra, Sphyras; Zavaleta, Diego (eds) Catalogo de cacaos de Perú. Lima (Peru): Bioversity International; MOCCA. p. 9-56.
- Valdez F. (2016). Origen de la domesticación del cacao y su uso temprano en Ecuador. Yaguarzongo, 55, 12-14. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers19-08/010076407.pdf
- Valdez, F. (2021). El cacao fino de aroma, el cacao ancestral emblemático del Ecuador. In N. Rebaï, A. G. Bilhaut, C., Édouard De Suremain, E. Katz, & M. Paredes (éds.), Patrimonios alimentarios en América Latina (1-). IRD Éditions. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.43132>
- Vásquez Cortez, L. H., Alvarado Vásquez, K.E., Intriago Flor, F.G., Vera Chang, J. F., Raju Maddela, N., & Prasad, R. (2024). Banana and apple extracts with efficient microorganisms and their effect on cadmium reduction in cocoa beans (*Theobroma cacao* L.). Discov Food 4, 163. <https://doi.org/10.1007/s44187-024-00205-5>
- Vera Chang, J. F., Vásquez Cortez, L. H., Zapata Quevedo, K. L., & Rodríguez Cevallos, S. L. (2024). Caracterización morfológica, fisicoquímica y microbiológica del cacao Macambo (*Theobroma bicolor* Humb & Bonpl.) en Ecuador. Revista Agrotecnológica Amazónica, 4(2), e657. <https://doi.org/10.51252/raa.v4i2.657>
- Vicente Anzules Toala, E. P.-H.-V.-V.-C.-O. (2022). Incidence of “cherelle wilt” and fungal diseases in cacao pods “ccn-51” in santo domingo de los tsáchilas, ecuador. scielo. obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v40n1/0718-3429-idesia-40-01-31.pdf>
- Villamarin Barreiro, J. A., Cano Maquilon, J. L., Cedeño Loja, P., & Arana Vaca, L. A. (2020). Elaboración de chocolate en polvo y en barra artesanal como una alternativa para los pequeños emprendedores de la ciudad de Babahoyo. Revista Pertinencia Académica, 4(5), 157–172. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/rpa/article/view/2547>
- Villanueva G., M. E. (2020). Revisión de Literatura: Alimentos funcionales en la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles y propuesta de

elaboración de chocolate funcional en la EAP, Zamorano. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

- Walton, M., Hall, J., Guest, D., Butubu, J., Vinning, G., Black, K., & Beardsley, J. (2020). Applying one health methods to improve cocoa production in Bougainville: A case study. *One health* (Amsterdam, Netherlands), 10, 100143. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2020.100143>
- Zamudio Galo, M., Serna Lagunes, R., Andrés Meza, P., Galindo Tovar, M. E., Del Rosario Arellano, J. L. & Cruz-Castillo, J. G. (2024). Factores edafoclimáticos y productividad de tres variedades de mango (*Mangifera indica* L) en Veracruz, México. *Acta Agronómica*, 72(2), 146–155. <https://doi.org/10.15446/acag.v72n2.111668>
- Zamudio Palacios B. B., Ayora Talavera T. del R., Lugo Cervantes E. del C., Taillandier P., & Gastélum Martínez, E. (2021). Estudio de un consorcio de levaduras durante la fermentación de cacao y su efecto en la generación de compuestos aromáticos. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 6, 62-74. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume6/6/2/9.pdf>
- Zequeira Larios, C., Beauregard Solís, G., Arieta Baizabal, V., Gallegos Gómora, M. J., Armijo Torres, R., Ruz, M. H., Cámara-Córdova, J., Mata Zayas, E. E., Valenzuela-Córdova, B., Cadenas-Madrigal, C., Moreno-Jiménez, V., Díaz-López, H., Luna-Ruíz, R., Moguel-Ordoñez, E., Villanueva-García, C., Gómez-Rivera, A., Lobato-García, C. E., García-Alamilla, P., Carrera-Lanestosa, A., ... López Rodríguez, R. (2024). El Cacao tabasqueño: de los olmecas a nuestro tiempo. *Universidad Juárez Autónoma de Tabasco*. <https://doi.org/10.19136/ect120424a0>



Aroma, Ciencia y Tradición: Nuevas fronteras en la fermentación del cacao

En los suelos fértiles de Ecuador, donde la lluvia y el sol nutren los campos con generosidad, crece una de las joyas más preciadas del trópico: el cacao. Más allá de su valor comercial o de su sabor inconfundible, el cacao representa un legado cultural que se transmite en el olor de las mazorcas recién cortadas, en la sabiduría de quienes lo fermentan con intuición, y en las manos de los artesanos que lo transforman en chocolate.

ISBN: 978-9942-626-37-0



9 789942 626370


EDICIONES
GESICAP

CONTÁCTANOS

 +593 983116583

 ediciones@gesicap.com

<https://edicionesgesicap.com/>