UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente

Carrera de Agroindustrias

Tema:

MEJORAMIENTO DE LOS RASGOS SENSORIALES DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.), TRATADO CON *Acetobacter aceti* MEDIANTE FERMENTACIÓN CONSISTENTE.

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingenieras Agroindustriales otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de Agroindustrias.

Autoras:

Daniela Estefanía Párraga Cedeño

Karla Elizabeth Moreira Acosta

Director:

Ing. Isidro Favián Bayas Morejón PhD.

Guaranda - Ecuador

2024

MEJORAMIENTO DE LOS RASGOS SENSORIALES DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.), TRATADO CON *Acetobacter aceti* MEDIANTE FERMENTACIÓN CONSISTENTE

REVISADO Y APROBADO POR:

Ing. Isidro Favián Bayas Morejón PhD.
DIRECTOR

Ing. José Luis Altuna Vásquez. MSc.
REDACCIÓN TÉCNICA

Ing. Darwin Alberto Núñez Torres. MSc.
BIOMETRISTA

CERTIFICACIÓN DE AUTORIA

Yo, Karla Elizabeth Moreira Acosta, con CI 1207009711 y Daniela Estefanía Párraga Cedeño, con CI 0940724438, declaramos que el trabajo y los resultados presentados en este informe, no han sido previamente presentados para ningún grado o calificación profesional; y, que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas y citadas con su respectivo autor(es).

La Universidad Estatal de Bolívar, puede hacer uso de los derechos de publicación correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, su Reglamentación y la Normativa Institucional vigente.

Karla Elizabeth Moreira Acosta
C.I: 120700971-1

Daniela Estefanía Párraga Cedeño
C.I: 094072443-8

NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA

Ing. Isidro Favián Bayas Morejón PhD.
DIRECTOR

ESCRITURA N° 20240201004P01267

DECLARACIÓN JURAMENTADA

OTORGAN:
KARLA ELIZABET MOREIRA ACOTA Y
DNIELA ESTEFANIA PARRAGA CEDEÑO
CUANTÍA: INDETERMINADA
Di 2 COPIA

P.A.

En el Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy miércoles a los cuatro días del mes de diciembre del año dos mil veinticuatro, ante mi **DOCTORA MS. GINA LUCIA CLAVIJO CARRION, NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA,** comparecen con plena capacidad, libertad y conocimiento, a la celebración de la presente escritura, la señorita **KARLA ELIZABETH MOREIRA ACOSTA**, de estado civil casada y **DANIELA ESTEFANIA PARRAGA CEDEÑO,** de estado civil soltera, ambas partes por sus propios y personales derechos en calidad de OTORGANTES. Las comparecientes declaran ser de nacionalidad ecuatoriana, mayores de edad, de estado civil como se deja expresado, de ocupación estudiantes ambas partes, domiciliada la primera en comparecer en la parroquia Zapotal, cantón Ventanas, provincia Los Ríos y de paso por este cantón Guaranda, provincia de Bolivar, con número celular cero nueve neueve uno nueve uno dos siete nueve seis; y, con correo electrónico chinonis110888@hotmail.com; y, la segúnda, en comparecer domiciliada en la parroquia Zapotal, cantón Ventanas, provincia Los Ríos y de paso por este cantón Guaranda, provincia de Bolivar, con número celular cero nueve seis dos seis uno dos siete tres uno; y, con correo electrónico esefaniacede93@gmail.com; hábiles en derecho para contratar y contraer obligaciones, a quienes de conocerles doy fe, en virtud de haberme exhibido sus documentos de identificación cuyas copias fotostáticas debidamente certificadas por mi, agrego a esta escritura, a petición de la compareciente se adjunta sus documentos personales como es la cedula y de votación, como documentos habilitantes. Advertidas las comparecientes por mí la Notaria de los efectos y resultados de esta escritura, así como examinadas que fueron en forma aislada y separada de que comparecen al otorgamiento de esta escritura sin coacción, amenazas, temor reverencial, ni promesa o seducción instruidos por mí de la obligación que tienen de decir la verdad con claridad y exactitud; y, advertidos sobre la gravedad del juramento y de las penas de perjurio, me solicitan que recepte su declaración juramentada. Nosotras: la señorita **KARLA ELIZABETH MOREIRA ACOSTA**, de estado civil casada y **DANIELA ESTEFANIA PARRAGA CEDEÑO,** de estado civil soltera declaramos bajo juramento que los criterios e ideas emitidos en el presente proyecto de investigación, es de nuestra absoluta autoría, titulado: **MEJORAMIENTO DE LOS RASGOS SENSORIALES DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.) TRATADO CON *Acetobacter Aceti* MEDIANTE FERMENTACIÓN CONSISTENTE.** Previo a la obtención del título de Ingerías Agroindustriales, otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente.- Es todo cuanto podemos declarar en honor a la verdad.- Para su celebración y otorgamiento se observaron los preceptos de ley que el caso requiere y leída que les fue íntegramente a las comparecientes por mí la Notaria, aquellas se afirman y ratifican en la aceptación de su total contenido y firman junto conmigo en unidad de acto, incorporando al protocolo de esta Notaria la presente escritura de Declaración Juramentada, de todo lo cual doy Fe.----------

SRA. KARLA ELIZABETH MOREIRA ACOSTA.
C.C. 120700971-1

SRTA. DANIELA ESTEFANIA PARRAGA CEDEÑO.
C.C. 094072443-8

DOCTORA MSc. GINA CLAVIJO CARRION
NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA

NOTARIA CUARTA DEL CANTÓN GUARANDA

MEJORAMIENTO DE LOS RASGOS SENSORIALES DEL CACAO (Theobroma cacao L.), TRATADO CON Acetobacter aceti MEDIANTE FERMENTACIÓN CONSISTENTE.

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%	7%	2%	1%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	dspace.ueb.edu.ec Fuente de Internet	6%
2	dspace.espoch.edu.ec Fuente de Internet	1%

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 1%
Excluir bibliografía	Activo		

Ing. Isidro Favián Bayas Morejón PhD.
DIRECTOR

Recibo digital

Este recibo confirma quesu trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	VÍCTOR ALEJANDRO BÓSQUEZ BARCENES
Título del ejercicio:	55
Título de la entrega:	MEJORAMIENTO DE LOS RASGOS SENSORIALES DEL CACAO (...
Nombre del archivo:	TESIS_TRABAJO_FINAL_CORRECCION_IMPRIMIR_OCTUBREEE...
Tamaño del archivo:	3.17M
Total páginas:	119
Total de palabras:	22,818
Total de caracteres:	121,455
Fecha de entrega:	03-dic.-2024 09:07p. m. (UTC-0600)
Identificador de la entre...	2539982839



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR
Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente Carrera de Agroindustrias

Tema:
MEJORAMIENTO DE LOS RASGOS SENSORIALES DEL CACAO (*Theobroma cacao L.*), TRATADO CON *Acetobacter aceti* MEDIANTE FERMENTACIÓN CONSISTENTE.

Proyecto de Investigación previo a la obtención del Título de Ingenieras Agroindustriales otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de Agroindustrias.

Autoras:
Daniela Estefanía Párraga Ceñeño
Karla Elizabeth Moreira Acosta

Director:
Ing. Isidro Favián Bayas Morejón PhD.

Guaranda - Ecuador
2024

Ing. Isidro Favián Bayas Morejón PhD.
DIRECTOR

Derechos de autor 2024 Turnitin. Todos los derechos reservados.

DEDICATORIA

Con amor incondicional dedico esta tesis a Dios, y todas las personas que han sido parte fundamental en la culminación de esta tesis.

Posteriormente, mi querida y amada madre: Joconda Isabel Moreira, quien me dio su apoyo económico, incondicional y comprensión a lo largo de todo este proceso. Su amor, paciencia y aliento constante han sido mi mayor fuente de motivación.

Como no olvidarme de mi ángel que, aunque no esté entre nosotros se allá muertos este esfuerzo va dedicado para mi tío Antonio Moreira, me brindo el apoyo que necesite convirtiéndose en mi padre.

A mi esposo: Héctor García quien me motivo en cada momento a terminar esta meta brindándome su apoyo incondicional, económico y de manera especial a mis pequeños hijos: Analy García y Josué García, quienes son el motivo e inspiración en este proceso de alcanzar la meta propuesta.

A mis hermanos: Tanía, Marcelo, Lorena y Leonardo, a mis sobrinos que mis pasos se reflejen como un ejemplo a seguir.

A mis profesores y mentores, por su guía experta, sus sugerencias acertadas y por desafiarme a alcanzar mi máximo potencial. Su compromiso con mi desarrollo académico ha sido una fuente constante de inspiración.

Finalmente, a todos aquellos que, de una manera u otra, contribuyeron al desarrollo de esta investigación. Sus aportaciones y conocimientos han sido cruciales para la realización de este proyecto.

Con gratitud,

Karla Elizabeth Moreira Acosta

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios porque él me dio las fuerzas para seguir adelante, por brindarme la sabiduría necesaria para decir si puedo y lograr mi objetivo para poder culminar mi carrera y ser una profesional.

A mis amados padres, Ángel Polivio Párraga Zambrano y Nellita del Carmen Cedeño Bermúdez, por su amor incondicional, su confianza y su constante apoyo moral, espiritual y económico a lo largo de este viaje académico. Su sacrificio y aliento han sido mi mayor fortaleza.

Mis hermanos, primos y demás familiares que tomen este ejemplo que con perseverancia y fortaleza podemos conseguir nuestros objetivos.

Como no mencionar a mí esposo Robinson Rodrigo Burgos Aguirre, que estuvo conmigo en cada momento que lo necesite, por brindarme su soporte para poder llegar a mi meta y a mis pequeños hijos; Josthyn Isaías Espinoza Párraga y Dominick Ezequiel Burgos Párraga que son fuentes de mi inspiración para alcanzar mi objetivo tan anhelado.

A mis profesores y mentores, quienes con su dedicación, conocimientos y orientación han sido fundamentales en mi formación. Gracias por inspirarme a superar mis límites y por ofrecerme las herramientas necesarias para el desarrollo de este trabajo.

Con gratitud y reconocimiento,

Daniela Estefanía Párraga Cedeño

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento y respeto a cada uno de los miembros que nos ayudaron con amor y paciencia a realizar este trabajo de tesis, Universidad Estatal de Bolívar.

Ing. José Luis Altuna Vásquez MSc. Decano de la Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente.

Ing. Isidro Favián Bayas Morejón PhD. Director de Tesis, que con cariño y paciencia nos guío paso a paso en la investigación.

Ing. José Luis Altuna Vásquez MSc. Redacción Técnica, por las observaciones en los análisis e interpretación en los resultados obtenidos.

Ing. Darwin Alberto Núñez Torres MSc. Biometrísta, por su aporte en la metodología y redacción de la tesis.

A todos y a cada uno de los catedráticos que nos inculcaron sus conocimientos para ser de esta tesis un trabajo de excelencia.

De manera especial a mi compañera de tesis Daniela Estefanía Párraga Cedeño, quien ha sido mi guía y amiga desde el día uno en la universidad y hoy juntas culminaremos esta meta.

A mis familiares por el apoyo económico, emocional, y han sabido brindarme su apoyo comprensión y aliento.

A las instituciones que me dieron el apoyo de hacer las practicas preprofesionales, vinculación y proyecto de investigación.

Karla Elizabeth Moreira Acosta

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo agradezco a Dios, quien como guía estuvo presente en el caminar de mi vida, así mismo a cada uno de los miembros que nos ayudaron con amor y paciencia a realizar este trabajo de tesis, Universidad Estatal de Bolívar.

Ing. José Luis Altuna Vásquez MSc. Decano de la Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente.

Ing. Isidro Favián Bayas Morejón PhD. Director de Tesis, que con cariño y paciencia nos guío paso a paso en la investigación.

Ing. José Luis Altuna Vásquez MSc. Redacción Técnica, por las observaciones en los análisis e interpretación en los resultados obtenidos.

Ing. Darwin Alberto Núñez Torres MSc. Biometrísta, por su aporte en la metodología y redacción de la tesis.

A todos y a cada uno de los catedráticos que nos inculcaron sus conocimientos para ser de esta tesis un trabajo de excelencia.

No puedo dejar de agradecer especialmente a Karla Moreira Acosta, mi compañera fiel y guía quien nos hemos demostrado apoyo mutuo en la Universidad y hoy juntas culminaremos esta meta.

A mis padres; por ser el pilar fundamental y económico, emocional, y a mis demás familiares por ese aliento que me sostiene siempre de pie.

De la misma manera y agradecimiento a las instituciones que me dieron el apoyo de hacer las practicas preprofesionales, vinculación y proyecto de investigación.

Daniela Estefanía Párraga Cedeño

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I 1
1.1 INTRODUCCIÓN 1
1.2 PROBLEMA 4
1.3 OBJETIVOS 6
1.3.1 Objetivo general 6
1.3.2 Objetivos específicos 6
1.4 HIPÓTESIS 7
1.4.1 Hipótesis nula 7
1.4.2 Hipótesis alterna 7
CAPÍTULO II 8
MARCO TEORICO 8
2.1 Cacao (*Theobroma cacao* L.) 8
2.1.1 Descripción taxonómica 9
2.1.2. Descripción morfológica 10
2.2 Tipos de cacao producidos en el Ecuador 12
2.2.1 Cacao Nacional (fino y de aroma) 12
2.2.2 CCN-51 12
2.3 Importancia de cacao fino de aroma 13
2.3.1 Producción en el Ecuador 14
2.4. Proceso de fermentación del cacao 17
2.4.1 Importancia de la fermentación en el sabor del chocolate 20
2.4.2 Tipos de fermentación 20
2.4.3 Métodos de fermentación del cacao 23
2.4.4 Importancia del *Acetobacter aceti* en la fermentación del cacao 25
2.5 Productos elaborados a partir del cacao 26
2.5.1 Licor de cacao 26
2.5.2 Torta de cacao 26
2.5.3 Chocolate 27

2.6 Beneficios para la salud 28
CAPITULO III 30

MARCO METODOLÓGICO 30
3.1. Características y ubicación de la investigación 30
3.2. Materiales 30
3.2.1 Material experimental 30
3.2.2 Materiales de oficina 30
3.2.3 Materiales de campo 31
3.2.4. Materiales de planta 31
3.2.5 Equipos 32
3.2.6 Reactivos 32
3.3. Factores en estudio 32
3.3.1. Características del experimento 34
3.3.2 Tipo de diseño experimental 34
3.4. Mediciones experimentales 35
3.4.1 Mediciones en la materia prima 35
3.4.2. Mediciones en el producto terminado 36
3.4.3. Mediciones en el mejor tratamiento (barra de chocolate) 37
3.5. Descripción del proceso 38
3.5.1. Obtención del *Acetobacter aceti* 38
3.5.2. Fermentación del cacao 39
3.5.3. Elaboración de la barra de chocolate 41
3.5.4 Diagrama de flujo de la elaboración de la barra de chocolate 44
CAPÍTULO IV 45
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 45
4.1 Analizar la materia prima utilizada para proceso de fermentación consistente. 45
4.1.1. Determinación de pH en el grano fresco 45
4.1.2. Determinación de los grados brix en el mucilago del grano fresco 46
4.1.3. Determinación de la humedad del grano fresco 46

4.1.4. Estado de madurez de la mazorca de cacao 47
4.2 Establecer el mejor parámetro de fermentación del cacao 48
4.2.1. Prueba de corte en el grano fermentado 48
4.2.2. Humedad del grano fermentado 49
4.2.3. Determinación de pH en el grano fermentado 52
4.3 Caracterizar química, física y sensorialmente los tratamientos para determinar cuál es el mejor 54
4.3.1 Determinación del pH de la barra de chocolate 54
4.3.2 Determinación de la acidez de la barra de chocolate 57
4.3.3 Determinación de grados brix de la barra de chocolate 59
4.3.4 Caracterización sensorial (color, olor, sabor, textura, aceptabilidad) 61
4.3.5 Análisis microbiológico *(E. coli)* 69
4.4 Determinar la relación costo-beneficio del mejor tratamiento 71
CAPÍTULO V 74
COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS 74
5.1 Hipótesis nula 74
5.2 Hipótesis alternativa 74
CAPÍTULO VI 76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 76
6.1 Conclusiones 76
6.2 Recomendaciones 78
BIBLIOGRAFÍA 80
ANEXOS 88
Anexo 1: Mapa de ubicación del experimento 88
Anexo 2: Combinación de factores 89
Anexo 3: Base de datos 90
Anexo 4: Ficha de evaluación sensorial del producto terminado 95
Anexo 5: Fotografías del proceso investigativo 96
Anexo 6: Glosario de Términos 99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Descripción taxonómica de la planta de cacao 9
Tabla 2: Factores en estudio a desarrollar en la investigación 33
Tabla 3: Tratamientos a desarrollar en la investigación 33
Tabla 4: Grados de libertad para el diseño experimental 34
Tabla 5: Valores de pH, º brix, humedad de los granos de cacao fresco 45
Tabla 6: Valores de humedad del grano de cacao fresco 47
Tabla 7: Prueba de corte en el grano fermentado 49
Tabla 8: Determinación de humedad (%) en el grano fermentado 50
Tabla 9: Análisis de varianza para la humedad del grano fermentado 50
Tabla 10: Prueba de Tukey para la humedad del grano fermentado 51
Tabla 11: Valores de pH de los granos de cacao fermentados 52
Tabla 12: Análisis de varianza para el pH del grano fermentado 53
Tabla 13: Prueba de Tukey para la pH del grano fermentado 53
Tabla 14: Valores de pH de la barra de chocolate 55
Tabla 15: Análisis de varianza para el pH de la barra de chocolate 55
Tabla 16: Prueba de Tukey para el pH de la barra de chocolate 56
Tabla 17: Valores de acidez (%) de la barra de chocolate 57
Tabla 18: Análisis de varianza para la acidez (%) de la barra de chocolate 58
Tabla 19: Prueba de Tukey para la acidez de la barra de chocolate 58
Tabla 20: Valores de grados brix de la barra de chocolate 59
Tabla 21: Análisis de varianza para los grados brix de la barra de chocolate 60
Tabla 22: Prueba de Tukey para los grados brix de la barra de chocolate 60
Tabla 23: Evaluación sensorial de la barra de chocolate 62
Tabla 24: Análisis de varianza para el atributo color 62
Tabla 25: Prueba de Tukey para el color de la barra de chocolate 63
Tabla 26: Análisis de varianza para el atributo olor 64
Tabla 27: Prueba de Tukey para el olor de la barra de chocolate 64
Tabla 28: Análisis de varianza para el atributo sabor 65

Tabla 29: Prueba de Tukey para el sabor de la barra de chocolate 66
Tabla 30: Análisis de varianza para el atributo textura 66
Tabla 31: Prueba de Tukey para la textura de la barra de chocolate 67
Tabla 32: Análisis de varianza para el atributo aceptabilidad 68
Tabla 33: Prueba de Tukey para la aceptabilidad de la barra de chocolate..... 69
Tabla 34: Análisis microbiológico (E. coli) a los tratamientos 69
Tabla 35: Costos de materia e insumo para la elaboración de la barra de chocolate .. 71
Tabla 36: Costos de mano de obra para la elaboración de la barra de chocolate 71
Tabla 36: Costos de agua requerida para el proceso 72
Tabla 37: Costos de energía eléctrica requerida para el proceso..... 72
Tabla 38: Calculo de la depreciación de equipos utilizados..... 72
Tabla 39: Comprobación de la hipótesis 74

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Superficie sembrada porcentual en el Ecuador 15
Gráfico 2: Escala de madurez de la mazorca de cacao..... 48
Gráfico 3: Análisis microbiológico de los tratamientos para elaborar la barra de chocolate..... 70

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Mapa de ubicación del experimento 88
Anexo 2: Combinación de factores 89
Anexo 3: Base de datos 90
Anexo 4: Ficha de evaluación sensorial del producto terminado 95
Anexo 5: Fotografías del proceso investigativo 96
Anexo 6: Glosario de Términos 99

RESUMEN

Esta investigación se desarrolló en dos escenarios, la fase experimental se realizó en el Recinto Pasaje A, Cantón Ventanas, Provincia de Los Ríos, "Asociación Moradores Unión y Progreso" y los análisis físico, químico y microbiológicos se realizaron en los laboratorios de investigación de la Universidad Estatal de Bolívar. El objetivo general fue: Mejorar los rasgos sensoriales del cacao, utilizando *Acetobacter aceti* mediante fermentación consistente y los objetivos específicos: 1) Analizar la materia prima utilizada para el proceso de fermentación consistente, 2) Establecer el mejor parámetro de fermentación del cacao, 3) Desarrollar una barra de chocolate, 4) Caracterizar química, física y sensorialmente los tratamientos para determinar cuál es el mejor y 5) Determinar la relación costo-beneficio del mejor tratamiento. Se planteó un Diseño Completamente al Azar (DCA) evaluando los factores: A) tipo de fermentador, B) tiempo de fermentación y C) porcentaje de *Acetobacter aceti*. Los resultados obtenidos determinaron que los granos de cacao se encontraron dentro del rango de aceptación de pH (6-6,5), grados brix (12 a 18), humedad (45 - 60%) y estado de madurez de alta calidad (grado 5). El mejor parámetro de fermentación fue de 96 horas en vista que los granos de cacao presentaron un color marrón uniforme lo que evidenció un proceso completo y un desarrollo adecuado de los precursores de sabor. La barra de chocolate presentó parámetros de calidad óptimos pH (5,8) y (0,42%). En la evaluación sensorial el tratamiento 8 ($A_2B_2C_2$) obtuvo la mejor valoración (4,9) para los atributos color, olor, sabor, textura y aceptabilidad sobre una escala hedónica de 5 puntos, por lo tanto, se determinó que el tratamiento 8 fue el mejor ya que los mejores resultados se obtuvieron a partir de: fermentación en sacos de yute + 96 horas de fermentación + 5% de *Acetobacter aceti*. La relación costo - beneficio del mejor tratamiento fue de 0,70 centavos de dólar; lo que significa que, por cada dólar invertido en costos de producción, se obtiene un beneficio de 0,66 centavos.

Palabras clave: cacao, rasgos sensoriales, fermentación consistente, *Acetobacter aceti.*

SUMMARY

This research was developed in two scenarios, the experimental phase was carried out in the Pasaje A, Canton of Ventanas, Province of Los Ríos, "Association Moradores Unión y Progreso" and the physical, chemical and microbiological analyses were carried out in the research laboratories of the State University of Bolivar. The general objective was: to improve the sensory traits of cocoa, using Acetobacter aceti through consistent fermentation and the specific objectives: 1) Analyze the raw material used for the consistent fermentation process, 2) Establish the best cocoa fermentation parameter, 3) Develop a chocolate bar, 4) Characterize chemically, physically and sensorially the treatments to determine which is the best and 5) Determine the cost-benefit ratio of the best treatment. A Completely Randomized Design (CRD) was used to evaluate the following factors: A) type of fermenter, B) fermentation time and C) percentage of Acetobacter aceti. The results obtained determined that the cocoa beans were found to be within the acceptable range of pH (6-6.5), brix degrees (12 to 18), moisture (45 - 60%) and high-quality maturity stage (grade 5). The best fermentation parameter was 96 hours in view of the fact that the cocoa beans presented a uniform brown color, which evidenced a complete process and adequate development of the flavor precursors. The chocolate bar presented optimal quality parameters pH (5.8) and (0.42%). In the sensory evaluation, treatment 8 (A2B2C2) obtained the best valuation (4.9) for the attributes color, odor, flavor, texture and acceptability on a 5-point hedonic scale; therefore, it was determined that treatment 8 was the best since the best results were obtained from: fermentation in jute bags + 96 hours of fermentation + 5% *Acetobacter aceti*. The cost-benefit ratio of the best treatment was 0,66 cents, which means that for every dollar invested in production costs, a benefit of 0,66 cents was obtained.

Key words: cocoa, sensory traits, consistent fermentation, *Acetobacter aceti*.

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

El consumo de cacao, ha desempeñado un papel significativo en la historia de la humanidad y continúa siendo un componente esencial de nuestra cultura y economía en la actualidad. Desempeña un papel fundamental en la economía mundial como uno de los productos agrícolas más comercializados a nivel internacional, ya que su producción y comercialización benefician a numerosos países productores y consumidores, resaltando los potenciales beneficios para la salud (Mendoza, et al., 2022).

A nivel mundial, el consumo de chocolate y productos derivados del cacao, ha ido en aumento durante las últimas décadas. Se estima que cada año se consumen más de 7 millones de toneladas de chocolate a nivel mundial. Este incremento se debe en parte al crecimiento de la población mundial y al aumento de la urbanización, que ha llevado a una mayor disponibilidad y accesibilidad de productos de cacao y chocolate en todo el mundo (Sornoza, y otros, 2022) A nivel económico, el cacao es un componente clave de la industria alimentaria global. Genera miles de millones de dólares en ingresos y empleo en todo el mundo, involucrando a una extensa cadena de producción que incluye a agricultores, procesadores, fabricantes de productos de chocolate y minoristas (Pérez, y otros, 2021).

Gran parte de América Latina, es una región importante en la producción de cacao a nivel mundial, pero Ecuador (32%), Perú (30%), y República Dominicana (19%), tienen una presencia significativa en la producción de cacao de alta calidad. Aunque Latinoamérica es una región productora, también es un consumidor significativo de productos de cacao y chocolate. Brasil, por ejemplo, es uno de los mayores consumidores de chocolate en la región con el 42% (Cañarte, et al., 2021). En este contexto, Los mercados internacionales, demandan cacao latinoamericano para la producción de chocolate y otros productos de cacao. Los consumidores y productores

de chocolate buscan cada vez más cacao de origen latinoamericano debido a su calidad y sabor distintivos.

El Ecuador es uno de los principales productores de cacao a nivel mundial, produce principalmente dos tipos de cacao que se consideran de alta calidad: el cacao Arriba (fino y de aroma) y el cacao Nacional CCN 51 (Colección Castro Naranjal, Árbol 51), sin embargo, es conocido por producir cacao fino de aroma, especialmente en la región de la Amazonía y la provincia de Guayas, en la costa. Otras provincias, como Manabí y Los Ríos, también son importantes productoras. La producción de cacao es una parte importante de la economía ecuatoriana. El Ecuador ha experimentado un crecimiento significativo en la producción de cacao (32%) y exportación de chocolate de alta calidad (16%) en los últimos años (Mendoza, et al., 2021).

Con relación a la exportación de cacao, se registran volúmenes generales de 260.000 toneladas métricas de grano de cacao y diversos productos derivados del mismo cada año. Las variedades mayormente exportadas son: 47% de cacao nacional fino y de aroma, 30% cacao de la variedad CCN 51 (Colección Castro Naranjal, Árbol 51), 18% de la variedad de cacao fino y de aroma (superior selecto), 5% de cacao fino y de aroma (superior summer selecto) y apenas el 0.8% de productos con valor agregado como tabletas de chocolate, coberturas y bombones. Es así que, el cacao fino y de aroma son variedades conocidas por sus sabores distintivos y se utilizan en la producción de chocolate de alta gama.

Es por ello, que el Ecuador se ha esforzado en promover prácticas agrícolas sostenibles en la producción de cacao, desarrollado programas de certificación orgánica y de comercio justo, lo que ha contribuido a la preservación de la biodiversidad y al bienestar de los agricultores. A pesar de su éxito, la industria cacaotera de Ecuador enfrenta desafíos, como la necesidad de mejorar la productividad y la calidad del grano,

así como de fortalecer la cadena de valor para que los beneficios lleguen de manera equitativa a los productores.

En definitiva, el desarrollo de estudios sobre el cacao y sus derivados, es de vital importancia tanto a nivel económico, social, ambiental y de salud. Estos estudios, ayudan a comprender mejor su producción, comercialización y valor mercantil, lo que puede conducir a un desarrollo económico sostenible, además, es esencial para preservar este patrimonio y comprender su importancia en la identidad cultural de muchas comunidades del Ecuador.

1.2 PROBLEMA

La fermentación del grano de cacao es una etapa del proceso agroindustrial muy importante en el que, mediante la intervención de levaduras, bacterias acido lácticas y bacterias acéticas, se desencadena una serie de reacciones bioquímicas que dan como resultado los compuestos llamados "precursores del aroma y sabor" (Díaz & Hernández, 2020).

Es por ello que la fermentación del cacao es un paso crítico en la producción de chocolate de alta calidad, pero también puede ser una etapa delicada que enfrenta varios problemas y desafíos ya que realizar una fermentación deficiente le confiere características de sabor y olor desagradables, así como eleva la astringencia y la acidez afectando directamente la calidad sensorial del grano y por ende del producto final (Brunetto et al, 2020).

Por lo tanto, durante este proceso se pueden llevar 2 tipos de fermentación: 1) fermentación incompleta, que es uno de los problemas más graves, en vista que, si no se permite que los granos de cacao fermenten lo suficiente, el sabor y el aroma del chocolate final pueden ser desagradables. Esto puede deberse a una duración insuficiente de la fermentación o a una fermentación inadecuada debido a factores como la humedad insuficiente o la temperatura incorrecta, 2) fermentación excesiva o también conocida como sobre fermentación, ocasionada cuando los granos de cacao se fermentan durante demasiado tiempo o a temperaturas demasiado altas; pueden adquirir un sabor amargo y astringente, lo que afectará negativamente la calidad del chocolate (Ríos & Lévano, 2022).

De la misma manera, la contaminación por microorganismos no deseables, como bacterias y hongos, puede ocurrir durante la fermentación si no se toman medidas adecuadas de higiene y control, esto puede alterar la calidad y el sabor del cacao fermentado. Generalmente esto suele ocurrir cuando se produce una manipulación incorrecta de los granos de cacao durante la fermentación, como un apilamiento

inadecuado o una falta de aireación, puede provocar problemas relacionados con una calidad deficiente.

Por otra parte, el aplicar y desarrollar una metodología inapropiada, caracterizada por la falta de monitoreo y control adecuado durante el proceso de fermentación, puede conllevar a problemas no detectados hasta que sean demasiado tarde para corregirlos, generalmente estos problemas se presentan cuando no se lleva a cabo un registro de los parámetros clave, como el tiempo y condiciones de fermentación (García, et al., 2021). A esto se suma las situaciones climáticas del lugar donde se lleva a cabo el proceso productivo, pues en regiones con lluvias impredecibles o variaciones de temperatura extremas, puede ser difícil lograr una fermentación uniforme y, por ende, existirá problemas con el producto final.

Es así que no seguir prácticas de fermentación cuidadosas y controladas, incluyendo el uso de materiales limpios, monitoreo constante del tiempo de fermentación, y aplicación de buenas prácticas de manufactura en cada paso del proceso, limitará la capacidad técnica y operativa para realizar una fermentación eficiente que garantice la calidad del chocolate elaborado.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Mejorar los rasgos sensoriales del cacao, utilizando *Acetobacter aceti* mediante fermentación consistente.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar la materia prima utilizada para el proceso de fermentación consistente.
- Establecer el mejor parámetro de fermentación del cacao.
- Desarrollar una barra de chocolate.
- Caracterizar química, física y sensorialmente los tratamientos para determinar cuál es el mejor.
- Determinar la relación costo-beneficio del mejor tratamiento.

1.4 HIPÓTESIS

En este tema de investigación se plantearon las hipótesis que se detallan a continuación:

1.4.1 Hipótesis nula

H_o = La adición de *Acetobacter aceti* al proceso de fermentación, no mejora las características sensoriales del cacao.

$$T_1 = T_2 = T_{3.....} = T_n$$

1.4.2 Hipótesis alterna

H_a = La adición de *Acetobacter aceti* al proceso de fermentación, mejora las características sensoriales del cacao.

$$T_1 \neq T_2 \neq T_{3.....} \neq T_n$$

CAPÍTULO II
MARCO TEORICO

2.1 Cacao (*Theobroma cacao* L.)

El cacao, científicamente conocido como *Theobroma cacao* L., es un árbol tropical originario de la región amazónica de América del Sur y es ampliamente cultivado en todo el mundo por sus semillas, que se utilizan para producir chocolate y otros productos de cacao. La calidad del sabor del cacao se desarrolla además a partir de la fermentación, secado y buenas prácticas agroindustriales aplicadas durante toda la etapa del proceso productivo (López, et al., 2021).

El cacao es un árbol perenne que puede alcanzar alturas de aproximadamente 15 metros. Sus hojas son grandes y lanceoladas, y las flores crecen directamente en el tronco y las ramas principales. Los frutos del cacao son llamados "mazorcas" y contienen semillas o granos conocidos como "habas de cacao", estas semillas son el ingrediente principal en la producción de chocolate (Abad, et al., 2020). De la misma manera, se encuentran envueltas por un líquido dulce conocido como mucilago, que además le confiere cierto grado calidad al producto y que en muchos casos en considerada como materia prima para la elaboración de otros derivados, como el caso de los licores.

Sus frutos son leñosos en forma de haba alargada y aparecen sobre la copa de los árboles y debajo de sus ramas. Estos frutos, dependiendo el tipo de cacao pueden ser de color amarrillo, blanco, verde o rojo, que oscurece al madurar. La fruta mide entre 10 y 32 cm. de largo y entre 7 y 10 cm. de ancho y pesa entre 200 g. y 1000 g. En su interior contiene entre 20 y 60 semillas dispuestas en 5 filas rodeadas con una pulpa gelatinosa y azucarada. Cuando el fruto está maduro, se corta y se extraen sus semillas, se las fermenta retirando el mucilago de la semilla y se seca. El color interno de grano es de color marrón oscuro y tiene un agradable sabor (Macías, 2022).

El cacao es uno de los cultivos más importantes del mundo. Los principales países productores incluyen Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Nigeria, Camerún, Ecuador y Perú. Estos países son conocidos como los principales productores de cacao a nivel mundial. Por ello, existen diferentes variedades de cacao, siendo dos de las más destacadas el cacao Criollo y el cacao Forastero (Moreno, et al., 2020). En Ecuador el cacao Criollo es conocido como fino y de aroma y se considera uno de los mejores para la producción de chocolate fino, mientras que el cacao Forastero, conocido como CCN51, es más resistente a plagas y enfermedades, pero suele considerarse como un producto de menor calidad (Montaleza, et al, 2020).

2.1.1 Descripción taxonómica

El cacao utilizado para el desarrollo del proceso investigativo, está caracterizado de la siguiente manera:

Tabla 1

Descripción taxonómica de la planta de cacao

Componente	Descripción
Reino	Vegetal
Tipo:	*Espermatofita*
Subtipo:	Angiosperma
Clase:	Dicotiledóneas
Subclase:	Dialipétalas
Orden:	Malvales
Familia:	*Esterculiácea*
Tribu:	*Buettneriea*
Género:	*Teobroma*
Especie:	*Cacao*

Fuente: (Ureta, et al., 2023).

2.1.2. Descripción morfológica

La descripción morfológica del cacao (*Theobroma cacao* L.) se refiere a las características físicas y estructurales de esta planta, incluyendo su aspecto, hojas, flores y frutos. Aquí se presenta una descripción morfológica básica del cacao:

2.1.2.1 Árbol de cacao

El cacao es un árbol perenne que puede alcanzar alturas de hasta 15 metros, aunque en la mayoría de las plantaciones se mantiene a una altura más baja que ronda los 3 metros para facilitar la cosecha. Aunque la altura de la planta de cacao es una característica propia de la variedad cultivada, se realizan una serie de podas para limitar su crecimiento y hacer posible garantizar un control del cultivo durante todas sus fases, facilitando el manejo agronómico, control de plagas y enfermedades y sobre todo la recolección durante la cosecha. (Alcívar, et al.,2021).

2.1.2.2 Hojas

Las hojas del cacao son grandes, simples y lanceoladas, es decir tienen forma de lanza. Generalmente en un 85% de la planta, las hojas presentan una coloración verde oscuro y pueden llegar a medir entre 10 y 30 centímetros de largo. Las hojas están dispuestas de manera alterna a lo largo de las ramas del árbol de manera uniforme. Así mismo, las hojas del cacaotero son caducas (se caen cada cierto tiempo), y por lo general cada dos o tres meses se presentan picos de brotación de nuevas hojas, que reemplazan a las que se caen por el proceso natural de envejecimiento de la planta (Solarte, et al., 2023).

2.1.2.3 Flores

Las flores del cacao son pequeñas y tienen un color blanco amarillento a rosa pálido. Son solitarias y crecen directamente en el tronco y las ramas principales del árbol. Las flores del cacao son interesantes porque crecen directamente en el tronco y

las ramas en lugar de en las puntas de las ramas como es común en muchas otras plantas. En general, son pequeñas, y se ubican en racimos numerosos sobre el tejido maduro, de tronco y ramas, en las yemas axilares donde antes hubo hojas (Avendaño, y otros, 2021).

2.1.2.4 Frutos (mazorcas)

Los frutos del cacao son llamados “mazorcas”. Tienen una forma alargada y pueden medir entre 10 y 30 centímetros de largo. Las mazorcas cambian de color a medida que maduran, pasando de verde a amarillo o rojo, dependiendo de la variedad. Cada mazorca contiene una serie de semillas o granos de cacao, que son las partes comestibles (Marcillo, et al., 2020).

2.1.2.5 Semillas (habas de cacao)

Las semillas o granos de cacao, son lo que se utiliza para producir chocolate. Son de forma ovalada y están rodeadas por una pulpa dulce. Cada mazorca puede contener de 20 a 50 semillas, aunque el número puede variar. Está rodeada de una pulpa blanca, jugosa, cremosa y azucarada, denominada mucílago que está dispuesta de 5 líneas o surcos dentro de la mazorca (Espinoza, 2020).

2.1.2.6 Raíz

Las raíces de la planta del cacao, tienen características fibrosas y pueden extenderse ampliamente en el suelo, abarcando un área aproximada de 1.5 metros y con una profundidad de hasta 3 metros. Estas raíces ayudan a la planta a absorber nutrientes y agua del suelo, y sobre todo brinda una alta capacidad de adherencia al suelo para soportar el peso que implica llevar las mazorcas de cacao y así evitar su perdida postcosecha (García & Quevedo, 2019).

Es importante señalar que, en el Ecuador existen diferentes variedades de cacao, y las características morfológicas en todos sus componentes o en parte de ellos, pueden

variar ligeramente entre planta y planta. Además, el cacao es una planta tropical que requiere condiciones específicas de crecimiento, manejo agronómico definido, y labores culturales adecuadas, incluyendo altas temperaturas y humedad, lo cual representa un factor clave y decisivo para prosperar y producir frutos de calidad, con características físicas y químicas óptimas.

2.2 Tipos de cacao producidos en el Ecuador

El Ecuador es conocido por producir varios tipos de cacao a lo largo de su territorio, sobre todo en la región Costa y Amazonía, algunos de los cuales son altamente valorados en la industria del chocolate debido a sus perfiles de sabor únicos. Los tipos de cacao más destacados en Ecuador son:

2.2.1 Cacao Nacional (fino y de aroma)

También conocido como Arriba cacao, el Cacao Nacional, es uno de los tipos más apreciados en el mundo del chocolate fino. Se cultiva principalmente en la región costera de Ecuador, principalmente en las Provincias de Manabí, Los Ríos y Guayas. El cacao Nacional se caracteriza por su sabor floral, afrutado y suave, con notas de nuez y cítricos. Es conocido por su alta calidad y su uso en la producción de chocolate gourmet, ya que estos cacaos suelen ser apreciados por sus sabores excepcionales y se utilizan en derivados de alta gama (Rojas, 2022).

2.2.2 CCN-51

Este tipo de Cacao, es una variedad que fue desarrollada en el Ecuador, y lleva el nombre entorno a su proceso productivo (Colección Castro Naranjal, Árbol 51) y fue diseñado específicamente para aumentar la productividad y la resistencia a plagas y enfermedades. Aunque es muy apreciado por su alta productividad y versatilidad, no se considera un cacao fino de aroma y tiene un sabor menos distintivo en comparación

con el Cacao Nacional, por lo tanto, se utiliza principalmente para la producción de chocolate de menor costo y calidad (Erazo, et al., 2021).

2.3 Importancia de cacao fino de aroma

Es importante partir este análisis manifestando que la región de África es la mayor productora mundial de cacao, ya que cubre el 71.1% de la demanda global seguido de América Latina con el 16.1%, Asia con el 11.9% y finalmente la región de Oceanía con el 1%.

En este contexto se debe resaltar que los principales países productores de este tipo de cacao son Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Nigeria, Camerún, Brasil, Ecuador y Perú, que en su conjunto concentran aproximadamente el 93% de la producción mundial, durante los últimos 10 años. Cabe recalcar que el Ecuador está considerado como el primer productor de cacao de América latina y el quinto productor a nivel mundial (Bermúdez, 2021).

La producción nacional de cacao fino y de aroma es altamente estimada y demandada, de ahí que su producción varía entre 160 a 200 kilogramos por cada hectárea sembrada durante cada ciclo de cosecha.

Sin embargo, representa apenas el 65% de la capacidad productiva nacional, pues la falta de tecnología para el manejo del cultivo, cosecha y postcosecha, así como para el control de plagas y enfermedades, limita a los productores que este producto pueda ser altamente cultivado y por ende distribuido a las diferentes regiones del mundo que lo demanden (Ramírez, 2023).

Su calidad se debe al proceso de maduración que es lento y dilatado en referencia con otros tipos y variedades de cacao, esto hace que se concentre la mayor cantidad de componentes volátiles que repercuten de manera directa en el sabor y

aroma del chocolate. Asimismo, las características propias de las regiones donde se cultivan hacen que este cacao sea apetecido, ya que las condiciones de altitud, humedad y temperaturas, son las ideales para que se desarrolle de manera efectiva la mazorca y la semilla.

Esto ha llevado a que países como Suiza y Bélgica, sean los mayores demandantes de producto nacional a nivel del mundo, destinando su producción en un 85% a estas regiones (Parada & Velóz, 2021).

Por lo tanto, el Ecuador tiene el liderazgo mundial en torno a la producción y exportación de la variedad de cacao fino y de aroma con más del 60% de la oferta mundial, lo cual le convierte en un país primordial para los productores de chocolate, generando así un incremento de la economía ecuatoriana y por ende un reconocimiento global de la calidad del producto que se cultiva en las diferentes regiones y sectores de nuestro país (Cedeño & Dilas, 2022).

Esto ha conducido a que cacao ocupe el sexto lugar como el producto agrícola de exportación, debido al volumen demandado por los diferentes países del mundo.

2.3.1 Producción en el Ecuador

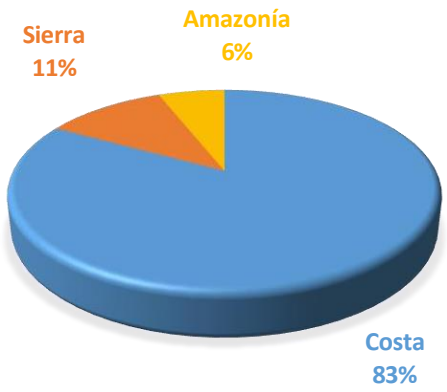
El Ecuador, es uno de los principales productores de cacao fino de aroma del mundo, esto en gran parte se debe a la zona privilegiada en la que se encuentra ubicado pues el contexto geográfico es idóneo para la siembra y producción de cacao con características sensoriales ideales. Siendo la región litoral o costa la que concentra la mayor parte de la superficie sembrada a nivel nacional, pues esta zona alcanza el 83% de la producción interna (Corporación Financiera Nacional, 2020).

En este sentido la producción de cacao que se concentra en esta región donde del país, está distribuida principalmente en las Provincias de Manabí (20%), Los Ríos (18%) Guayas (15%) Santo Domingo de los Tsáchilas (12%), El Oro (9%) y

Esmeraldas (7%) y el porcentaje restante, se distribuye en las otras localidades de la Región interandina o Sierra, distribuidas en menor proporción en las Provincias hora de Cotopaxi Bolívar y Cañar, así como en la región amazónica en las Provincias de Orellana Napo y Zamora Chinchipe (INEC, 2021).

En este sentido la superficie sembrada de cacao en el territorio ecuatoriano se presenta a continuación:

Gráfico 1: *Superficie sembrada porcentual en el Ecuador*



Fuente: INEC (2021).

A partir de estos porcentajes de superficie sembrada, se estima que la producción nacional de cacao alcanzó aproximadamente 202,241 toneladas métricas, derivadas de una superficie sembrada de alrededor de 520,000 hectáreas. Esto resultó en una superficie cosechada de aproximadamente 400,000 toneladas métricas. Los índices de producción indican un crecimiento anual de la superficie sembrada de aproximadamente 15% durante los últimos cinco años, lo que se traduce en una tasa anual del 4.5% (MAG, 2022).

Con relación a la superficie cosechada, se estima un crecimiento anual con relación a los últimos 5 años del 2.35%, esto refleja un incremento en la producción por hectárea de 11.19%, proyectando un área de crecimiento cercana a las 525.000

hectáreas de superficie sembrada y unas 435.000 hectáreas de superficie cosechada, lo cual refleja una producción de aproximadamente 220.000 toneladas métricas. Con todo ello se prevé un rendimiento cercano al 87% es decir 5% más con relación al año 2021 (MAG, 2022).

La mayor parte de las unidades de producción de cacao pertenecen a pequeños productores es decir se estima un 80% los mismos que cuentan con superficies mayores de siembra de aproximadamente 10 hectáreas. De la misma manera el 15% de esta superficie pertenecen a productores que llegan a sembrar entre 10 y 20 hectáreas y el 5% restante corresponde a superficies de siembra de cacao superiores a las 20 hectáreas. Esto evidencia que la mayor parte de plantaciones de cacao tienen aproximadamente 30 años de producción útil y en pequeños porcentajes pertenecen a sembríos que son manejados de manera inconstante mediante técnicas de agricultura sostenible (Ministerio de Producción, et al., 2021).

Durante los últimos 10 años, la siembra y cosecha de cacao se ha ido incrementando de manera exponencial, pues esta fruta se ha convertido en un importante rubro para la economía popular y solidaria de los pequeños productores, pero así mismo, se ha convertido en un importante rubro mercantil para los grandes productores que representan aproximadamente un 10% del incremento del Producto Interno Bruto (PIB), lo que se traduce en la generación de empleo y dinamización de la economía local y nacional. Todo esto representa aproximadamente el 6.33% del suministro total exportable siendo los principales destinos países de la Unión Europea y Estados Unidos de América (ANECACAO, 2021).

Hay que resaltar que cerca del 70% de la producción nacional de cacao fino de aroma producida en diferentes regiones del Ecuador está destinado exclusivamente para la exportación en cuyo destino es utilizado en la elaboración de derivados como el chocolate. El otro 30% de la producción nacional de cacao corresponde a las variedades CCN 51 y otros tipos de cacao de menor calidad, que sencillamente están

destinados para el consumo interno y la elaboración de confitería de calidad media o baja (Parada & Velóz, 2021).

Sin embargo, es importante recalcar que el rendimiento del cacao de la variedad CCN 51, tiene un óptimo rendimiento con respecto al cacao fino de aroma no obstante las características químicas y físicas no son suficientes para proveerle de aroma y sabor característico de un chocolate de alta gama. Es por ello que, este cacao principalmente se siembra en las Provincias de Imbabura, Sucumbíos, Carchi y Santa Elena y sus híbridos también están sembrados en las Provincias de Imbabura, El Oro, Cañar y Santo Domingo, con rendimientos menores al cacao fino de aroma pues su producción se lo realiza mediante sistemas tradicionales o no tecnificados que merman el rendimiento y la calidad (Ramírez, 2023).

Es importante manifestar que el incremento de la superficie sembrada de este rubro agronómico ha ido incrementando de manera paulatina a nivel nacional, debido a la gran demanda que tiene el producto en el mercado internacional y a los precios altos que se pagan por este producto. Además, su importancia radica en la versatilidad de los procesos agroindustriales que permiten obtener una variedad de productos que son altamente demandados por los consumidores.

2.4. Proceso de fermentación del cacao

La fermentación del cacao es un proceso clave en la transformación de las semillas de cacao en el delicioso chocolate que conocemos. A continuación, se describe paso a paso este proceso:

- **Cosecha**

El proceso comienza con la cosecha de las vainas de cacao. Luego se realiza una selección cuidadosamente de las vainas maduras que contienen las semillas de cacao rodeadas de una pulpa dulce y mucilaginosa (Mendoza, et al., 2021).

- **Extracción de Semillas**

Una vez cosechadas las vainas, se abren para extraer las semillas de cacao. Estas semillas son las que se utilizarán para hacer chocolate. La pulpa que las rodea es esencial para la fermentación, ya que contiene azúcares y otros compuestos que contribuyen al sabor final del cacao (Solarte, et al., 2023).

- **Inicio de la Fermentación**

Las semillas de cacao, junto con la pulpa mucilaginosa, se colocan en contenedores, como cajas de madera, sacos de yute o canastos. Aquí comienza el proceso de fermentación de manera natural. Las levaduras y bacterias presentes en el ambiente comienzan a descomponer los azúcares de la pulpa, generando calor y dióxido de carbono (Freire & Díaz, 2022).

- **Mezclado y Aireación**

Es crucial durante la fermentación mezclar las semillas de cacao regularmente para asegurar que todas las semillas estén expuestas al proceso de fermentación de manera uniforme. Además, se permite que el oxígeno ingrese al proceso para facilitar la fermentación aeróbica (Ríos & Lévano, 2022).

- **Control de la Temperatura**

La temperatura es un factor crítico en la fermentación del cacao. Generalmente, se busca mantenerla entre 45°C y 50°C. Este rango puede variar según la región y las preferencias del productor, pero mantener una temperatura constante es esencial para lograr un producto de alta calidad.

- **Duración de la Fermentación**

La fermentación puede durar varios días, generalmente de 2 a 7 días, dependiendo de las condiciones locales y las prácticas del productor. El tiempo de fermentación adecuado es crucial para el desarrollo de los sabores y aromas del cacao. Se considera

que la fermentación está completa cuando las semillas de cacao han adquirido un sabor característico y han perdido su amargor astringente (Cocom, 2021).

Durante esta fase, generalmente el contenido de humedad aproximado de los gránulos es del 60% pues aún mantiene un contenido alto de agua, lo que puede generar contaminación y deteriorar la calidad.

- **Monitoreo y Evaluación**

Durante todo el proceso de fermentación, los productores de cacao deben monitorear de cerca el desarrollo de los sabores y aromas. Este proceso requiere experiencia y conocimiento, ya que el momento preciso de detener la fermentación puede variar según las condiciones locales (Parada & Velóz, 2021).

- **Secado**

Después de la fermentación, las semillas de cacao se extienden al sol o se secan mecánicamente para reducir su contenido de humedad. Esto evita que las semillas se pudran y las prepara para el siguiente paso que es la producción de chocolate. En este caso, el granulo de cacao tiene una humedad extremadamente alta (60%) por lo que se requiere reducirla hasta una humedad aproximada del 8%, esto es ideal para evitar el desarrollo de mohos que deterioran la calidad del producto, así como para facilitar el almacenamiento y transporte (Peña & Prado, 2021).

- **Almacenamiento**

Una vez secas, las semillas de cacao se almacenan en sacos de yute o contenedores adecuados hasta que estén listas para ser procesadas en chocolate. El almacenamiento adecuado es esencial para mantener la calidad de los granos de cacao, por ello deben mantenerse en ambientes frescos y libres de humedad o que esta no sobrepase el 20% (INIAP, 2019).

2.4.1 Importancia de la fermentación en el sabor del chocolate

Como ya se mencionó con anterioridad, la fermentación es un proceso crítico que influye significativamente en el sabor y la calidad del chocolate final. Aquí se detallan algunas de las razones por las cuales la fermentación del cacao es tan importante:

- **Desarrollo de sabores y aromas**

La fermentación es donde se desarrollan gran parte de los compuestos químicos que contribuyen a los sabores y aromas característicos del cacao. Durante este proceso, los azúcares se convierten en ácidos y otros compuestos que añaden complejidad y profundidad al sabor del chocolate.

Según determinan (Erazo, et al., 2021), durante el proceso de secado y tostado, se identifican alrededor de 400 compuestos volátiles aislados de las semillas de cacao, destacando que las familias químicas más representativas que fueron identificadas son: aldehídos fenoles, compuestos azufrados, esteres, cetonas, alcoholes, furanos.

- **Reducción del amargor**

El cacao crudo es amargo y astringente debido a la presencia de taninos. La fermentación esencialmente elimina este amargor, lo que hace que el chocolate sea más agradable al paladar.

- **Eliminación de impurezas**

La fermentación también contribuye a la eliminación de impurezas y sabores indeseables de las semillas de cacao, lo que resulta en un producto de mejor calidad.

2.4.2 Tipos de fermentación

De manera específica, la fermentación inicia cuando de almendras de cacao son depositadas en cajas de madera o simplemente son acumuladas en los mismos sacos

que fueron recolectadas, es ahí donde inicia el proceso de fermentación. Los gránulos son sometidos a altas temperaturas, lo cual provoca que la presencia de levaduras y bacterias propias del producto, intervengan en la degradación del mucilago que rodea a los gránulos (Neira, et al., 2020).

Específicamente, este procedimiento produce la muerte del embrión de las almendras de cacao, asimismo elimina el contenido de mucílago y desencadena la eliminación de una serie de componentes ácidos amargos que se encuentran presentes en la almendra. Es importante mencionar que el proceso de fermentación se desarrolla en varias etapas, en las cuales se producen una serie de cambios físicos y químicos que ocurren en el interior del granulo (Rojas, et al., 2021). Por lo tanto, estas etapas se clasifican de la siguiente manera:

2.4.2.1 Fermentación anaeróbica

Este proceso de fermentación resulta beneficioso para la obtención de un cacao de excelente calidad por ello es muy importante mantener un adecuado control entre la temperatura de fermentación la acción microbiológica y la presencia adecuada de oxígeno, para ello se debe mantener un monitoreo constante del tiempo de exposición. Esta etapa está caracterizada por la producción del siguiente proceso bioquímico (Rodríguez, et al., 2022).

Materia orgánica + microorganismo + nutrientes + H_2O = microorganismos nuevos + materia orgánica resistente + energía + CO_2 + H_2S + NH_3

Es relevante que durante el proceso de fermentación se observen todas las técnicas apropiadas para el manejo correcto de este proceso, pues de ello, dependerá la calidad del producto final, ya que, si no se controlan estas variables, se puede producir una serie de cambios químicos y bioquímicos indeseables, como la pérdida de valor comercial, producción y generación de olores astringentes y desagradables, mala presentación del cacao, así como también la presencia de procesos de fermentación

láctica y fermentación butírica, que son indeseables en el chocolate (Rodríguez, et al., 2022).

Por lo tanto, una vez que se ha producido la separación de las mazorcas de cacao, se da inicio al proceso de fermentación, el mismo que está caracterizado porque el azúcar que se encuentra presente en el mucilago es transformado en alcohol, es decir, se genera etanol a partir de la acción de las levaduras *Saccharomyces cerevisiae*, sobre todo durante las primeras 24 a 48 horas. En esta fase, predomina un pH acido que oscila entre 3 y 4, donde además la temperatura se eleva de manera espontánea hasta los 40 °C; es así que a medida que la concentración de alcohol se incrementa, el producto final tiende a ganar oxígeno en la masa, se incrementa el pH hasta 6 y se produce la muerte de las levaduras, con lo cual se da por terminado el proceso de fermentación en su primera fase (Sipe & Peñafiel, 2023).

2.4.2.2 Fermentación aeróbica

Finalizado el proceso de fermentación anaeróbica, inicia una segunda fase conocida como fermentación aeróbica debido a que existe la presencia de oxígeno en la masa de fermentación de cacao, que también es conocida como fermentación acética, ya que el etanol producido, atraviesa un proceso de oxidación que le permite convertirse en ácido acético (Abad, et al., 2020).

Este proceso se realiza justo cuando se extrae la primera remoción del cacao durante las primeras 48 horas después que ha iniciado el proceso de fermentación y posterior a ello, se extiende por 48 horas más hasta que se produce la segunda remoción (Andrade, et al., 2019). Las reacciones químicas y bioquímicas que se producen en esta fase se presentan a continuación:

$$\text{Glucosa} + 6\ O_2 \text{ -----> } 6\ CO_2 + 6\ H_20 + 38\ \text{ATP}.$$

Es importante mencionar que, para el proceso de fermentación del cacao, se suelen utilizar cajas de madera de amapola, pues las características químicas de esta, evitan que se produzcan alteraciones en los granos de cacao. Además, el punto crítico de la temperatura de fermentación es de 45°C durante la primera y segunda fase de fermentación, controlando que no disminuya sobre todo en los procesos de remoción de la masa de cacao, pues un desequilibrio de más menos 2ºC, puede alterar químicamente el producto (León, 2021).

2.4.2.3 Fermentación láctica

Es importante recalcar que este tipo de fermentación no es usual y característica del proceso y ya que la fermentación láctica se produce cuando el cacao no ha sido removido durante las primeras 48 horas esto provoca que se produzca una fermentación aeróbica sin la presencia de oxígeno este proceso ocasiona que los azúcares no sean este proceso ocasiona que los azúcares no sean transformados de manera efectiva en alcohol y más bien se transforman en ácido láctico debido a la presencia de la bacteria *Bacteriun lactis acidi*. En este caso el cacao resultante es de mala calidad y mantiene una presencia constante de olores y sabores a queso, lo cual se cataloga como un defecto grave dentro de esta industria (Alvarado, 2021).

2.4.3 Métodos de fermentación del cacao

La fermentación del cacao es una etapa crucial en la producción de chocolate, y existen varios métodos para llevar a cabo este proceso. A continuación, se describen algunos de los métodos de fermentación del cacao. más comunes dentro del lugar donde se realizará la investigación:

- **Fermentación en cajas de madera**

Este es uno de los métodos tradicionales más antiguos, en donde las semillas de cacao junto con la pulpa se colocan en cajas de madera, donde se fermentan por aproximadamente 96 horas**.** Se mezclan regularmente para asegurar una fermentación

uniforme, pues las cajas permiten una buena circulación de aire, lo que facilita la fermentación aeróbica. La duración de la fermentación y la temperatura se controlan de manera permanente, para garantizar que no se produzcan procesos indeseados y se altere la calidad del producto final (Bravo & Tuárez, 2023).

- **Fermentación en canastos o sacos**

Este método de fermentación es común en algunas regiones cacaoteras del Ecuador, se caracteriza por que las semillas de cacao se colocan en canastos o sacos, a menudo tejidos de materiales naturales. Al igual que en las cajas de madera, las semillas se mezclan regularmente, con lo cual la fermentación puede llevarse a cabo al aire libre, aprovechando la temperatura ambiente y la exposición al sol, lo que facilita el proceso y sobre todo adquiere todos los sabores y aromas característicos de manera natural (Neira, et al., 2020).

- **Fermentación en pilas o montones**

Este es otro método de fermentación que se emplea con regularidad en la zona de investigación. Se caracteriza por amontonar las semillas de cacao y la pulpa en pilas sobre el suelo, las cuales a menudo se cubren con hojas de plátano u otras plantas para retener el calor y la humedad. La fermentación se produce por la compresión natural de las semillas en el montón, lo que limita la entrada de oxígeno. Este método es común en algunas regiones de la costa ecuatoriana (Caroca & Aucapiña, 2023).

Una de las principales desventajas de este método, es que no se puede controlar de manera efectiva todas las condiciones de fermentación, ya que al realizarse al aire libre y con la utilización de material vegetal, es complicado mantener una temperatura idónea y asimismo está sometido a una contaminación cruzada que puede alterar las características fisicoquímicas y bioquímica del producto (Ayala, 2022).

Cada método de fermentación tiene sus ventajas y desventajas, y la elección del método dependerá de factores como la escala de producción, las condiciones climáticas locales y los objetivos de sabor. Lo que todos estos métodos tienen en común es la importancia de controlar cuidadosamente la fermentación para lograr el sabor y la calidad deseados en los granos de cacao, que son la base de un chocolate de alta calidad.

2.4.4 Importancia del *Acetobacter aceti* en la fermentación del cacao

El *Acetobacter aceti* es una bacteria acidificante que pertenece al grupo de las bacterias acéticas. Aunque no es una bacteria comúnmente asociada con la fermentación natural del cacao, desempeña un papel fundamental en la producción de componentes aromáticos. Aquí se explica la importancia de esta bacteria en la fermentación de cacao para la producción de chocolate:

- El *Acetobacter aceti* es conocido por su capacidad para convertir el alcohol en ácido acético mediante un proceso de fermentación llamado acetificación. En la producción de cacao, después de la fermentación alcohólica del cacao (que puede producir alcohol), la adición de *Acetobacter aceti* permite la transformación de ese alcohol en componentes acéticos. Es así que, durante la acetificación, se contribuye a la formación de compuestos aromáticos y sabores característicos del chocolate. Esto significa que el producto final tendrá un sabor y aroma distintivos que lo diferencian de otros tipos de chocolate (Peñaherrera, 2021).
- El ácido acético producido por el *Acetobacter aceti* actúa como un conservante natural que ayuda a prolongar la vida útil del chocolate. Esto es importante desde el punto de vista de la seguridad alimentaria y la preservación del producto (Peñaherrera, 2021).

Aunque el *Acetobacter aceti* no desempeña un papel directo en la fermentación tradicional de los granos de cacao para la producción de chocolate, su capacidad para convertir el alcohol en ácido acético es fundamental en la producción de componentes

aromáticos volátiles. Este producto tiene aplicaciones culinarias únicas y agrega valor a la industria del cacao al aprovechar subproductos de manera eficiente.

2.5 Productos elaborados a partir del cacao

Los principales productos que se pueden elaborar de manera directa a partir de las semillas de cacao son: licor de cacao, manteca de cacao, pasta de cacao y cacao en polvo. A partir de ellos, se pueden derivar otros productos terminados como el caso del chocolate, debiendo manifestar que esta industria es la que predomina a nivel mundial, sin descartar obviamente el uso de los otros derivados.

2.5.1 Licor de cacao

Dentro de los principales productos obtenidos de las semillas de cacao, está el conocido licor de cacao, que es una pasta de contextura fluida obtenida a través del proceso de molienda, que es utilizada principalmente como materia prima en el proceso de elaboración de chocolate y de algunas bebidas alcohólicas. Cuando esta pasta es sometida a un proceso de prensado tiende a producirse la denominada manteca de cacao, que es una de las materias primas fundamentales que se utiliza para la producción y elaboración de farmacéuticos y cosméticos (Martínez & Ligarreto, 2023).

2.5.2 Torta de cacao

De la misma manera se puede obtener la denominada torta de cacao, que es un subproducto que se obtiene después de la extracción de la manteca de cacao y la separación del licor de cacao durante el proceso de procesamiento de los granos de cacao. Es una masa sólida y seca que contiene residuos de cacao que quedan después de la extracción de la manteca de cacao, que es la grasa natural presente en los granos de cacao. La torta de cacao también se conoce como “torta de prensa de cacao” o “torta de cacao prensada” (Moreno, et al., 2019).

Es así que, la torta de cacao es un subproducto del procesamiento de los granos de cacao que se utiliza en una variedad de aplicaciones, desde la alimentación animal

hasta la repostería y la agricultura. Su característica más notable es su sabor a cacao concentrado, que puede aportar un toque especial a los productos que lo contienen.

2.5.3 Chocolate

El chocolate es un alimento que ha cautivado a la humanidad durante siglos debido a su sabor único y su versatilidad en la cocina. A lo largo de la historia, el chocolate ha sido considerado un manjar, una bebida exquisita y un regalo valioso. Para comprender completamente este producto, es esencial explorar su historia, producción, composición y sus efectos en la salud humana (Ramón, 2021).

2.5.3.1 Breve historia

El chocolate tiene raíces profundas en la historia de las civilizaciones mesoamericanas, donde los mayas y los aztecas lo consideraban un alimento divino. Era un producto de élite que se consumía en ceremonias religiosas y eventos importantes. Los españoles introdujeron el chocolate en Europa en el siglo XVI, y con el tiempo, se convirtió en un alimento popular en todo el mundo (Tafurt, et al., 2021).

2.5.3.2 Producción

La producción de chocolate implica varios procesos, desde la cosecha de los granos de cacao hasta la elaboración de productos finales. Los pasos clave incluyen:

- **Cosecha y fermentación:** Los granos de cacao se cosechan de las vainas de cacao maduras y se someten a un proceso de fermentación para desarrollar su sabor característico
- **Secado y tostado:** Los granos de cacao se secan y tuestan para mejorar su sabor y aroma.

- **Molienda y prensado:** Los granos tostados se muelen y prensan para separar la manteca de cacao de los sólidos, que se utilizan para hacer el chocolate en polvo.
- **Conchado:** Los ingredientes básicos, como el cacao en polvo y la manteca de cacao, se mezclan y se refinan en un proceso llamado conchado, que mejora la textura y el sabor.
- **Temple y moldeo:** La mezcla de chocolate se enfría y se moldea en diversas formas, desde tabletas hasta bombones (Rodríguez , 2021).

2.5.3.3 Composición

El chocolate se compone principalmente de tres ingredientes: Cacao, que es la materia prima principal, que aporta sabor y aroma. Los granos de cacao contienen manteca de cacao y sólidos de cacao. Azúcar, que agrega dulzura al chocolate y equilibra el sabor amargo del cacao. Lecitina y vainilla, pues estos ingredientes se utilizan a menudo como emulsionantes y saborizantes (Córdova & Chávez, 2019).

2.6 Beneficios para la salud

El chocolate, especialmente el chocolate negro con un alto contenido de cacao, se ha asociado con varios beneficios para la salud debido a su contenido de antioxidantes, como los flavonoides. Estos beneficios incluyen mejoras en la salud cardiovascular, la función cognitiva y el estado de ánimo. Sin embargo, es importante consumirlo con moderación debido a su contenido calórico y de azúcar (Villanueva, 2020).

En general, el consumo de chocolate está asociado a una serie de beneficios para los consumidores, pues en algunos casos se menciona que debido a sus componentes bioquímicos ayuda a disminuir la presión arterial debido al alto contenido de flavonoides que son considerados como poderosos antioxidantes. De la misma manera se le atribuyen efectos anticancerígenos, estimuladores de la hormona citosina, así como la asociación con efectos afrodisíacos debido a la estimulación cerebral para

la liberación de endorfinas, las mismas que están relacionados con la sensación de bienestar y felicidad (Coto, 2019).

En definitiva, el chocolate es un alimento icónico con una rica historia y una amplia gama de variedades y usos. Su producción y composición son procesos complejos que afectan su sabor y textura. Además, el chocolate ha sido objeto de investigación científica debido a sus posibles beneficios para la salud. Comprender todos estos aspectos es esencial para apreciar plenamente este amado manjar y su lugar en la cultura gastronómica global.

CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

3.1. Características y ubicación de la investigación

El desarrollo de la investigación se realizó en dos escenarios según el siguiente detalle:

La fase de producción, que estuvo caracterizada por la fermentación del cacao, se lo realizó en el recinto Pasaje A, Cantón Ventanas, Provincia de Los Ríos, en la "Asociación Moradores Unión y Progreso". La situación climática de esta zona fue: temperatura media anual de 25ºC, humedad relativa del 85% y precipitación media anual de 192 (m s. n. m.).

Por otro lado, los análisis físico, químico y microbiológicos, se realizaron en los laboratorios de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar, ubicados en la ciudad de Guaranda, provincia de Bolívar, en el Km 1 ½ vía Guaranda - San Simón, sector Laguacoto II. La situación climática de esta zona fue: temperatura media anual de 16ºC, humedad relativa del 74% y una precipitación media anual de 162 (m s. n. m.).

3.2. Materiales

3.2.1 Material experimental

- Cacao fino de aroma y cacao CCN 51
- Bacteria *Acetobacter aceti*

3.2.2 Materiales de oficina

- Computadora
- Flash memory
- Impresora
- Papel bond

- Esferográficos

3.2.3 Materiales de campo

- Libreta de apuntes
- Cámara fotográfica digital
- Marcadores
- Rotuladores

3.2.4. Materiales de planta

- Cuchillos
- Baldes de plástico
- Lavacaras de plástico
- Bandejas de plástico
- Balanza de humedad
- Balanza gramera
- Incubadora
- Paletas para mezclar
- Moldes plásticos
- Acidómetro
- Mesas de trabajo
- Cajas de madera para fermentación
- Sacos de yute para fermentación
- Tostadora
- Molino
- Conchadora
- Baño María
- Termómetros
- Cajas petri
- Brixómetro

3.2.5. Equipos

- Cámara de flujo laminar
- Incubadoras
- Cuenta colonias
- Agitador vortex
- Estufas bacteriológicas.
- Autoclaves.
- Balanzas analíticas con alta precisión.
- Agitador magnético resistente a la corrosión.
- Autoclave
- Hornos esterilizadores
- Baño María
- Centrifuga
- Potenciómetro
- Mecheros

3.2.6. Reactivos

- Hidróxido de sodio de concentración 0.1 Normal
- Indicador del Fenolftaleína
- Agares Chromocult, azul de metileno
- Caldos de cultivos.
- Manitol
- Extracto de levadura
- Peptona

3.3. Factores en estudio

Los factores en estudio propuesto fueron los siguientes:

Tabla 2

Factores en estudio a desarrollar en la investigación

Factor	Código	Porcentajes (%)
Tipo de fermentador	A	A_1= Cajas de madera A_2 = Sacos de yute
Tiempo de fermentación	B	B_1 = 48 horas B_2 = 96 horas
Porcentaje de *Acetobacter aceti*	C	C_1 = 3% C_2 = 5%

La combinación de los diferentes factores de estudio, con sus correspondientes niveles, dio como resultados los siguientes tratamientos:

Tabla 3

Tratamientos a desarrollar en la investigación

Tratamiento	Código	Detalle
T1	$A_1B_1C_1$	Fermentación en caja de madera + 48 horas de fermentación + 3% de *Acetobacter aceti.*
T2	$A_1B_1C_2$	Fermentación en caja de madera + 48 horas de fermentación + 5% de *Acetobacter aceti.*
T3	$A_1B_2C_1$	Fermentación en caja de madera + 96 horas de fermentación + 3% de *Acetobacter aceti.*
T4	$A_1B_2C_2$	Fermentación en caja de madera + 96 horas de fermentación + 5% de *Acetobacter aceti.*
T5	$A_2B_1C_1$	Fermentación en sacos de yute + 48 horas de fermentación + 3% de Acetobacter *aceti.*
T6	$A_2B_1C_2$	Fermentación en sacos de yute + 48 horas de fermentación + 5% de *Acetobacter aceti.*
T7	$A_2B_2C_1$	Fermentación en sacos de yute + 96 horas de fermentación + 3% de *Acetobacter aceti.*
T8	$A_2B_2C_2$	Fermentación en sacos de yute + 96 horas de fermentación + 5% de *Acetobacter aceti.*

Para establecer las diferencias entre los tratamientos, se aplicó:

- Análisis de varianza (ADEVA)
- Prueba de Tukey al 5% para comparar promedios de tratamientos

Tabla 4

Grados de libertad para el diseño experimental

Fuente de variación	Grados de libertad
Total (n-1)	7
Tratamientos (n-1)	2
Error	5

3.3.1. Características del experimento

- Unidad experimental = 6 Kg
- Factores de estudio = 3
- Tratamientos = 8
- Repeticiones = 3
- Unidades experimentales = 24

3.3.2 Tipo de diseño experimental

En la investigación, se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA), en arreglo factorial A * B * C con 3 repeticiones, mediante el siguiente modelo matemático:

$$Dijk = \mu + A + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} * R_l + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

μ = Efecto global

A_i = efecto del i ésimo nivel del factor A; i = 1, …, a

B_j = efecto del j ésimo nivel del factor B; j = 1, …, b

C_k = efecto del k ésimo nivel del factor C; k = 1, …, c

$(AB)_{ij}$= efecto de la interacción entre los factores A,B

$(AC)_{jk}$= efecto de la interacción entre los factores A, C

$(BC)_{jk}$= efecto de la interacción entre los factores B,C

$(ABC)_{ijk}$= efecto de la interacción entre los factores A,B,C

R_l = efecto de las replicaciones, l = 1, …, r

ε_{iikl} = Residuo o error experimental

3.4. Mediciones experimentales

3.4.1 Mediciones en la materia prima

Las mediciones experimentales que se realizaron a la materia prima y *Acetobacter aceti*, sirvieron como referente para ir verificando que los resultados obtenidos de estas mediciones cumplan con los requerimientos establecidos en las normas.

3.4.1.1. Potencial de hidrógeno

Se determinó el potencial de hidrógeno (pH) por el método del potenciómetro, según la metodología establecida en la norma NTE INEN 0389:86; para determinar que el nivel de acidez se encuentre en los parámetros normales estipulados en las normas y no afecte el proceso y la calidad del producto final.

3.4.1.2. Acidez titulable

Se determinó la acidez de la materia prima evaluada mediante el método de titulación con hidróxido de sodio 0,1 N utilizando fenolftaleína como indicador, para ello se tomó como referencia la metodología planteada en la norma NTE INEN 381, para establecer que el nivel de acidez se encuentre en los parámetros normales estipulados en las normas y no afecte el proceso y la calidad del producto final.

3.4.1.3. Grados Brix

Se desarrolló mediante el método del refractómetro, se utilizó un refractómetro de Abbe, donde los valores leídos se expresaron en grados brix (° Brix), tomando como referencia la metodología planteada en la norma INEN 0389:86; procedimiento que se realizó para establecer que el porcentaje de solidos solubles (azúcares) se encuentre en los parámetros normales estipulados en las normas y no afecte el proceso y la calidad del producto final.

3.4.1.4 Humedad

Esta medición se realizó mediante la aplicación del método de la estufa que consistió en someter una muestra de 10 gramos a una estufa de aire forzado por el lapso de 16 horas hasta alcanzar un peso constante. Se realizó mediante la aplicación de la norma INEN 173.

3.4.1.5. Estado de madurez

Se determinó el estado de madurez por inspección visual, mediante una escala colorimétrica del cacao, la misma que fue elaborada para tal efecto, constando de 5 grados de madurez.

3.4.2. Mediciones en el producto terminado

3.4.2.1. Potencial de hidrógeno

Se determinó el potencial de hidrógeno (pH) por el método del potenciómetro, según la metodología establecida en la norma NTE INEN 0389:86.

3.4.2.2. Acidez titulable

Se determinó la acidez de la materia prima evaluada mediante el método de titulación con hidróxido de sodio 0,1 N, utilizando fenolftaleína como indicador, para ello se tomó como referencia la metodología planteada en las normas NTE INEN 381.

3.4.2.3. Grados Brix

Esta medición se desarrolló mediante el método del refractómetro, para este efecto se utilizó un refractómetro de Abbe en que los valores leídos se expresaron en grados Brix (° Brix), tomando como referencia la metodología planteada en la norma INEN 0389:86.

3.4.2.4. Humedad

Se realizó con la finalidad de establecer la eficacia del proceso de tostado y controlar que el porcentaje de agua no exceda los límites permitidos por las normas, para ello se utilizó una balanza de humedad infrarroja.

3.4.3. Mediciones en el mejor tratamiento (barra de chocolate)

3.4.3.1. *Escherichia coli*

Este análisis se llevó a cabo con el propósito de determinar si hubo algún tipo de contaminación en el producto, dado que este pudo haber estado expuesto a utensilios sucios, temperaturas insuficientes y otros factores. El procedimiento se realizó conforme a lo establecido en la norma INEN 1529: 8.

3.4.3.2. Evaluación sensorial

Se llevó a cabo la evaluación sensorial con un panel de 10 catadores semi entrenados, quienes evaluaron el chocolate elaborado. Las respuestas de la evaluación sensorial se centraron en el color, olor, sabor, textura y aceptabilidad, utilizando una ficha basada en una escala hedónica de cinco opciones de respuesta, donde 1 correspondía a la valoración más baja y 5 a la valoración más alta.

3.5. Descripción del proceso

3.5.1. Aislamiento del *Acetobacter aceti*

3.5.1.1. Recepción

Se extrajo *Acetobacter aceti* de las cortezas de la cáscara de piña, ya que esta bacteria se encuentra de forma natural en esta fruta.

3.5.1.2. Corte

Se procedió a retirar la corteza de la piña, ya que esta parte de la fruta era la fuente de la bacteria que iba a ser inoculada.

3.5.1.3. Preparación del medio de cultivo

Se utilizó un medio de cultivo Manitol (compuesto por D- manitol = 25g; extracto de levadura = 5g; peptona = 3g; agar = 15g y agua = 1 litro), el mismo que es apto para que se desarrolle la bacteria.

3.5.1.4. Repique y aislamiento

Con las técnicas adecuadas de microbiología se procedió a sembrar en los medios de cultivo la bacteria para luego ser inoculada en las almendras de cacao en el proceso de fermentación.

3.5.2. Fermentación del cacao

3.5.2.1. Recepción

La materia prima utilizada en este proceso fue originaria del Recinto Pasaje "A", Cantón Ventanas, Provincia de Los Ríos, y fue recibida en la planta procesadora de la "Asociación de Moradores Unión y Progreso".

3.5.2.2. Control de madurez

Se inspeccionó visualmente que la materia prima se encuentre en un estado óptimo de madurez, considerando que haya una uniformidad en todas las mazorcas de cacao, en este punto se trabajaron con mazorcas que tuvieron una madurez grado 5, que correspondió a un cacao de calidad.

3.5.2.3. Lavado

Se realizó con propósito de eliminar impurezas presentes que puedan llegar a contaminar el producto, las mismas que pueden ser tierras, rastrojos de cosechas, insectos, entre otros. Para ello, se utilizó agua potable a corriente constante hasta eliminar impurezas solidas de gran tamaño.

3.5.2.4. Selección

Se seleccionó la materia prima que no presentó ninguna alteración de tipo físico (golpes, magulladuras) y microbiológico (contaminación por moho u otro microorganismo causante del deterioro.

3.5.2.5. Corte

Las mazorcas de cacao fueron cortadas con la utilización de un cuchillo, teniendo mucho cuidado de no atravesar la mazorca y dañar las almendras de cacao.

3.5.2.6. Desgrane

Se procedió a desgranar cada una de las almendras de cacao de una manera manual, teniendo en cuenta que también se extraiga la pulpa y teniendo en cuenta de separar posibles gránulos dañados.

3.5.2.7. Inoculación

Se incorporarán las cantidades del *Acetobacter aceti* inoculado según lo establecido en los tratamientos propuestos en el diseño experimental.

3.5.2.8. Fermentación

Es el proceso donde la almendra de cacao va a adquirir las cualidades y características de aroma y sabor proporcionado por los polifenoles; los que van a elevar su valor sensorial y calidad del producto final, se lo realizó por 2 (48 horas) y 4 días (96 horas). Este proceso de fermentación se lo realizó en cajones de madera y sacos de yute acorde a lo establecido en los tratamientos.

3.5.2.9. Secado

Una vez finalizado el proceso de fermentación, se procedió a secar las almendras de cacao hasta que alcancen la humedad ideal, comprendida entre el 7 y 8% según lo establece la norma INEN 176.

3.5.2.10. Análisis

Finalizado el proceso de secado, se realizaron los análisis propuestos anteriormente para la materia prima, con la finalidad de control la eficacia del proceso.

3.5.3. Elaboración de la barra de chocolate

3.5.3.1. Recepción

Se procedió a recibir el granulo o almendra de cacao procedente del proceso de fermentación y secado.

3.5.3.2. Limpieza

Se limpió el granulo o almendra de cacao para evitar que este contenga restos del proceso fermentativo y de secado (cascarilla) y que pueda ser una fuente de contaminación posterior.

3.5.3.3. Tostado

La temperatura de tostado es la variable principal de control y se ajustó cuidadosamente para lograr el nivel de tostado deseado. Esta temperatura estuvo normalmente entre los 110 y 150°C ya que ahí se produce la reacción de Maillard, es decir la caramelización y reacciones enzimáticas del grano, así como se fijan los aromas propios del chocolate. Cuando la temperatura fue de 110 °C se exponen los aromas frutales, a los 120 °C los aromas florales y a más de 120 °C los aromas balsámicos.

El tiempo durante el cual los granos de cacao están expuestos a la temperatura de tostado es otra variable crítica. Un tiempo más largo a una temperatura dada puede producir un tostado más profundo, mientras que un tiempo más corto a la misma temperatura dará como resultado un tostado más ligero, lo cual se expresa en la cantidad de aromas que se pueden desprender de chocolate, por ello, el tiempo ideal de tostado fue de 20 a 22 minutos.

3.5.3.4. Pelado

Se procedió a quebrar las cascara del cacao, esto se realizó con la finalidad que los cotiledones y la cascara se separen y se tenga un grano limpio.

3.5.3.5. Molienda

Se lo realizó con la utilización de un molino, procedimiento mediante el cual se obtuvo el licor de cacao, que fue de característica liquida, comúnmente conocida como manteca de cacao.

3.5.3.6. Mezcla de ingredientes

Después de la extracción del licor de chocolate, este se almacenó en recipientes a una temperatura controlada para prevenir su solidificación. A continuación, se mezcló con azúcar refinado y manteca de cacao utilizando el equipo de conchado Spectra 11 durante un período de 24 horas.

3.5.3.7. Batido

Se lo realizó con la finalidad que el tamaño de partícula del chocolate líquido sea uniforme, lo cual le hace muy dócil al consumir. Este proceso se desarrolló con la ayuda de una batidora eléctrica, considerando una velocidad media (aproximadamente 160 rpm) por 15 minutos.

3.5.3.8. Moldeado

En esta etapa se vertió el chocolate líquido en piezas o moldes de tamaños uniformes y precisos, pudiendo ser estos plásticos o metálicos, y de los tamaños y formas requeridas. En este caso específico se elaboraron barras de chocolate de 250 gramos aproximadamente.

3.5.3.9. Solidificación

Las bandejas o moldes con el chocolate se llevaron a enfriamiento a temperatura ambiente por pocos minutos, aproximadamente 15 minutos y luego fueron sometidos a temperaturas de refrigeración (4 °C) para obtener un producto sólido y uniforme, tipo barra.

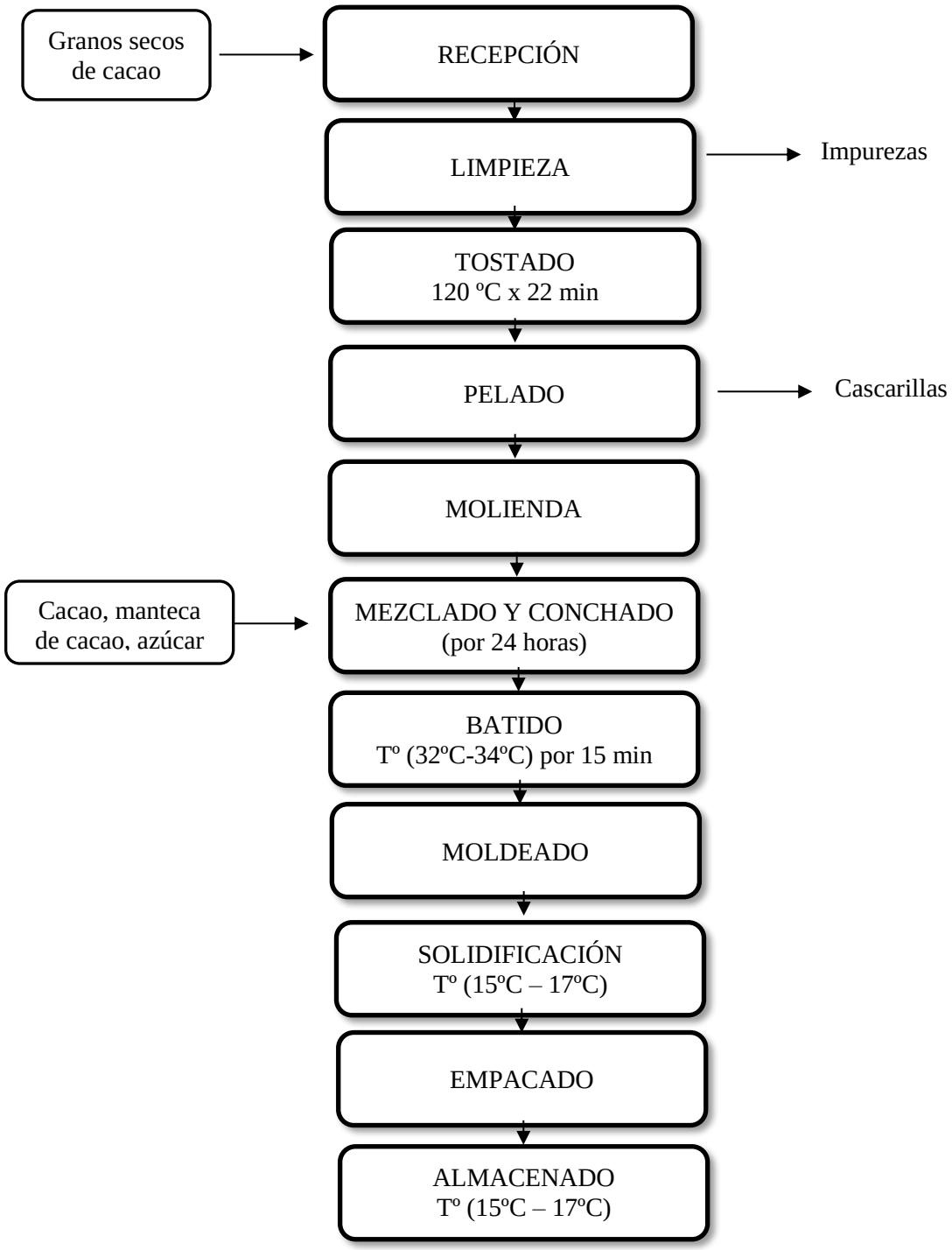
3.5.3.10. Empacado

Las exigencias del empacado fueron sencillas y el material utilizado ayudó a proteger al producto de la humedad, suciedad además le brinda protección contra la manipulación, estos empaques fueron de papel celofán y aluminio.

3.5.3.11. Almacenamiento

Las barras de chocolate fueron almacenadas a temperatura ambiente (18 °C) y en lugares frescos y secos.

3.5.4 Diagrama de flujo de la elaboración de la barra de chocolate



CAPÍTULO IV
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Analizar la materia prima utilizada para el proceso de fermentación consistente.

4.1.1. Determinación de pH en el grano fresco

Determinar el pH en el grano de cacao fresco es importante por razones relacionadas con la calidad del producto final y el control del proceso de fermentación y secado. Por ello, se realizó la medición del pH de los granos de cacao por cada uno de los tratamientos propuestos, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 5: ***Valores de pH, º brix, humedad de los granos de cacao fresco***

Tratamientos	$\bar{x}$ pH	$\bar{x}$ º Brix	$\bar{x}$ Humedad
T1	6,4	14,9	52,5
T2	6,3	15,4	54,1
T3	6,2	15,7	56,9
T4	6,2	15,4	55,5
T5	6,2	15,8	59,0
T6	6,3	15,3	55,4
T7	6,4	15,8	54,7
T8	6,3	15,8	56,8

Fuente: Investigación de campo (2023).

Con base en los resultados obtenidos, (Vera, et al., 2021) señalan que el pH óptimo de los granos de cacao varía dependiendo de la etapa del proceso de

fermentación y del producto final deseado. Generalmente, se considera que el pH de los granos de cacao frescos debe estar en un rango específico de 6 a 6.5 para asegurar una buena calidad del cacao y un desarrollo adecuado de los sabores y aromas.

Por lo tanto, se puede evidenciar que todos los granos de cacao utilizados en cada una de las muestras, cumplen con los parámetros mínimos de calidad para este producto.

4.1.2. Determinación de los grados brix en el mucilago del grano fresco

Los grados Brix del mucílago del cacao son una medida importante para evaluar el contenido de azúcar y la calidad del proceso de fermentación. Los grados Brix indican la concentración de sólidos solubles, principalmente azúcares, y se utilizan comúnmente en esta industria para determinar la calidad del producto, obteniendo los siguientes resultados:

Según la investigación realizada por (Amador, et al., 2022) determinó que los grados Brix del mucílago fresco del cacao pueden variar, pero generalmente se encuentran en un rango de 12 a 18 grados Brix. Este valor puede variar según la variedad de cacao y las condiciones de cultivo.

En este sentido, se evidencia que los resultados obtenidos se encuentran dentro de este rango establecido, lo que ayuda a controlar y ajustar el proceso para asegurar una fermentación adecuada, en vista que un contenido inicial de azúcar alto es crucial para una buena fermentación.

4.1.3. Determinación de la humedad del grano fresco

Determinar la humedad del grano fresco de cacao es crucial por varias razones fundamentales, dentro de las cuales se destaca que la humedad del grano de cacao afecta directamente la calidad del producto final. Los resultados obteniendo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6: ***Valores de humedad del grano de cacao fresco***

Tratamientos	Humedad ($\bar{x}$)
T1	4,7
T2	5,1
T3	5,0
T4	4,7
T5	4,6
T6	5,0
T7	4,6
T8	4,2

Fuente: Investigación de campo (2023).

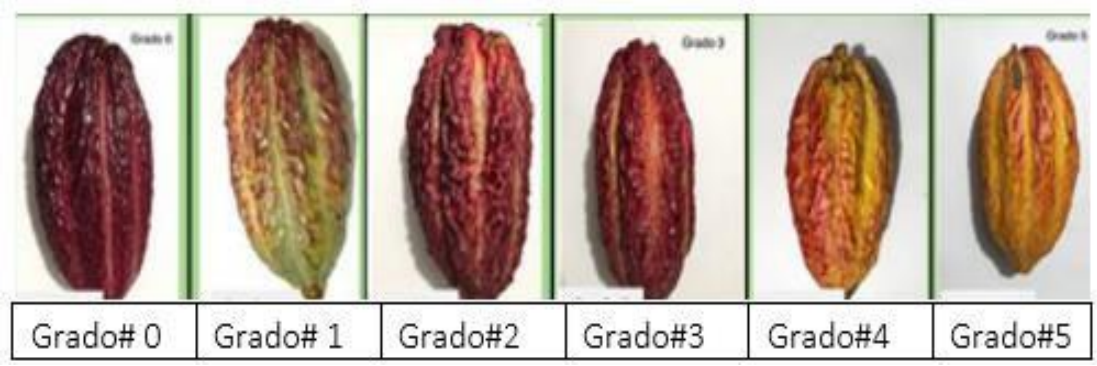
Según la investigación desarrollada por (Vargas, et al., 2022) señalaron que los valores óptimos de humedad del grano fresco de cacao pueden variar dependiendo de varios factores, incluyendo las condiciones climáticas locales, el método de fermentación utilizado y las preferencias específicas del productor o procesador. Sin embargo, en general, se considera que un rango de humedad entre el 45% y el 60% es deseable para el grano fresco de cacao.

Los resultados obtenidos muestran que los valores de humedad del grano de cacao fresco están dentro de los parámetros de calidad señalados, pues un contenido de humedad en este rango permite que las levaduras y bacterias naturales desempeñen su papel en el proceso de fermentación, crucial para el desarrollo del sabor y aroma característicos del cacao.

4.1.4. Estado de madurez de la mazorca de cacao

El estado de madurez del cacao se refiere al grado de desarrollo y madurez de las mazorcas de cacao, que indica el momento óptimo para su cosecha. La madurez adecuada es crucial para asegurar la calidad de los granos de cacao y, en última instancia, el sabor y las características del chocolate producido a partir de ellos. Los resultados obtenidos fueron cotejados mediante la siguiente escala:

Gráfico 2: ***Escala de madurez de la mazorca de cacao***



Fuente: (Norma INEN 176, 2021).

Con base en los resultados obtenidos, se utilizó para el desarrollo de la investigación mazorcas de cacao que se encontraban en estado de madurez grado 5, que por sus características de calidad correspondió a granos de cacao de alta calidad (grado 5).

Según la investigación realizada por (Cobos, et al., 2022), el proceso de producción de derivados de cacao que trabajan con materia prima de calidad en estado de madurez grado 5, asegura que los granos de cacao tengan el desarrollo completo de azúcares, ácidos y precursores de sabor que son esenciales para la fermentación y el secado, procesos que determinan el sabor final del chocolate.

4.2 Establecer el mejor parámetro de fermentación del cacao

4.2.1. Prueba de corte en el grano fermentado

La prueba de corte en el grano de cacao fermentado es una técnica crucial utilizada para evaluar la calidad de la fermentación. Esta prueba proporciona información visual directa sobre el estado interno de los granos de cacao y ayuda a determinar si la fermentación ha sido adecuada y uniforme, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 7: ***Prueba de corte en el grano fermentado***

Tratamientos	Corte día 2 (48 horas)	Corte día 4 (96 horas)
T1	Grano violeta	Grano fermentado
T2	Grano violeta	Grano sobre fermentado
T3	Grano violeta	Grano fermentado
T4	Grano violeta	Grano fermentado
T5	Grano violeta	Grano sobre fermentado
T6	Grano violeta	Grano fermentado
T7	Grano violeta	Grano fermentado
T8	Grano violeta	Grano fermentado

Fuente: Investigación de campo (2024).

De acuerdo con el estudio de Chapa (2022), un grano bien fermentado exhibe típicamente un color marrón uniforme, lo que indica una fermentación completa y un adecuado desarrollo de los precursores de sabor.

La prueba de corte en los granos de cacao fermentados a lo largo de los diferentes tratamientos permitió evaluar la calidad de la fermentación. Al cuarto día de fermentación, se observaron granos con un color marrón uniforme, lo que asegura que estos granos están en condiciones óptimas para el procesamiento posterior.

4.2.2. Humedad del grano fermentado

La humedad del grano de cacao fermentado es un factor crucial para asegurar la calidad y estabilidad del producto durante el almacenamiento y procesamiento, por

lo que controlar adecuadamente la humedad ayuda a prevenir el crecimiento de moho y la degradación del cacao. Los resultados obteniendo se presentan a continuación:

Tabla 8: ***Determinación de humedad (%) en el grano fermentado***

Tratamientos	Humedad ($\bar{x}$)
T1	4,7
T2	5,1
T3	5,0
T4	4,7
T5	4,6
T6	5,0
T7	4,6
T8	4,2

Fuente: Investigación de campo (2024).

Con base en los resultados obtenidos, se procede a realizar el análisis de varianza según el siguiente detalle:

Tabla 9: ***Análisis de varianza para la humedad del grano fermentado***

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrados Medios*	*Razón F*	*Valor P*
A: Tipo de fermentador	0,4620370	1	0,4620370	4,89	0,0419*
B: Tiempo de fermentación	0,2752040	1	0,2752040	2,91	0,1071
C: % *Acetobacter aceti*	0,0198375	1	0,0198375	0,21	0,6529
Interacción AB	0,2542040	1	0,2542040	2,69	0,1204
Interacción AC	0,0057041	1	0,0057041	0,06	0,8090
Interacción BC	0,7526040	1	0,7526040	7,97	0,0122*
Interacción ABC	0,0126043	1	0,0126043	0,13	0,7196
Residuos	0,5108000	13	0,0944250		
TOTAL	3,2930000	23			

Fuente: Investigación de campo (2024).

La tabla ADEVA presenta la variabilidad de la humedad del grano fermentado con relación a los 3 factores de estudio. Los valores-p obtenidos prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Considerando que el valor-p del factor A tipo de fermentador (0,0419) y el valor-p de la interacción BC (0,0100) son menores que 0,05; se determina que estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre humedad con un 95% de nivel de confianza. Es decir, el efecto de los 3 factores incide en la humedad final del grano fermentado, para determinar el mejor tratamiento, se realizó la prueba de Tukey al 5% para comparar las medias, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 10: ***Prueba de Tukey para la humedad del grano fermentado***

Tratamientos	Media	Error estándar	Grupos homogéneos
8	4,46	0,088706	A
3	4,56	0,088706	B
4	4,59	0,088706	B
5	4,61	0,088706	B
7	4,75	0,088706	C
1	4,81	0,088706	C
2	4,89	0,088706	D
6	5,02	0,088706	E

Fuente: Investigación de campo (2024).

Esta tabla aplicó un procedimiento de comparación múltiple (Tukey) para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Se ha identificado 5 grupos homogéneos, según la alineación de los literales. En este caso el tratamiento que permite obtener el menor porcentaje de humedad del grano fermentado es el número 8.

Por lo tanto, según lo establecido en la normas (INEN, 2021) número 176 sugiere la humedad máxima del grano de cacao deber ser del 7%, pues un contenido de humedad por encima de este porcentaje puede favorecer el crecimiento de moho y otros

microorganismos, lo que deteriora la calidad del cacao y puede hacerlo no apto para el consumo.

Como se puede evidenciar en los resultados obtenidos, los porcentajes de humedad de los granos no son superiores al 7%, sin embargo, el tratamiento 8 permite obtener un valor de humedad bajo (4,46%) con lo cual se garantiza que la materia prima utilizada para la elaboración del producto final ayuda de manera efectiva a prevenir problemas de deterioro y preserva de mejor manera las propiedades organolépticas del cacao en el producto final obtenido.

4.2.3. Determinación de pH en el grano fermentado

La determinación del pH en el grano de cacao fermentado es un paso esencial para evaluar la calidad del proceso de fermentación, en vista que el pH influye directamente en el sabor y aroma del chocolate final. Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Tabla 11: Valores de pH de los granos de cacao fermentados

Tratamientos	pH ($\bar{x}$)
T1	5,4
T2	5,4
T3	5,3
T4	5,3
T5	5,2
T6	5,3
T7	5,2
T8	5,4

Fuente: Investigación de campo (2024).

Con base en los resultados obtenidos, se procede a realizar el análisis de varianza según el siguiente detalle:

Tabla 12: ***Análisis de varianza para el pH del grano fermentado***

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrados Medios*	*Razón F*	*Valor P*
A: Tipo de fermentador	0,068266	1	0,068266	7,16	0,0166*
B: Tiempo de fermentación	0,014016	1	0,014016	1,47	0,2430
C: % *Acetobacter aceti*	0,035266	1	0,035266	3,70	0,0725
Interacción AB	0,024066	1	0,024066	2,52	0,1317
Interacción AC	0,003750	1	0,003750	0,39	0,5395
Interacción BC	0,017066	1	0,017066	1,79	0,1997
Interacción ABC	0,002816	1	0,002816	0,30	0,5943
Residuos	0,152600	16	0,009537		
TOTAL	0,31785	23			

Fuente: Investigación de campo (2024).

La tabla ADEVA presenta la variabilidad del pH del grano fermentado con relación a los 3 factores de estudio. Los valores-p obtenidos prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Considerando que el valor-p del factor A tipo de fermentador (0,0166) es menor que 0,05; por lo tanto, se determina que este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el pH con un 95% de nivel de confianza. En este caso, el tipo de fermentador incide en el pH final del grano fermentado. Para determinar el mejor tratamiento, se realizó la prueba de Tukey al 5% para comparar las medias, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 13: ***Prueba de Tukey para el pH del grano fermentado***

Tratamientos	**Media**	**Error estándar**	**Grupos homogéneos**
5	5,33	0,039869	A
2	5,34	0,039869	A
4	5,34	0,039869	A
8	5,34	0,039869	A
1	5,32	0,039869	B
6	5,28	0,039869	B
7	5,26	0,039869	C
3	5,21	0,039869	D

Fuente: Investigación de campo (2024).

Se aplicó un procedimiento de comparación múltiple (Tukey) para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Se ha identificado 4 grupos homogéneos, según la alineación de los literales. En este caso el tratamiento que permite obtener un valor de pH cercano al promedio ideal (5,4) del grano fermentado son los tratamientos 5,2,4 y 8.

Los resultados obtenidos están en línea con la investigación de Zapata (2023), que indica que el pH es un indicador crucial del grado de fermentación del cacao, siendo los valores típicos para granos bien fermentados de entre 5 y 5,8. Estos valores garantizan que los granos han sido fermentados adecuadamente, cumpliendo con los estándares de sabor y seguridad de la industria alimentaria.

En este sentido, todos los granos de cacao obtenidos durante el proceso de fermentación y utilizados en las muestras cumplen con el pH recomendado para granos correctamente fermentados, asegurando así la calidad del producto final.

Con base en los resultados, se destaca que el tratamiento 8 se considera el más efectivo en la evaluación de humedad y también sobresale en la medición del pH. Por lo tanto, se concluye que el mejor parámetro de fermentación del cacao es el siguiente: fermentación en sacos de yute, 96 horas de fermentación y un 5% de *Acetobacter aceti*.

4.3 Caracterizar química, física y sensorialmente los tratamientos para determinar cuál es el mejor.

4.3.1 Determinación del pH de la barra de chocolate

El pH adecuado del chocolate semidulce y dulce permite asegurar que el producto tenga un buen equilibrio de sabor y estabilidad del producto, lo que garantiza

su calidad. Los resultados obtenidos de las mediciones de pH a la barra de chocolate elaborada se presentan a continuación:

Tabla 14: ***Valores de pH de la barra de chocolate***

Tratamientos	pH ($\bar{x}$)
T1	6,0
T2	5,9
T3	6,0
T4	6,0
T5	5,8
T6	5,7
T7	5,5
T8	5,3

Fuente: Investigación de campo (2024).

Con base en los resultados obtenidos, se procede a realizar el análisis de varianza según el siguiente detalle:

Tabla 15: ***Análisis de varianza para el pH de la barra de chocolate***

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrados Medios*	*Razón F*	*Valor P*
A: Tipo de fermentador	0,395267	1	0,39526	8,53	0,0100*
B: Tiempo de fermentación	0,070416	1	0,07041	1,52	0,2354
C: % *Acetobacter aceti*	0,205350	1	0,20535	4,43	0,0514
Interacción AB	0,062016	1	0,06201	1,34	0,2642
Interacción AC	0,144150	1	0,14415	3,11	0,0968
Interacción BC	0,112067	1	0,11200	2,42	0,1394
Interacción ABC	0,317400	1	0,31740	6,85	0,0087*
Residuos	0,741133	16	0,04632		
TOTAL	2,047800	23			

Fuente: Investigación de campo (2024).

La tabla ADEVA presenta la variabilidad del pH de la barra de chocolate con respecto a los 3 factores de estudio. Considerando que el valor-p del factor A tipo de fermentador (0,0100) es menor que 0,05; se determina que este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el pH de la barra de chocolate con un 95% de nivel de confianza, es decir, que dependiendo del tipo de fermentador utilizado varía el pH. Para determinar el mejor tratamiento, se realizó la prueba de Tukey al 5% para comparar las medias, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 16: ***Prueba de Tukey para el pH de la barra de chocolate***

Tratamientos	Media	Error estándar	Grupos homogéneos
3	6,00	0,1786	A
7	5,99	0,1786	A
1	5,97	0,1786	A
5	5,95	0,1786	A
2	5,93	0,1786	A
6	5,84	0,1786	B
8	5,80	0,1786	B
4	5,68	0,1786	B

Fuente: Investigación de campo (2024).

Se aplicó un procedimiento de comparación múltiple (Tukey) para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Se ha identificado 2 grupos homogéneos, según la alineación de los literales.

Los resultados obtenidos fueron comparados con la investigación realizada por Urbina & Caballero, (2022) quien en su investigación determinaron que el valor óptimo de pH para una barra de chocolate se encuentra en el rango de 5,4 a 5,9; en vista que un pH en este rango contribuye a un sabor agradable y equilibrado, sin excesiva acidez ni amargura en el chocolate.

Por lo tanto, considerando esta referencia bibliográfica, se determina que los tratamientos 6, 8 y 4 son quienes permiten obtener el rango de pH óptimo para este tipo de producto, considerándolos como los mejores.

4.3.2 Determinación de la acidez de la barra de chocolate

La acidez óptima en una barra de chocolate puede variar según el tipo de chocolate y las preferencias del consumidor, pero generalmente se encuentra en un rango que no sea demasiado ácido ni demasiado amargo. Los resultados obtenidos de las mediciones de acidez a la barra de chocolate elaborada se presentan a continuación:

Tabla 17: ***Valores de acidez (%) de la barra de chocolate***

Tratamientos	Acidez ($\bar{x}$)
T1	0,24
T2	0,70
T3	0,19
T4	0,23
T5	0,43
T6	0,25
T7	0,52
T8	0,51

Fuente: Investigación de campo (2024).

Con base en los resultados obtenidos, se realizó el análisis de varianza según el siguiente detalle:

Tabla 18: ***Análisis de varianza para la acidez (%) de la barra de chocolate***

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrados Medios*	*Razón F*	*Valor P*
A: Tipo de fermentador	0,045937	1	0,045937	5,35	0,0344*
B: Tiempo de fermentación	0,010004	1	0,010004	1,16	0,2964
C: % *Acetobacter aceti*	0,037604	1	0,037604	4,38	0,0527
Interacción AB	0,279504	1	0,279504	32,55	0,0000*
Interacción AC	0,182004	1	0,182004	21,19	0,0003*
Interacción BC	0,021004	1	0,021004	2,45	0,1374
Interacción ABC	0,136504	1	0,136504	15,90	0,0011*
Residuos	0,137400	16	0,008587		
TOTAL	0,849962	23			

Fuente: Investigación de campo (2024).

La tabla ADEVA presenta la variabilidad de la acidez de la barra de chocolate con respecto a los 3 factores de estudio. Considerando que el valor-p del factor A tipo de fermentador (0,0344) es menor que 0,05; se determina que este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la acidez de la barra de chocolate con un 95% de nivel de confianza, es decir, que dependiendo del tipo de fermentador utilizado varía la acidez. Para determinar el mejor tratamiento, se realizó la prueba de Tukey al 5% para comparar las medias, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 19: ***Prueba de Tukey para la acidez de la barra de chocolate***

Tratamientos	**Media**	**Error estándar**	**Grupos homogéneos**
1	0,33	0,0378	A
7	0,34	0,0378	A
3	0,35	0,0378	A
6	0,36	0,0378	A
4	0,37	0,0378	B
5	0,40	0,0378	B
8	0,42	0,0378	C
2	0,47	0,0378	D

Fuente: Investigación de campo (2024).

Los resultados obtenidos se compararon con la investigación de Mera (2023), quien estableció que el valor óptimo de acidez para el chocolate se encuentra en el rango de 0,38 a 0,48%. Una acidez en este intervalo contribuye a un sabor equilibrado y armonioso, evitando sabores excesivamente ácidos o amargos que podrían ser desagradables para el consumidor.

Por lo tanto, considerando esta referencia, se concluye que los tratamientos 5, 8 y 2 permiten alcanzar un rango de acidez óptimo para la barra de chocolate, posicionándolos como los tratamientos más efectivos.

4.3.3 Determinación de grados brix de la barra de chocolate

El grado Brix es una medida de la cantidad de azúcar en un producto, comúnmente utilizada en la industria alimentaria para evaluar la dulzura de productos alimenticios. En el caso del chocolate, la dulzura se evalúa a través de la medición en estado líquido. Los resultados obtenidos de los grados brix la barra de chocolate se presentan a continuación:

Tabla 20: ***Valores de grados brix de la barra de chocolate***

Tratamientos	º Brix ($\bar{x}$)
T1	15,0
T2	14,7
T3	15,2
T4	15,3
T5	15,0
T6	15,2
T7	15,2
T8	15,1

Fuente: Investigación de campo (2024).

Con base en los resultados obtenidos, se realizó el análisis de varianza según el siguiente detalle:

Tabla 21: ***Análisis de varianza para los grados brix de la barra de chocolate***

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrados Medios*	*Razón F*	*Valor P*
A: Tipo de fermentador	0,026666	1	0,026666	0,32	0,5822
B: Tiempo de fermentación	0,326667	1	0,326667	3,86	0,0670
C: % *Acetobacter aceti*	0,001666	1	0,001666	0,02	0,8901
Interacción AB	0,166667	1	0,166667	1,97	0,1795
Interacción AC	0,081666	1	0,081666	0,97	0,3404
Interacción BC	0,001666	1	0,001666	0,02	0,8901
Interacción ABC	0,201667	1	0,201667	2,38	0,0142*
Residuos	1,353330	16	0,084583		
TOTAL	2,1600	23			

Fuente: Investigación de campo (2024).

La tabla ADEVA presenta la variabilidad de los grados brix de la barra de chocolate con respecto a los 3 factores de estudio. Considerando que ningún valor-p es menor que 0,05; se determina que ninguno de los factores de estudio tiene efecto estadísticamente significativo sobre los grados brix de la barra de chocolate con un 95% de nivel de confianza. Para determinar el mejor tratamiento, se realizó la prueba de Tukey al 5% para comparar las medias, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 22: ***Prueba de Tukey para los grados brix de la barra de chocolate***

Tratamientos	**Media**	**Error estándar**	**Grupos homogéneos**
7	14,8	0,1187	A
3	14,9	0,1187	A
1	15,0	0,1187	B
6	15,0	0,1187	B
2	15,1	0,1187	B
5	15,1	0,1187	B
4	15,2	0,1187	C
8	15,2	0,1187	C

Fuente: Investigación de campo (2024).

Se aplicó un procedimiento de comparación múltiple (Tukey) para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Se ha identificado 3 grupos homogéneos, según la alineación de los laterales.

Los resultados obtenidos fueron comparados con la investigación de Tigre (2022), quien determinó que el grado Brix de la barra de chocolate está influenciado por el tipo de chocolate que se elabora. En este sentido, el chocolate amargo presenta valores inferiores a 6 Brix, el chocolate semi amargo se encuentra en el rango de 7 a 18 grados Brix, y el chocolate dulce tiene valores superiores a 18 grados Brix.

Así, considerando esta referencia bibliográfica, se concluye que la barra de chocolate producida a partir de los 8 tratamientos se clasifica como chocolate semi amargo, lo que dificulta la identificación de un tratamiento superior.

4.3.4 Análisis sensorial (En este análisis se consideran los siguientes parámetros)

El chocolate es un producto de indulgencia, y su disfrute está estrechamente ligado a la experiencia sensorial. Un producto que ofrece una experiencia sensorial positiva puede generar satisfacción y placer en los consumidores. Por lo tanto, la evaluación sensorial asegura que el chocolate cumpla con las expectativas y preferencias del consumidor en términos de color, olor, sabor, textura y aceptabilidad, lo cual es vital para garantizar la satisfacción del cliente.

Para el análisis de los atributos se utilizó como referencias lo estipulado en las Normas INEN para la captación del cacao.

Los resultados obtenidos de la evaluación sensorial de los atributos antes mencionados, se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 23: ***Evaluación sensorial de la barra de chocolate***

Tratamiento	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad
8	4,8	4,9	4,8	4,9	5
5	4,2	4,3	4,6	4,4	5
2	3,0	4,2	3,8	3,9	4
3	3,0	4,0	4,2	4,0	4
1	3,3	4,0	4,1	4,2	4
7	3,0	4,0	4,0	3,8	4
6	3,1	4,2	4,1	4,2	4
4	2,9	3,0	3,3	3,4	3

Fuente: Investigación de campo (2024).

En la tabla se evidencia los resultados promedio de la evaluación sensorial realizada a la barra de chocolate con respecto a los atributos color, olor, sabor, textura y aceptabilidad, valorados mediante una escala hedónica donde 1 fue la ponderación más baja y 5 la ponderación más alta.

A continuación, se realizó un diseño experimental con la finalidad de identificar el mejor tratamiento mediante el análisis sensorial, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 24: ***Análisis de varianza para el atributo color***

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrados Medios*	*Razón F*	*Valor P*
A: Tipo de fermentador	0,914260	1	0,914260	13,12	0,0264*
B: Tiempo de fermentación	0,533791	1	0,533791	26,75	0,0284*
C: % *Acetobacter aceti*	0,695190	1	0,695190	28,90	0,0462*
Interacción AB	0,742934	1	0,742934	15,32	0,0321*
Interacción AC	0,641523	1	0,641523	16,48	0,0452*
Interacción BC	0,560324	1	0,560324	19,23	0,0482*
Interacción ABC	0,467231	2	0,233615	18,56	0,0383*
Residuos	1,047278	15	0,069818		
TOTAL	0,943133	23			

Fuente: Investigación de campo (2024).

Mediante la tabla ADEVA se determinó la variabilidad de la evaluación sensorial “olor” con respecto a los tres factores en estudio. Considerando que los valores p obtenidos son menores que 0,05 se determina que existe una diferencia estadística significativa del tipo de fermentador, tiempo de fermentación y porcentaje de *Acetobacter aceti* sobre el color con un 95% de confianza.

Los resultados obtenidos evidencian que los distintos niveles de cada uno de los tres factores de estudio influyen sobre el color de la barra de chocolate obtenida. En este sentido, mediante la prueba de Tukey se determinó el promedio de las valores obtenidos que permitieron obtener el mejor tratamiento, según el detalle que se presenta a continuación:

Tabla 25: ***Prueba de Tukey para el color de la barra de chocolate***

Tratamientos	Media	Error estándar	Grupos homogéneos
8	4,8	0,4871	A
5	4,2	0,4871	B
1	3,3	0,4871	C
6	3,1	0,4871	C
2	3,0	0,4871	C
3	3,0	0,4871	C
7	3,0	0,4871	C
4	2,9	0,4871	C

Fuente: Investigación de campo (2024).

Con base en las valoraciones promedio, se determinó que el tratamiento 8: fermentación en sacos de yute + 96 horas de fermentación + 5% de *Acetobacter aceti*, permite obtener las mejores valoraciones de los catadores con respecto al color, catalogándolo como el mejor.

De la misma manera se realizó el análisis de varianza del atributo sensorial olor, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 26: ***Análisis de varianza para el atributo olor***

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrados Medios*	*Razón F*	*Valor P*
A: Tipo de fermentador	0,337684	1	0,166667	20,31	0,0001*
B: Tiempo de fermentación	0,482943	1	0,249230	29,25	0,0230*
C: % *Acetobacter aceti*	0,259206	1	0,001666	0,02	0,0301*
Interacción AB	0,374621	1	0,374621	12,45	0,0452*
Interacción AC	0,456321	1	0,456321	16,45	0,0437*
Interacción BC	0,465739	1	0,465739	18,23	0,0371*
Interacción ABC	0,584031	2	0,292015	19,21	0,0378*
Residuos	0,106667	15	0,000711		
TOTAL	0,924321	23			

Fuente: Investigación de campo (2024).

Mediante la tabla ADEVA se determinó la variabilidad de la evaluación sensorial "olor" con respecto a los tres factores en estudio. Considerando que los valores p obtenidos son menores que 0,05 se determina que existe una diferencia estadística significativa del tipo de fermentador, tiempo de fermentación y porcentaje de *Acetobacter aceti,* sobre el olor con un 95% de confianza.

Los resultados obtenidos evidencian que los distintos niveles de cada uno de los tres factores de estudio influyen sobre el olor de la barra de chocolate obtenida. En este sentido, mediante la prueba de Tukey se determinó el promedio de las valoraciones que permitieron obtener el mejor tratamiento.

Tabla 27: ***Prueba de Tukey para el olor de la barra de chocolate***

Tratamientos	**Media**	**Error estándar**	**Grupos homogéneos**
8	4,9	0,4711	A
5	4,3	0,4711	B
2	4,2	0,4711	B
6	4,2	0,4711	B
3	4,0	0,4711	B
1	4,0	0,4711	B
7	4,0	0,4711	B
4	3,0	0,4711	C

Fuente: Investigación de campo (2024).

Con base en las valoraciones promedio, se determinó que el tratamiento 8: fermentación en sacos de yute + 96 horas de fermentación + 5% de *Acetobacter aceti*, permite obtener las mejores valoraciones de los catadores con respecto al olor, catalogándolo como el mejor.

De la misma manera se realizó en análisis de varianza (DBCA) para el atributo sensorial sabor, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 28: ***Análisis de varianza para el atributo sabor***

Fuente	***Suma de Cuadrados***	***Gl***	***Cuadrados Medios***	***Razón F***	***Valor P***
A: Tipo de fermentador	0,57830	1	0,57830	15,62	0,0185*
B: Tiempo de fermentación	0,49320	1	0,49320	22,31	0,0214*
C: % *Acetobacter aceti*	0,62415	1	0,62415	28,51	0,0390*
Interacción AB	0,74532	1	0,74532	17,45	0,0428*
Interacción AC	0,63892	1	0,63892	18,32	0,0321*
Interacción BC	0,68901	1	0,68901	14,11	0.0421*
Interacción ABC	0,57201	2	0,28600	16,78	0,0251*
Residuos	0,93420	15	0,06228		
TOTAL	0,87540	23			

Mediante la tabla ADEVA se determinó la variabilidad de la evaluación sensorial “sabor” con respecto a los tres factores en estudio. Considerando que los valores p obtenidos son menores que 0,05 se determina que existe una diferencia estadística significativa del tipo de fermentador, tiempo de fermentación y porcentaje de *Acetobacter aceti* sobre el sabor con un 95% de confianza.

Los resultados obtenidos evidencian que los distintos niveles de cada uno de los tres factores de estudio influyen sobre el sabor de la barra de chocolate obtenida. En este sentido, mediante la prueba de Tukey se determinó el promedio de las valoraciones que permiten determinar el mejor tratamiento, según el siguiente detalle:

Tabla 29: ***Prueba de Tukey para el sabor de la barra de chocolate***

Tratamientos	Media	Error estándar	Grupos homogéneos
8	4,8	0,4652	A
5	4,6	0,4652	A
3	4,2	0,4652	B
1	4,1	0,4652	B
6	4,1	0,4652	B
7	4,0	0,4652	B
2	3,8	0,4652	B
4	3,3	0,4652	C

Fuente: Investigación de campo (2024).

Con base en las valoraciones promedio, se determinó que el tratamiento 8: fermentación en sacos de yute + 96 horas de fermentación + 5% de *Acetobacter aceti*, permite obtener las mejores valoraciones de los catadores con respecto al sabor, catalogándolo como el mejor.

De la misma manera se realizó en análisis de varianza para el atributo sensorial textura, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 30: ***Análisis de varianza para el atributo textura***

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrados Medios*	*Razón F*	*Valor P*
A: Tipo de fermentador	0,68749	1	0,68749	14,89	0,0217*
B: Tiempo de fermentación	0,55261	1	0,55261	19,12	0,0238*
C: % *Acetobacter aceti*	0,76538	1	0,76538	24,57	0,0379*
Interacción AB	0,65431	1	0,65431	19,23	0,0321*
Interacción AC	0,76390	1	0,76390	18,50	0,0283*
Interacción BC	0,56321	1	0,56321	16,89	0,0412*
Interacción ABC	0,65903	2	0,32951	17,14	0,0485*
Residuos	1,03417	15	0,06894		
TOTAL	0,90245	23			

Fuente: Investigación de campo (2024).

Mediante la tabla ADEVA se determinó la variabilidad de la evaluación sensorial “textura” con respecto a los tres factores en estudio. Considerando que los valores p obtenidos son menores que 0,05 se determina que existe una diferencia estadística significativa del tipo de fermentador, tiempo de fermentación y porcentaje de *Acetobacter aceti* sobre la textura con un 95% de confianza.

Los resultados evidencian que los diferentes niveles de los tres factores estudiados influyen significativamente en la textura de la barra de chocolate. A través de la prueba de Tukey, se determinaron los promedios de las valoraciones, lo que permitió identificar el mejor tratamiento, como se detalla a continuación:

Tabla 31: ***Prueba de Tukey para la textura de la barra de chocolate***

Tratamientos	Media	Error estándar	Grupos homogéneos
8	4,9	0,3986	A
5	4,4	0,3986	B
1	4,2	0,3986	B
6	4,2	0,3986	B
3	4,0	0,3986	B
2	3,9	0,3986	C
7	3,8	0,3986	C
4	3,4	0,3986	D

Fuente: Investigación de campo (2024).

Con base en las valoraciones promedio, se determinó que el tratamiento 8: fermentación en sacos de yute + 96 horas de fermentación + 5% de *Acetobacter aceti*, permite obtener las mejores valoraciones de los catadores con respecto la textura, catalogándolo como el mejor.

Finalmente, se realizó en análisis de varianza para el atributo sensorial aceptabilidad, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 32: ***Análisis de varianza para el atributo aceptabilidad***

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrados Medios*	*Razón F*	*Valor P*
A: Tipo de fermentador	0,74532	1	0,74532	16,45	0,0194*
B: Tiempo de fermentación	0,65849	1	0,65849	21,56	0,0241*
C: % *Acetobacter aceti*	0,82136	1	0,82136	25,74	0,0342*
Interacción AB	0,65431	1	0,74104	19,19	0,0234*
Interacción AC	0,76390	1	0,84210	18,45	0,0312*
Interacción BC	0,56321	1	0,64521	11,28	0,0345*
Interacción ABC	0,65903	2	0,32951	14,90	0,0401*
Residuos	1,13258	15	0,07550		
TOTAL	0,96340	23			

Fuente: Investigación de campo (2024).

Mediante la tabla ADEVA se determinó la variabilidad de la evaluación sensorial “aceptabilidad” con respecto a los tres factores en estudio. Considerando que los valores p obtenidos son menores que 0,05 se determina que existe una diferencia estadística significativa del tipo de fermentador, tiempo de fermentación y porcentaje de *Acetobacter aceti* sobre la aceptabilidad con un 95% de confianza.

Los resultados obtenidos evidencian que los distintos niveles de cada uno de los tres factores de estudio influyen sobre la aceptabilidad de la barra de chocolate obtenida. En este sentido, mediante la prueba de Tukey se determinó el promedio de las valoraciones que permiten determinar el mejor tratamiento, según el siguiente detalle:

Tabla 33: ***Prueba de Tukey para la aceptabilidad de la barra de chocolate***

Tratamientos	Media	Error estándar	Grupos homogéneos
8	5,0	0,8941	A
5	5,0	0,8941	A
2	4,0	0,8941	B
3	4,0	0,8941	B
1	4,0	0,8941	B
7	4,0	0,8941	B
6	4,0	0,8941	B
4	3,0	0,8941	C

Fuente: Investigación de campo (2024).

Con base en las valoraciones promedio, se determinó que el tratamiento 8: fermentación en sacos de yute + 96 horas de fermentación + 5% de *Acetobacter aceti*, permite obtener las mejores valoraciones de los catadores con respecto a la aceptabilidad, catalogándolo como el mejor.

4.3.5 Análisis microbiológico (*E. coli)*

Con la finalidad de garantizar la calidad de la barra de chocolate elaborada, se realizó en análisis microbiológico de *E. coli* a cada uno de los tratamientos, obteniendo los siguientes resultados:

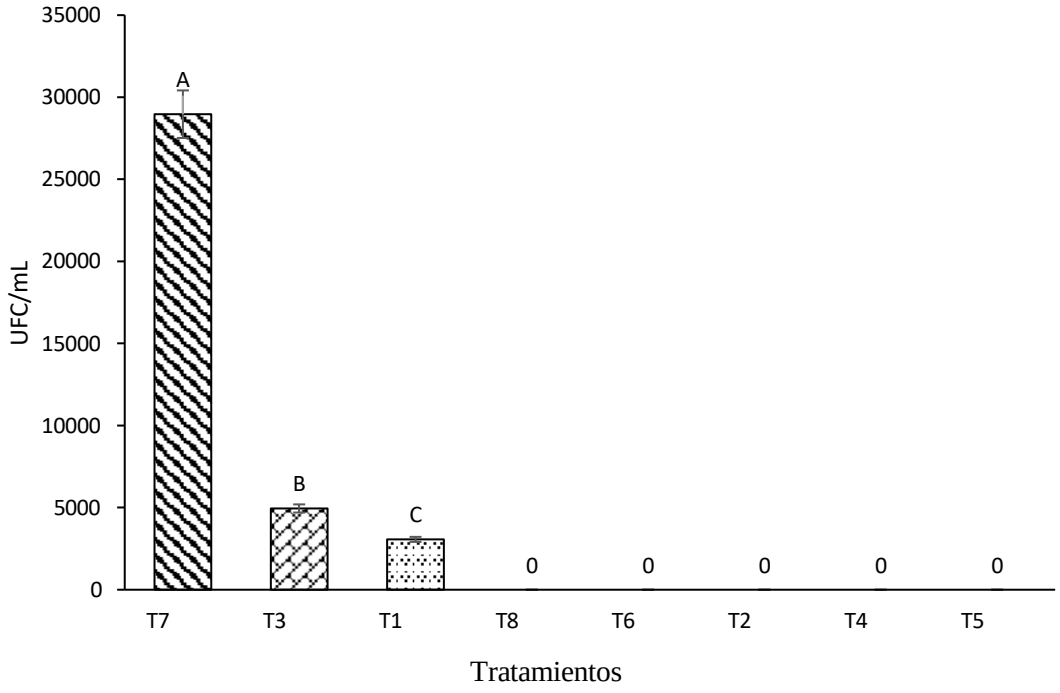
Tabla 34: ***Análisis microbiológico (E. coli) a los tratamientos***

Tratamientos	*E. coli* ($\bar{x}$)
T1	$3{,}07 \times 10^{3}$
T2	0
T3	$4{,}95 \times 10^{3}$
T4	0
T5	0
T6	0
T7	$2{,}90 \times 10^{4}$
T8	0

Fuente: Investigación de campo (2024).

Según los resultados obtenidos se determina que 5 de los 8 tratamientos tienen ausencia de la batería patógena *E coli*, lo cual garantiza la calidad microbiológica del producto. Este análisis también se lo realiza de manera gráfica, obteniendo los siguientes resultados:

Gráfico 3: ***Análisis microbiológico de los tratamientos para elaborar la barra de chocolate***



Fuente: Investigación de campo (2024).

Los resultados del análisis microbiológico muestran una ausencia total de *E. coli* en el tratamiento 8, identificado como el más efectivo. Esto confirma que el proceso de elaboración de la barra de chocolate, utilizando fermentación en sacos de yute durante 96 horas con la adición del 5% de *Acetobacter aceti*, garantiza la calidad microbiológica del producto final, asegurando su inocuidad para el consumidor.

4.4 Determinar la relación costo-beneficio del mejor tratamiento

Para obtener el costo de la materia prima se determinó la cantidad de granos de cacao y demás insumos para la elaboración de una tableta de chocolate de 250 gramos elaborada mediante las condiciones establecidas en el tratamiento 8. Los costos referenciales se presentan a continuación:

Tabla 35*: Costos de materia prima directa*

Materia prima	Unidad	Cantidad	Costo ($)	Total ($)
Grano de cacao	kilogramo	6	3,50	21,00
Manteca de cacao	gramo	200	0,40	1,20
Azúcar blanca	kilogramo	1	1,00	1,00
			Total ($)	**23,20**

Fuente: Investigación de campo (2024).

Tabla 36*: Costos de materia prima indirecta*

Materia prima	Unidad	Cantidad	Costo ($)	Total ($)
Empaques (fundas de celofán)	unidad	26	0,06	1,56
Etiquetas	unidad	26	0,03	0,78
			Total ($)	**2,34**

Fuente: Investigación de campo (2024).

Tabla 37*: Costos de mano de obra para la elaboración de la barra de chocolate*

Materia prima	Unidad	Cantidad	Costo mes ($)	Costo jornada ($)	Total ($)
Mano de obra	-	1	450,00	22,50	22,50
				Total ($)	**22,50**

Fuente: Investigación de campo (2024).

- **Cantidad de agua requerida**

Tabla 38: ***Costos de agua requerida para el proceso***

Modo de empleo	Consumo (m^3)	Costo ($) / m^3	Total ($)
Limpieza de equipos	0,09	0,45	0,04
Limpieza de la planta	0,10	0,45	0,05
Limpieza/aseo del personal	0,05	0,45	0,02
		Total ($):	**0,11**

Fuente: Investigación de campo (2024).

- **Cantidad de energía eléctrica consumida**

Tabla 39: ***Costos de energía eléctrica requerida para el proceso***

Modo de empleo	Consumo (Kw.h)	Costo ($) / Kw.h	Total ($)
Molino	0,7	0,10	0,07
Conchadora	0,9	0,10	0,09
Baño María	1,1	0,10	0,11
		Total ($):	**0,27**

Fuente: Investigación de campo (2024).

- **Depreciación**

Tabla 40: ***Calculo de la depreciación de equipos utilizados***

Descripción	Valor (USD)	Tiempo vida útil (años)	Carga anual	Carga mensual	Carga jornada
Maquinaria y Equipos	2876,46	20	143,82$	11,98$	0,60$
				Total ($)	**0,60**

Fuente: Investigación de campo (2024).

- **Costo total por la barra de chocolate (250 gramos) (Materia prima directa + materia prima indirecta + mano de obra + consumo agua + consumo energía + depreciación)**

Costo Total ($) = 23,20 + 2,34 + 22,50 + 0,11 + 0,27 + 0,60

Costo total ($) = 49,02

- **Determinación del beneficio por la barra de chocolate elaborada**

Beneficio = Precio de Venta − Costo Total

Beneficio = 81,60 – 49,02 = 32,58$

NOTA: El precio de venta aproximado según referencias comerciales de la barra de chocolate de 250 gramos es $3,40

Determinación de la Relación Costo - Beneficio:

$$\text{Relación Costo – Beneficio} = \frac{Beneficio}{Costo\ total}$$

$$\text{Relación Costo – Beneficio} = \frac{32{,}58}{49{,}02}$$

Relación Costo – Beneficio = 0,66

La relación costo-beneficio obtenida es de 0,66 lo que significa que, por cada dólar invertido en costos de producción, se obtiene un beneficio o rentabilidad de 0,66 centavos de dólar.

CAPÍTULO V
COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Para el desarrollo de la investigación se plantearon las hipótesis que se detallan a continuación:

5.1 Hipótesis nula

H_o = La adición de *Acetobacter aceti* al proceso de fermentación, no mejora las características sensoriales del cacao.

$$T_1 = T_2 = T_{3.....} = T_n$$

5.2 Hipótesis alternativa

H_a = La adición de *Acetobacter aceti* al proceso de fermentación, mejora las características sensoriales del cacao.

$$T_1 \neq T_2 \neq T_{3.....} \neq T_n$$

Para la comprobación de la hipótesis se consideraron los resultados obtenidos de la evaluación sensorial realizado al panel de catadores acorde al análisis de varianza de cada uno de los atributos evaluados en torno a la interacción de los 3 factores de estudio, según el siguiente detalle:

Tabla 41*: Comprobación de la hipótesis*

CARACTERÍSTICAS	p-valor	p-valor (critico)
Color	0,0383	0,05
Olor	0,0378	0,05
Sabor	0,0221	0,05
Textura	0,0485	0,05
Aceptabilidad	0,0401	0,05

Fuente: Investigación de campo (2024).

Para determinar si la hipótesis nula se acepta o se rechaza, se plantea el siguiente criterio de decisión:

Si el valor $p > 0,05$: No se rechaza la hipótesis nula (se acepta).
Si el valor $p < 0,05$ Se rechaza la hipótesis nula (se acepta la hipótesis alternativa, H_1).

Dado que los valores p obtenidos en las tablas ADEVA para las características sensoriales evaluadas son menores a 0,05, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Esto confirma que la adición de *Acetobacter aceti* en el proceso de fermentación mejora las características sensoriales del cacao. La evidencia del análisis sensorial muestra que la incorporación de este microorganismo, en un 5%, influye positivamente en la calidad del producto final, mejorando los atributos sensoriales y, por lo tanto, la aceptación del consumidor.

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Se analizó la materia prima utilizada en el proceso de fermentación, encontrándose los granos de cacao dentro de los rangos basados a la norma INEN para el pH (6-6,5) y grados Brix (12-18), necesarios para un buen proceso fermentativo según lo establecido en la norma INEN 389. De la misma manera, la humedad del grano fresco se encontraba dentro los rangos recomendados (45-60%) así como el estado de madurez de las mazorcas (grado 5) según la norma INEN 176, lo que permitió asegurar la calidad del producto final.

- Se determinó el mejor parámetro de fermentación del cacao mediante la prueba de corte en los granos fermentados, lo que permitió evaluar la calidad del proceso. Todos los granos evaluados a las 96 horas de fermentación mostraron un color marrón uniforme, lo que indica una fermentación completa y un desarrollo óptimo de los precursores de sabor.

- Se desarrolló una barra de chocolate a partir de la implementación de los 8 tratamientos estudiados. El proceso de elaboración comenzó con la recolección de la materia prima, obteniéndose una merma aproximada del 27% durante las etapas de limpieza, selección, tostado, descascarillado y triturado del grano, hasta la obtención del producto final: barras de chocolate. A partir de 6 kilogramos de cacao, se produjeron 24 barras de aproximadamente 250 g cada una, correspondientes a los 8 tratamientos con 3 repeticiones por tratamiento.

- Se caracterizaron química, física y sensorialmente los tratamientos propuestos para identificar el más adecuado según lo estipulado en la norma INEN 389. En cuanto al pH, el tratamiento 8 destacó como uno de los mejores con un valor de 5,8, que se encuentra dentro del rango óptimo (5,4 – 5,9). Respecto a la acidez, este tratamiento también fue uno de los más destacados, con un valor de 0,42%, dentro de los límites

permitidos (0,38 – 0,48%). En la evaluación sensorial, el tratamiento 8 obtuvo la mayor puntuación promedio en los atributos de color, olor, sabor, textura y aceptabilidad, con un valor de 4,9 sobre una escala hedónica de 5. Por lo tanto, se concluye que el tratamiento 8, consistente en fermentación en sacos de yute durante 96 horas con la adición del 5% de Acetobacter aceti, es el más efectivo. estaca como uno de los mejores (5,8) que se encuentra dentro del rango óptimo (5,4 – 5,9). En la determinación de acidez, el tratamiento 8 es considerado como uno de los mejores (0,42%) que se encuentra dentro de los límites permitidos (0.38 – 0,48%). En la evaluación sensorial el tiramiento 8 obtuvo también el mejor promedio de valoración para los atributos color, olor, sabor, textura y aceptabilidad con un valor medio de 4,9 sobre una escala hedónica de 5. En este sentido se determinó que el tratamiento 8 fue el mejor, correspondiente a: fermentación en sacos de yute + 96 horas de fermentación + 5% de *Acetobacter aceti.*

- El análisis de la relación costo-beneficio del tratamiento óptimo arrojó un valor de 0,66 dólares, lo que indica que, por cada dólar invertido en los costos de producción, se obtiene un beneficio de 0,66 centavos. Este resultado evidencia un margen de ganancia favorable para la producción de barras de chocolate elaboradas según el proceso establecido en el tratamiento ocho.

6.2 Recomendaciones

- Para mantener la calidad del producto final en el proceso de fermentación de los granos de cacao, se recomienda seguir controlando de manera estricta los parámetros clave de la materia prima. Es fundamental asegurar que los granos se mantengan dentro de los rangos óptimos de pH (6-6,5) y grados Brix (12-18), así como garantizar una humedad adecuada en el grano fresco (45-60%) y utilizar mazorcas con un grado de madurez de 5. Esto permitirá optimizar el proceso fermentativo y garantizar un producto final de alta calidad.

- Establecer un tiempo de fermentación de 96 horas como el parámetro óptimo para obtener una fermentación completa en los granos de cacao, garantizando un color marrón uniforme en la prueba de corte. Este resultado indica el desarrollo adecuado de los precursores de sabor, lo que contribuye a mejorar la calidad sensorial del producto final. Es importante mantener el monitoreo constante del proceso para asegurar que se mantengan las condiciones adecuadas y consistentes en cada lote de fermentación.

- Para optimizar el desarrollo de las barras de chocolate, se recomienda ajustar el proceso de producción teniendo en cuenta la merma aproximada del 27% durante las etapas de limpieza, selección, tostado, descascarillado y triturado del grano. Es crucial continuar monitoreando cada fase del proceso para minimizar las pérdidas y mejorar la eficiencia. Además, se sugiere realizar más pruebas con los tratamientos estudiados para asegurar la consistencia en la calidad y el rendimiento del producto final, logrando una producción eficiente y de alta calidad de las barras de chocolate.

- Implementar el tratamiento 8 para la elaboración de la barra de chocolate, que consiste en la fermentación en sacos de yute durante 96 horas con la adición del 5% de *Acetobacter aceti*, para la producción de cacao de alta calidad. Este tratamiento ha demostrado tener resultados óptimos en los parámetros de pH, acidez, y ha obtenido la mayor puntuación en la evaluación sensorial, asegurando un producto con excelente color, olor, sabor, textura y aceptabilidad. Esto garantiza la mejor calidad para la elaboración de productos derivados del cacao.

- Se recomienda continuar con la implementación del tratamiento ocho en la producción de

barras de chocolate, ya que el análisis de costo-beneficio muestra un valor favorable de 0,66 dólares. Esto indica una rentabilidad adecuada, con 0,66 centavos de beneficio por cada dólar invertido en los costos de producción. Para mejorar aún más el margen de ganancia, se sugiere evaluar posibles optimizaciones en las etapas del proceso, manteniendo la calidad del producto final y la satisfacción del consumidor.

BIBLIOGRAFÍA

Abad, G., Salgado, F., Acuña, C., & Naranjo, K. (2020). El rol de la tecnología en el proceso productivo del cacao y chocolate en una organización de desarrollo . *Revista amazónica ciencia y tecnología, 9*(1), 129-131. https://doi.org/10.59410/RACYT-v09n01ep03-0126

Alcívar, K., Quezada, J., Barrezueta, S., Garzón, V., & Carvajal, H. (2021). Análisis económico de la exportación del cacao en el Ecuador durante el periodo 2014v– 2019. *Revista Dialnet, 6*(3), 2430-2444.https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7926903

Alvarado, K. (2021). "Fermentación de cacao (theobroma cacao l.) con adición de levadura *(saccharomyces cerevisiae*) y ENZIMA (PPO´S) en la disminución de metales pesados". *Universidad Técnica Estatal de Quevedo*. doi:http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6143

Amador, C., Alvarado, A., Farah, S., & Martillo, J. (2022). Caracterización morfológica del cacao nacional "*Theobroma cacao L.*" del cantón Naranjal, Ecuador . *Revista tecnológica ESPOL*, https://doi.org/10.37815/rte.v34n4.978 Andrade, J., Rivera, J., Chile, G., & Ureña, M. (2019). Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao (*Theobroma cacao L*.) de Ecuador y Perú. *Revista Enfoque UTE, 10*(4), 222-229. https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n4.462 ANECACAO. (2021). Sector Cacaotero Ecuatoriano. Quito - Ecuador: *Asociación Nacional de Exportadores de Cacao*. https://anecacao.com/

Avendaño, C., Suárez, M., Mendoza, A., Martínes, M., Reyes, J., & Espinoza, S. (2021). Composición arbórea de especies asociadas al cacao: selva Lacandona y sistemas agroforestales, Chiapas, México. *Revista agronomía mesoamericana*, *32*(2), 365-381. doi:10.15517/am.v32i2.41630

Ayala, R. (2022). Ecología microbiana de la fermentación del cacao fino de aroma de Amazonas, Perú. *Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazona*s . doi:https://hdl.handle.net/20.500.14077/3013

Bermúdez, H. (2021). Estudio de prefactibilidad para la creación de una microempresa productora de Cacao y sus derivados en la ciudad de Bogotá. *Universidad*

Católica de Colombia. doi:https://hdl.handle.net/10983/25480

Bravo, K., & Tuárez, D. (2023). Micro fermentación de cacao (*Theobroma cacao L*.) en cajas de madera no convencionales: Impacto en la calidad del licor. *Universidad Técnica Estatal de Quevedo*. doi:https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6960

Cañarte, E., Montero, S., & Navarrete, J. (2021). Reconocimiento, importancia y cuidado de los polinizadores en los sistemas de producción del cacao. *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)*. http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5749

Caroca, R., & Aucapiña, L. (2023). Identificación y purificación de enzimas pectinolíticas de levaduras provenientes de la fermentación del cacao para su aplicación en la industria alimentaria. *Universidad del Azuay*. doi:http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/13080

Cedeño, E., & Dilas, J. (2022). Producción y exportación del cacao ecuatoriano y el potencial del cacao fino de aroma . *Revista de investigación científica y tecnológica Qantu Yachay, 2*(1), 45-58. https://doi.org/10.54942/qantuyachay.v2i1.17

Chapa, S. (2022). Caracterización física y química de almendras secas del cacao fino de aroma *(Theobroma cacao L*.) provenientes de la región Amazonas. *Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza*: https://hdl.handle.net/20.500.14077/2704 .

Cobos, F., Alcívar, L., Alvarado, A., & Obando, M. (2022). Índices de calidad en la comercialización del cacao *(Theobroma cacao l.*) en Ecuador. *Revista Ciencia e Investigación, ISSN 2528-8083, Vol. 7,* https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8808261.

Cocom, B. (2021). Estudio del proceso de fermentación de los granos de cacao *(theobroma cacao*) en México. *Revista DIALNET, 1*(1), 111-119. https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=288218

Córdova, V. P., & Chávez, E. (2019). Valor comercial del chocolate casero . *Revista Agricultura, 12*(7). https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1439

Corporación Financiera Nacional. (2020). Cultivo de cacao. Elaboración de cacao, chocolate. Quito-Ecuador: *Corporación Financiera Nacional*. www.cfn.fin.ec

Coto, E. (2019). Determinación de la respuesta glucémica en ratones experimentales entre tres tipos de chocolate . *Alerta, Revista científica Del Instituto Nacional De Salud, 2*(2), 117–124. doi:https://doi.org/10.5377/alerta.v2i2.8054

Erazo, C., Bravo, K., Tuarez, D., & Fernández, A. (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 TALENTOS, 8*(2), 42-55. doi:https://doi.org/10.33789/talentos.8.2.153

Erazo, K., Robles, D., Quiñones, L., & Saquisari, D. (2021). Auditoría integral en inventarios y costos de ventas en negocios del cacao ecuatoriano. *Revista Dialnet, 27*(3), 391-403. https://www.redalyc.org/journal/280/28068276030/html/

Espinoza, J. (2020). Control cultural de Moniliophthora roreri en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao L.*), en la zona de Catarama. *Universidad Técnica de Babahoyo*. doi:http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8376

Freire, D., & Díaz, D. (2022). Método de fermentación y secado para el beneficio de la obtención del chocolate blanco a partir del cacao criollo (*Theobroma cacao L*.), ecuatoriano. *Revista Universidad y Sociedad, 14*(1), 323-329. doi:https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2788

García, A., Pico, B., & Jaimez, R. (2021). La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. *Revista Digital Novasinergia, 4*(2), 85-93. doi:https://doi.org/10.37135/ns.01.08.10

García, R., & Quevedo, J. S. (2019). Valoración del estado agronómico de las plantaciones de cacao nacional en el Ecuador. *Revista metropolitana de Ciencias aplicadas, 2*(2), 23-32. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=721778101015

INEC. (2021). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua. Quito - Ecuador: *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*.

INEN. (2021). Granos de cacao. Requisitos. Quito-Ecuador: *Instituto Nacional de Estandarización y Normalización.*

INIAP. (2019). La cadena de valor del cacao en América Latina y el Caribe. *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias*. doi:http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5382

León, L. (2021). Identificación Molecular de Levaduras Asociadas a la Fermentación de Cacao Artesanal en el Departamento de Santander . *Universidad de Santander*. doi:https://repositorio.udes.edu.co/handle/001/5526

López, N., Duarte, J., Nino, J., Rozo, J., & Pozo, J. (2021). Cacao criollo su importancia para la gastronomía el turismo cambio climático y algunas preparaciones a base de sus residuos. *Revista TURPADE, 7*(13), 88-96. https://revistaturpade.lasallebajio.edu.mx/index.php/turpade/article/view/30

Macías, D. (2022). Los micronutrientes y su importancia en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*). *Universidad Técnica de Babahoyo*. http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11363

MAG. (2022). Proyecto de reactivación del Cacao Fino y de Aroma. Quito - Ecuador: *Mnisterio de Agricultura y Ganadería*. https://www.agricultura.gob.ec/magap-impulsa-proyecto-de-reactivacion-del-cacao-fino-y-de-aroma/

Marcillo, J., Gómez, j., & Martínez, F. (2020). Mejoramiento de la calidad del cultivo de cacao en Ecuador. *Revista Venezolana de Gerencia: RVG,, 25*(3), 44-57. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8890912

Martínez, N., & Ligarreto, G. (2023). Análisis sensorial del licor de cacao (*Theobroma cacao L.*) en cultivares de diferentes orígenes cultivados en el trópico colombiano. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 17*(2), 23-35. https://doi.org/10.17584/rcch.2023v17i2.15876.

Mendoza, Á., García, N., Cedeño, Á., & Cedeño, W. (2021). El cacao, de recurso agrario a potencial turístico cultural. Motivaciones de sus productores en la

zona centro norte de Manabí, Ecuador. *Revista Turismo y Patrimonio, 17*(1), 61-78. https://doi.org/10.24265/turpatrim.2021.n17.04

Mendoza, E., Cervantes, X., & Zamora, E. (2022). Recorrido histórico de la importancia del cacao para la economía de Ecuador . *Revista Sinergías Educativas, 10*(1), 123-132. doi:https://doi.org/10.37954/se.vi.193

Mera, M. (2023). Estudio de la influencia de la molienda (conchado) en la reducción de la acidez del chocolate de cobertura. Ambato - Ecuador: *Universidad Técnica de Ambato.* https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/37904

Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. (2021). Aromas del Ecuador – Edición Cacao. Quito - Ecuador: *Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca*. https://www.produccion.gob.ec/se-inicio-aromas-del-ecuador-edicion-cacao-vitrina-internacional-con-compradores-de-tres-continentes/

Molina, C., Pillco, S., & Salazar, E. (2020). Producción más limpia como estrategia ambiental preventiva en el proceso de elaboración de pasta de cacao. Un caso en la Amazonia Ecuatoriana. *Revista Industrial Data, 23*(2), 88-98. https://doi.org/10.15381/idata.v23i2.17640

Montaleza, J., Quevedo, J., & García, R. (2020). Análisis de la diversidad morfológica de cacao (*theobroma cacao. l*) del jardín clonal de la Universidad Técnica de Machala . *Revista científica agro ecosistemas, 8*(2), 67-73. http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15553

Moreno, C., Molina, I., Miranda, Z., Moreno, R., & Moreno, P. (2020). Hoy la cadena de valor de cacao en Ecuador: una propuesta de estrategias para coadyuvar a la sostenibilidad. *Revista bioagro, 32*(3). https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7901982

Moreno, E., Gavanzo, Ó., & Rangel, F. (2019). Evaluación de las características físicas y sensoriales de licor de cacao asociadas a modelos de siembra. *Revista Ciencia y Agricultura, 16*(3), 88-96. doi:https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n3.2019.9890

Neira, J., Revilla, Karol, Aldas, J., & Sánchez, S. (2020). Métodos de fermentación del cacao nacional (*theobroma cacao*) y su influencia en las características físico-químicas, contenido de cadmio y perfiles sensoriales. *Revista Alternativas, 21*(3), 42-48. doi:https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8065046

Norma INEN 176. (2021). Grano de cacao. Requisitos. Quito - Ecuador: *Instituto Nacional de Estandarización y Normalización.*

Parada, O., & Velóz, R. (2021). Análisis socioeconómico de productores de cacao, localidad Guabito, provincia Los Ríos, Ecuador. *Revistas Ciencias Holguín, 27*(1), 210-220. doi:https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181565709001

Peña, M., & Prado, P. (2021). Propuesta de una metodología para el análisis sensorial de cacao tostado. *Universidad del Azuay.* doi:http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11270

Peñaherrera, N. D. (2021). Estudio de métodos de fermentación y secado del cacao. *Universidad Central del Ecuador.* doi:http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/24717

Pérez, E. G., Alvarez, C., Lares, M., Martínez, K., Suniaga, G., & Pavani, A. (2021). Cacao, cultura y patrimonio: un hábitat de aroma fino en Venezuela. *Revista RIVAR, 8*(22), 234-245. doi:http://dx.doi.org/10.35588/rivar.v8i22.4781

Ramírez, G. (2023). Creación del Centro de Acopio para la elaboración de pasta de cacao en el cantón Montalvo, provincia de Los Ríos. *Universidad de las Américas UDLA*. doi:http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/14876

Ramón, E. (2021). Diseño de Procesos y la Producción de Chocolate en VyM Inversiones S.R.L. *Universidad Peruana Los Andes.* doi:https://hdl.handle.net/20.500.12848/4508

Rios, J., & Lévano, D. (2022). Importancia de los dispositivos usados en la fermentación de Cacao (*Theobroma cacao L.*) . *Revista Agrotecnológica Amazónica, 2*(1), 281-297. doi:https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.281

Rodríguez, B. (2021). Estudio de factibilidad para la producción de chocolate orgánico negro y su comercialización en las parroquias de Tumbaco y Cumbayá.

Universidad Politécnica Salesiana. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20404

Rodríguez, N., Chávez, B., Gómez de la Cruz, I., Vásquez, M., & Estrada de los Santos, P. (2022). El cultivo del cacao, sus características y su asociación con microorganismos durante la fermentación. *Revista Alianzas y Tendencias BUAP (AyTBUAP), 3*(1), 44-56. doi:https://hdl.handle.net/20.500.12371/15599

Rojas, K., Hernández, C., & Mencía, A. (2021). Transformaciones bioquímicas del cacao *(Theobroma cacao l.*) durante un proceso de fermentación controlada. *Agronomía Costarricense, 45*(1), 101-112. https://doi.org/10.15517/rac.v45i1.45694

Rojas, N. (2022). Idoneidad del territorio para el cultivo sostenible de cacao (*Theobroma cacao L.)* en Perú. *Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas*. doi:https://hdl.handle.net/20.500.14077/2622

Sipe, P., & Peñafiel, W. (2023). Proceso de fermentación del cacao (*Theobroma cacao L.*) en cajas de diversas especies maderables y en distintas épocas de cosechas producidas en Alto Beni . *Revista Científica CIBUM SCIENTIA, 2*(1), 66–76. doi:https://doi.org/10.53287/gpig6349gj58o

Solarte, J., Ballesteros, W., & Calvache, D. (2023). Análisis florístico de los sistemas agroforestales tradicionales de cacao (*Theobroma cacao L*) en Nariño. . *Revista de investigación agraria y ambiental, 14*(1), 234-245. doi:https://doi.org/10.22490/21456453.5648

Sornoza, L., Valencia, L., Corozo, L., Sánchez, F., Salas, C., & Peña, G. (2022). Recursos genéticos de cacao tipo Nacional en Ecuador: una revisión sistemática. *Ciencia y Tecnología , 15*(2), 30-42. https://doi.org/10.18779/cyt.v15i2.582

Tafurt, G., Suarez, O., Lares, M., Álvarez, C., & Liconte, N. (2021). Capacidad antioxidante de un chocolate oscuro de granos cacao orgánico sin fermentar . *Revista Digital de Postgrado, 10*(1), 12-23. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_dp/article/view/20297

Tigre, R. (2022). Optimización del proceso tecnológico de elaboración y terminado de barras de chocolate. *Universidad Técnica de Machala:* http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/19666.

Urbina, M., & Cabellero, L. (2022). Elaboración de una barra de chocolate con leche semidescremada de lactosa. *Revistas Unipamplona*, https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/SEMINVE/article/view/4689.

Ureta, M., Mera, R., Fernández, L., & Vera, J. (2023). Factores culturales en la producción de cacao en Manabí-Ecuador. *Revista de Ciencias Humanísticas y Sociales (ReHuSo)*, *8*(2), 122-134. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2550-65872023000200060

Vargas, G., Morales, V., Badilla, B., & Vargas, D. (2022). Aproximación de la Humedad en Granos de Cacao por Medio de su Actividad de Agua. *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, https://www.researchgate.net/profile/Guillermo-Vargas-Elias/.

Vera, J., Álvarez, M., & Ibáñez, A. (2021). Sistema de producción de la almendra y del cacao, una caracterización necesaria . *Revista DIALNET*, https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8081778.

Villanueva, M. (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*. doi:https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6947

Zapata, K. (2023). Post cosecha y caracterización de cacao mocambo (*Theobroma bicolor Hump & Bonpl. L*) y su efecto en la calidad. Quevedo-Ecuador: *Universidad Técnica de Quevedo*. https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/7045

ANEXOS

Anexo 1: Mapa de ubicación del experimento



Anexo 2: Combinación de factores

Tratamiento	Código	Detalle
T1	$A_1B_1C_1$	Fermentación en caja de madera + 48 horas de fermentación + 3% de *Acetobacter aceti*.
T2	$A_1B_1C_2$	Fermentación en caja de madera + 48 horas de fermentación + 5% de *Acetobacter aceti*.
T3	$A_1B_2C_1$	Fermentación en caja de madera + 96 horas de fermentación + 3% de *Acetobacter aceti*.
T4	$A_1B_2C_2$	Fermentación en caja de madera + 96 horas de fermentación + 5% de *Acetobacter aceti*.
T5	$A_2B_1C_1$	Fermentación en sacos de yute + 48 horas de fermentación + 3% de Acetobacter *aceti*.
T6	$A_2B_1C_2$	Fermentación en sacos de yute + 48 horas de fermentación + 5% de *Acetobacter aceti*.
T7	$A_2B_2C_1$	Fermentación en sacos de yute + 96 horas de fermentación + 3% de *Acetobacter aceti*.
T8	$A_2B_2C_2$	Fermentación en sacos de yute + 96 horas de fermentación + 5% de *Acetobacter aceti*.
DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR (DCA).		

Anexo 3: Base de datos

pH del grano fresco

Tratamientos	R1	R2	R3
T1	6,43	6.38	6,40
T2	6,28	6,30	6,28
T3	6,20	6,23	6,27
T4	6,15	6,18	6,25
T5	6,15	6,18	6,25
T6	6,25	6,25	6,27
T7	6,38	6,35	6,41
T8	6,28	6,30	6,40

Brix del mucilago

Tratamientos	R1	R2	R3
T1	14,5	15	15,1
T2	15,2	16	15
T3	16	15	16
T4	15,2	16	15
T5	16	15,3	16,1
T6	14,5	16	15,5
T7	16	15,3	16
T8	16	16	15,5

Humedad de los granos de cacao fresco

Tratamientos	R1	R2	R3
T1	50,5	55,0	52,0
T2	55,3	52,0	55,0
T3	58,1	57,3	55,3
T4	56,0	55,0	55,5
T5	59,1	59,0	58,9
T6	56,0	55,5	54,8
T7	54,0	55,1	55,0
T8	57,3	56,2	57,0

Prueba de corte en el grano fermentado

Tratamientos	Corte día 2	Corte día 4
T1	Grano violeta	Grano fermentado
T2	Grano violeta	Grano sobre fermentado
T3	Grano violeta	Grano fermentado
T4	Grano violeta	Grano fermentado
T5	Grano violeta	Grano sobre fermentado
T6	Grano violeta	Grano fermentado
T7	Grano violeta	Grano fermentado
T8	Grano violeta	Grano fermentado

Humedad en el grano fermentado

Tratamientos	R1	R2	R3
T1	4,51	4,91	4,56
T2	5,12	4,77	5,28
T3	4,56	5,20	5,12
T4	5,08	4,85	4,29
T5	4,25	4,98	4,49
T6	4,70	5,20	5,10
T7	4,21	4,95	4,50
T8	4,10	4,19	4,25

pH en el grano fermentado

Tratamientos	R1	R2	R3
T1	5,42	5,38	5,42
T2	5,43	5,42	5,43
T3	5,30	5,19	5,30
T4	5,46	5,40	5,18
T5	5,14	5,18	5,38
T6	5,27	5,38	5,13
T7	5,19	5,13	5,20
T8	5,38	5,46	5,31

pH en la barra de chocolate

Tratamientos	R1	R2	R3
T1	5,91	5,91	6,16
T2	6,12	5,77	5,91
T3	6,16	5,80	5,92
T4	6,08	5,81	5,99
T5	5,75	5,98	5,69
T6	6,33	5,64	5,20
T7	5,21	5,95	5,40
T8	5,10	5,49	5,35

Acidez en la barra de chocolate

Tratamientos	R1	R2	R3
T1	0,18	0,22	0,31
T2	0,45	0,84	0,81
T3	0,16	0,21	0,20
T4	0,22	0,22	0,26
T5	0,34	0,45	0,51
T6	0,21	0,29	0,24
T7	0,44	0,52	0,59
T8	0,48	0,51	0,55

Grados brix en la barra de chocolate

Tratamientos	R1	R2	R3
T1	14,6	15,2	15,3
T2	14,5	14,8	14,8
T3	15,1	15,2	15,4
T4	15,2	15,1	15,6
T5	15,3	14,5	15,1
T6	15,1	15,2	15,4
T7	14,9	15,2	15,5
T8	14,8	15,1	15,5

Evaluación sensorial de la barra de chocolate

Tratamiento	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad
8	4,8	4,9	4,8	4,9	4,9
5	4,2	4,3	4,6	4,4	4,7
2	3,0	4,2	3,8	3,9	4,2
3	3,0	4,0	4,2	4,0	4,1
1	3,3	4,0	4,1	4,2	4,1
7	3,0	4,0	4,0	3,8	4,1
6	3,1	4,2	4,1	4,2	4,0
4	2,9	3,0	3,3	3,4	3,2

Anexo 4: Ficha de evaluación sensorial del producto terminado

Marque con una X el casillero que corresponda su evaluación sensorial de los diferentes tratamientos de la barra de chocolate.

PARÁMETROS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
COLOR								
5. Café característico								
4. Café tenue								
3. Manchas y decoloraciones								
2. Crema tenue								
1. Crema intenso								
OLOR								
5. Agrada mucho								
4. Agrada poco								
3. Ni agrada ni desagrada								
2. Desagrada								
1. Desagrada mucho								
SABOR								
5. Agrada mucho								
4. Agrada poco								
3. Ni agrada ni desagrada								
2. Desagrada								
1. Desagrada mucho								
TEXTURA								
5. Característico a barras								
4. Semi blando								
3. Blando								
2. Duro								
1. Muy duro								
ACEPTABILIDAD								
5. Muy aceptable								
4. Poco aceptable								
3. Aceptable								
2. Inaceptable								
1. Muy inaceptable								

¡Gracias por su colaboración ¡

Anexo 5: Fotografías del proceso investigativo

Análisis físico químico de la materia prima









Métodos de fermentación del cacao









Control de la fermentación





Control del grano fermentando





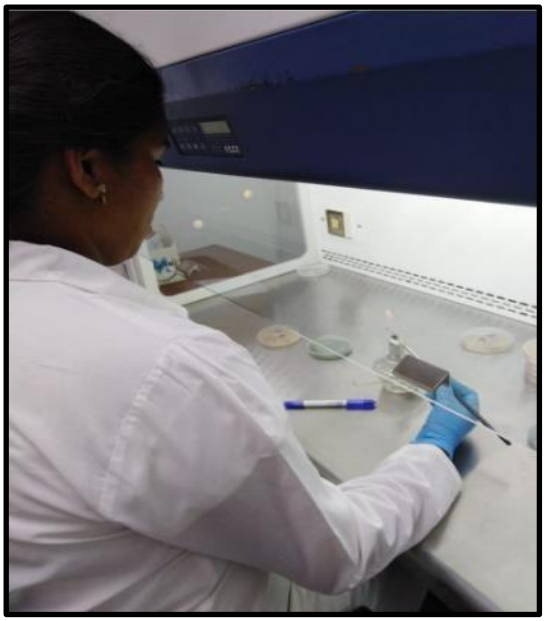
Elaboración de barras de chocolate





Control microbiológico





Anexo 6: Glosario de Términos

Almendra de cacao: Corresponde al fruto proveniente de la mazorca de cacao, el mismo que es utilizado para la elaboración de chocolate.

Bloom: Formación de manchas blancas en la superficie del chocolate, causada por la recristalización de la grasa (fat bloom) o azúcar (sugar bloom).

Conchado: Proceso de mezcla y aireación del chocolate líquido durante varias horas o días para mejorar su textura y sabor.

Cristalización Fraccionada: Técnica avanzada de templado que controla la formación de diferentes tipos de cristales de manteca de cacao para mejorar la textura y estabilidad del chocolate.

Descascarillado: Proceso de separar la cáscara de los nibs de cacao después del tostado y la trituración.

Granulación: Proceso de aglomerar partículas finas en una masa más gruesa, a menudo utilizado en la producción de chocolate en polvo o granulados.

Índice de madurez: Corresponde al estado de madurez que poseen los productos vegetales, frutas y hortalizas al ser cosechados, es específicamente importante para su manejo, transportación y comercialización ya que repercute directamente en su calidad y potencial de conservación de fresco.

Fermentación: es un proceso catabólico de oxidación incompleta, que no requiere oxígeno, y el producto final es un compuesto orgánico. Según los productos finales, existen diversos tipos de fermentaciones.

Fruto baya oblonga. Durante el desarrollo del fruto éstos se doblan geo trópicamente para acoplarse a las condiciones climáticas.

Higroscópico: Sustancias que absorbe los olores del medio donde se almacena, principalmente absorbe humedad.

Masa de Cacao: Producto intermedio en la fabricación de chocolate, obtenido al moler nibs de cacao hasta convertirlos en una pasta espesa.

Manteca de Cacao: Grasa natural presente en los granos de cacao, extraída durante el proceso de prensado de la masa de cacao.

Materias vegetales extrañas: hojas o porciones de planta de arándanos y otras materias vegetales innocuas semejantes.

Nibs de Cacao: Trozos de granos de cacao tostados y triturados, que se utilizan en la producción de chocolate.

Licor de Cacao: Otro nombre para la masa de cacao, que contiene tanto sólidos de cacao como manteca de cacao.

Propagación microbiana: Se llama propagación microbiana al conjunto de fenómenos físicos que conducen a que los microrganismos sembrados en un medio se reproduzcan

Refinado: Proceso de molienda de la masa de cacao y otros ingredientes hasta obtener una textura fina y suave.

Secado es un método de conservación de alimentos consistente en extraer el agua de estos, lo que evita la proliferación de microorganismos y la putrefacción.

Tableado: Técnica de templado del chocolate que implica verterlo sobre una superficie de mármol y trabajarlo con espátulas para controlar su temperatura.

Templado: Proceso de enfriamiento controlado del chocolate para estabilizar los cristales de manteca de cacao, logrando un producto final brillante y crujiente.