

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE
INGENIERÍA EN AGRONOMÍA TROPICAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**Evaluación de tres métodos y cinco períodos de fermentación de las semillas de
Theobroma cacao L., Malvaceae, “Cacao”, en finca El Faro, El Palmar,
Quetzaltenango.**

ADÁN CASTAÑEDA CABRERA

Carné 201443779

DPI: 2974412721010

adan77645@gmail.com

MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ, SEPTIEMBRE DE 2024.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE
INGENIERÍA EN AGRONOMÍA TROPICAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN

**Evaluación de tres métodos y cinco períodos de fermentación de las semillas de
Theobroma cacao L., Malvaceae, “Cacao”, en finca El Faro, El Palmar,
Quetzaltenango.**

Por

ADÁN CASTAÑEDA CABRERA

Carné 201443779

Ing. MSc. Martín Salvador Sánchez Cruz

ASESOR-SUPERVISOR

MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ, SEPTIEMBRE DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE

M.A. Walter Ramiro Mazariegos Biolis

Rector

Lic. Luis Fernando Cordón Lucero

Secretario General

CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE

M.A. Luis Carlos Muñoz López

Director en Funciones

REPRESENTANTE DE PROFESORES

M.Sc. Edgar Roberto del Cid Chacón

Vocal

REPRESENTANTE GRADUADO DEL CUNSUROC

Lic. Vílser Josvin Ramírez Robles

Vocal

REPRESENTANTES ESTUDIANTILES

TPA. Angélica Magaly Domínguez Curiel

Vocal

PEM y TAE. Rony Roderico Alonzo Solís

Vocal

COORDINACIÓN ACADÉMICA

M.Sc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar
Coordinador Académico

Dr. Álvaro Estuardo Gutiérrez Gamboa
Coordinador Carrera de Licenciatura en Administración de Empresas

M.A. Rita Elena Rodríguez Rodríguez
Coordinadora Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

Dr. Nery Edgar Saquimux Canastuj
Coordinador de las Carreras de Pedagogía

M.Sc. Víctor Manuel Nájera Toledo
Coordinador Carrera de Ingeniería en Alimentos

Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales
Coordinador Carrera de Ingeniería en Agronomía Tropical

M.Sc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes
Coordinadora Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local

M.Sc. Tania María Cabrera Ovalle
**Coordinadora Carrera de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales,
Abogacía y Notariado**

Lic. José Felipe Martínez Domínguez
Coordinador de Área

CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA

Lic. Néstor Fridel Orozco Ramos
Coordinador de las Carreras de Pedagogía

M.A. Juan Pablo Ángeles Lam
**Coordinador Carreras de Periodista Profesional y
Licenciatura en Ciencias de la Comunicación**

Mazatenango, febrero de 2024.



Señores

Honorable Consejo Directivo

Centro Universitario de Suroccidente

Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetables Miembros del Consejo Directivo:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el Trabajo de Graduación titulado: **“Evaluación de tres métodos y cinco períodos de fermentación de las semillas de *Theobroma cacao* L., Malvaceae, “Cacao”, en finca El Faro, El Palmar, Quetzaltenango”**, presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrarias.

Sin otro particular, me suscribo.

Atentamente.

“Id y enseñad a todos”

**TPA. Adán Castañeda Cabrera
Carné 201443779**

DEDICATORIA

A DIOS: Por darme la vida, bendecirme todos los días y permitirme alcanzar una meta más.

A MI MADRE: **Ana Abril Cabrera Arreaga.** Le dedico especialmente este Acto por ser uno de sus anhelos, por motivarme constantemente para alcanzar mis metas. Esta meta cumplida sé que es uno de tus orgullos.

A MI PADRE: **Adán Castañeda Mancio.** Por todo el apoyo que me brindó durante mi carrera, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, gracias por todos tus desvelos, trabajo, consejos y apoyo incondicional.

A MIS HERMANAS: **Yasmin Analy Castañeda Cabrera y Estefany Gabriela Castañeda Cabrera.** Para ser el ejemplo de que las metas se cumplen, solo hay que perseverar y no rendirse en el proceso.

A MI ESPOSA: **Carol Beatriz Fernández Alvarado.** Por tu apoyo inquebrantable, tu paciencia y tu amor incondicional, han sido parte fundamental para no rendirme, por alentarme a cumplir mis metas, te amo.

A MI HIJA: **Ana Carolina Castañeda Fernández.** Por ser el motor de mi vida, por ser la persona que vino a cambiar cada uno de mis pensamientos, eres la persona por quien quiero ser mejor cada día. Espero poder ser ejemplo para tu vida y apoyarte en cada etapa que atraveses en la vida. Te amo mi Anita.

A MI SUEGRO: **Héctor Rodolfo Fernández Cardona.** Por el apoyo brindado en todo momento de este proceso, por apoyarme en cada sugerencia brindada durante este proceso, por instarme a no rendirme a culminar esta carrera.

A MI FAMILIA:

Por ser parte muy importante en una etapa de mi formación profesional y siempre creer que lo lograría. Siempre me he sentido bendecido por la familia que tengo, preocupándose por motivarme a seguir adelante, ante las adversidades de la vida.

A MI AMIGO:

Juan Manuel Contreras Juárez. Por apoyarme dentro y fuera de la Universidad, porque ha demostrado que los buenos amigos si existen.

AGRADECIMIENTOS

A MIS ASESORES

Ing. Agr. MSc. Martín Salvador Sánchez Cruz

Ing. Agr. MSc. Héctor Rodolfo Fernández Cardona

Por haberme guiado en el camino de la realización de la investigación y en el Ejercicio Profesional Supervisado, por haberme proporcionado los conocimientos necesarios para llegar a un feliz término, por ayudarme a formarme profesionalmente, por tener la paciencia de corregir mis documentos, muy agradecido por la oportunidad de formación.

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE CARRERA DE INGENIERÍA EN AGRONOMÍA TROPICAL

Tricentenaria Universidad, la única de su tipo en el país, gracias por la oportunidad de estudios superiores en la Universidad Pública del Estado.

A EDGAR ROLANDO CABRERA SOTO Y FINCA EL FARO

Por darme la oportunidad de realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado y la presente investigación, apoyándome con todos los recursos necesarios y la orientación recibida.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
RESUMEN.....	vii
SUMMARY	ix
I. INTRODUCCION	1
II. MARCO TEÓRICO	2
1. MARCO CONCEPTUAL.....	2
1.1. <i>Theobroma cacao</i> L.	2
1.2. Cosecha de cacao.....	8
1.3. Manejo poscosecha o beneficiado.....	9
1.4. La calidad del cacao.....	35
1.5. Clon de cacao CCN – 51	35
1.6. Experimento bifactorial completamente al azar con arreglo en parcelas divididas.....	49
2. MARCO REFERENCIAL	51
2.1. Ubicación geográfica de la investigación.....	51
2.2. Investigaciones realizadas con anterioridad relacionadas con el tema... 56	56
III. OBJETIVOS.....	65
1. Objetivo General.....	65
2. Objetivos Específicos	65
IV. HIPÓTESIS.....	66
1. Hipótesis Nula.....	66
2. Hipótesis Alternativa	66
V. MATERIALES Y MÉTODOS	68
1. Localización del experimento	68
2. Materiales	68
3. Metodología	69
3.1. Para objetivo específico 1	69
3.2. Para objetivo específico 2	75
3.3. Para objetivo específico 3.....	78
3.4. Para objetivo específico 4.....	80

3.5.	Manejo de la investigación.....	82
VI.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	86
1.	Evaluación del efecto de tres métodos de fermentación y cinco períodos de fermentado con relación al porcentaje de fermentación, en el manejo poscosecha de <i>T. cacao</i> L.....	86
1.1.	Variable porcentaje de fermentación	86
2.	Evaluación del efecto de tres métodos de fermentación y cinco períodos de fermentado con relación al rendimiento de almendras secas en kilogramos, en el manejo poscosecha de <i>T. cacao</i> L.	90
2.1.	Variable rendimiento de mazorca en kilogramos.....	90
3.	Evaluación de la incidencia de la temperatura en el proceso de fermentación del cacao.....	93
3.1.	Variable incidencia de la temperatura (°C)	93
4.	Análisis económico de rentabilidad y relación beneficio/costo, por medio de costos totales para los tratamientos evaluados	103
4.1.	Variable costos totales.....	103
4.2.	Variables rentabilidad y relación beneficio/costo	106
VII.	CONCLUSIONES	108
VIII.	RECOMENDACIONES.....	109
IX.	REFERENCIAS	110
X.	ANEXOS	114

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Clasificación taxonómica de <i>T. cacao</i> L.	2
2. Clasificación del clon de cacao CCN-51 según requisitos físicos.	38
3. Requisitos físicos y calidad para los granos del clon de cacao CCN-51.....	38
4. Características físicas de los granos del clon de cacao CCN-51 aplicando diferentes métodos de fermentación.....	39
5. Propiedades químicas y bromatológicas de los granos del clon de cacao CCN-51 aplicando diferentes métodos de fermentación.	43
6. Tiempo de fermentación y temperatura máxima alcanzada aplicando diferentes métodos de fermentación a las almendras del clon de cacao CCN-51.....	45
7. Características del grano de cacao fermentado.	46
8. Características organolépticas de los granos de cacao secos.	46
9. Características de sabor y aroma en las almendras del clon de cacao CCN-51 aplicando diferentes métodos de fermentación y secado.....	47
10. Causas principales de sabores no deseados en las almendras del clon de cacao CCN-51.	48
11. Métodos de fermentación y secado que utilizan los principales exportadores de cacao en diferentes países.	48
12. Condiciones de clima y suelo para el cultivo de cacao en América Latina y el Caribe.....	52
13. Descripción de los factores evaluados, métodos de fermentación y períodos de secado.....	70
14. Descripción de los tratamientos evaluados.....	71
15. Fórmulas para realizar el análisis económico de los tratamientos evaluados.....	81
16. Resultados de la variable fermentación (%) para los tratamientos evaluados.....	86
17. Análisis de varianza de la variable porcentaje de fermentación de los tratamientos evaluados.	87
18. Prueba de medias Tukey (0.05 de significancia) de la variable fermentación (%) de los tratamientos evaluados.	88
19. Resultados de la variable rendimiento (Kg) para los tratamientos evaluados.....	90

20. Análisis de varianza de la variable rendimiento (Kg) de los tratamientos evaluados.	91
21. Prueba de medias Tukey (0.05 de significancia) de la variable rendimiento (Kg) de los tratamientos evaluados.	92
22. Temperatura ambiental y temperatura de los tratamientos evaluados según períodos de fermentado.	93
23. Costos fijos de la investigación.	103
24. Resumen de los costos variables de los tratamientos evaluados.	105
25. Resumen de costos totales de los tratamientos evaluados.	105
26. Análisis económico de los tratamientos evaluados.	107
27. Datos de campo transformados, para las variables fermentación (%) y rendimiento (kg) de los tratamientos evaluados.	114
28. Detalle de los costos variables de los tratamientos evaluados.	115
29. Principales tipos de secadores artificiales utilizados en el beneficiado del cacao.	116
30. Ventajas y desventajas de los métodos de secado del cacao.	117

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Tipos de cacao por su origen geográfico. A) Criollo. B) Forastero. C) Trinitario.	3
2. Diferentes formas de frutos del cultivo de cacao.	6
3. Formas de los ápices de los frutos del cultivo de cacao.	7
4. Formas de la constricción basal en frutos del cultivo de cacao.	7
5. Rugosidad de la cáscara en frutos del cultivo de cacao.	7
6. Mazorca debidamente quebrada, para luego depositar las almendras en un recipiente limpio.	11
7. Medición de la temperatura en la fermentación del cacao.	16
8. Fermentación de cacao en cajones de madera.	19
9. Fermentación de cacao en cajones de madera tipo escalera o de gradas.	19
10. Fermentación de cacao en bandejas Tipo Rohan.	20
11. Fermentación de cacao en sacos.	21
12. Fermentación de cacao en montones.	22
13. Fermentación de cacao en cestas.	23
14. Fermentador de cacao tipo barril rotatorio.	23
15. Fermentador de cacao tipo barril rotatorio con paletas de forma horizontal.	24
16. Fermentador tipo barril rotatorio hexagonal.	24
17. Fermentador de cacao de acero inoxidable.	25
18. Fermentadores de cacao en canastos de plástico.	25
19. Secado de cacao al sol.	29
20. Almendras de cacao en seco.	32
21. Área de secado del cacao, en tarimas acondicionadas.	33
22. Mazorca de cacao Clon CCN - 51.	36
23. Origen del clon CCN - 51.	37
24. Mapa de ubicación geográfica del área de la investigación, finca El Faro.	51
25. Aleatorización de los tratamientos evaluados.	73
26. Muestra de 100 almendras para determinar porcentaje de fermentación.	74
27. Toma de datos del peso en kilogramos, de las almendras después del proceso de secado.	77

28. Tratamientos evaluados en el proceso de secado en patio a pleno sol.	84
29. Toma de datos de la temperatura (°C) durante el proceso de fermentación.	85
30. Almendras de cacao bien fermentadas.....	86
31. Comportamiento de la temperatura en los tratamientos evaluados con 5 días de fermentación.....	94
32. Comportamiento de la temperatura en los tratamientos evaluados con 6 días de fermentación.....	95
33. Comportamiento de la temperatura en los tratamientos evaluados con 7 días de fermentación.....	96
34. Comportamiento de la temperatura en los tratamientos evaluados con 8 días de fermentación.....	98
35. Comportamiento de la temperatura en los tratamientos evaluados con 9 días de fermentación.....	99
36. Comportamiento de la temperatura en los tratamientos evaluados en el día 3 del período de fermentado.....	101
37. Comportamiento de la temperatura en los tratamientos evaluados en el día 5 del período de fermentado.....	102
38. Regiones geográficas productoras de cacao en el mundo.....	116

RESUMEN

En finca El Faro, localizada en el municipio de El Palmar, Quetzaltenango, se cultiva *Theobroma cacao* L. Malvaceae “cacao”, utilizando el clon CCN – 51, con el objetivo del procesamiento de su semilla o almendra para la venta. El proceso de manejo poscosecha en la finca se realiza de manera tradicional, con fermentación en cajas de madera y con período de fermentado de cinco días, para luego realizar el secado en patios de cemento a pleno sol.

La presente investigación tiene por objetivo evaluar tres métodos de fermentación, en cajas de madera, en bandejas tipo Rohan (en forma de gavetas) y en cajas de madera tipo escalera o gradas y cinco períodos de fermentado a los 5, 6, 7, 8 y 9 días, estos dos factores se evaluaron por medio de un diseño experimental bifactorial completamente al azar con arreglo en parcelas divididas, y las variables respuesta fueron el índice de fermentación y el rendimiento de semillas o almendras por mazorcas en kilogramos, además de evaluar el comportamiento de la temperatura en el proceso de fermentación y el correspondiente análisis económico de rentabilidad y de relación beneficio/costo de los tratamientos evaluados.

Los resultados indican que los métodos de fermentación en cajas de madera (tratamiento 1, testigo relativo) y en cajas de madera tipo escalera o gradas (tratamiento 11), con períodos de fermentado de cinco días, presentaron el mejor porcentaje de fermentación, de 79%, y el tratamiento con método de fermentación en bandeja tipo Rohan y período de fermentado de cinco días (T6), presentó el mejor rendimiento de 0.5415 kilogramos de peso de las semillas o almendras por mazorca.

Además, se obtuvo como resultado que el período de fermentado de cinco días presentó la mayor temperatura y combinado con el método de fermentación en cajas de madera (tratamiento 1, testigo relativo), son la mejor recomendación para el proceso de manejo poscosecha del cacao.

El tratamiento con bandejas tipo Rohan como método de fermentación y cinco días de período de fermentado (tratamiento 6), presentó la mejor rentabilidad con 53% y además

presentó una relación beneficio/costo de 1.53, seguido del tratamiento con método de fermentación en caja de madera y período de fermentado de cinco días, con 44% de rentabilidad y relación beneficio/costo de 1.44.

La importancia de la presente investigación radica en que se definió que el período de fermentado aconsejable para las condiciones de finca El Faro, es de cinco días. Además, que el método de fermentación que presentó el mejor porcentaje de fermentación, fue en cajas de madera y en cajas de madera tipo escalera o gradas; y el que presentó el mejor rendimiento es el método en bandeja tipo Rohan.

Con estos resultados se le presentan a finca El Faro, las recomendaciones para manejar el proceso de fermentación del cacao que producen.

SUMMARY

On the El Faro farm, located in the municipality of El Palmar, Quetzaltenango, *Theobroma cacao* L. Malvaceae “cocoa” is grown, using the clone CCN – 51, with the objective of processing its seed or almond for sale. The post-harvest handling process on the farm is carried out in a traditional way, with fermentation in wooden boxes and a fermentation period of five days, followed by drying in cement patios in full sun.

The objective of this research is to evaluate three fermentation methods, in wooden boxes, in Rohan-type trays (in the form of drawers) and in wooden boxes such as stairs or steps, and five fermentation periods at 5, 6, 7, 8 and 9 days, these two factors were evaluated through a completely randomized two-factor experimental design with a divided plot arrangement, and the response variables were the fermentation index and the yield of seeds or almonds per cob in kilograms, in addition to evaluating the behavior of temperature in the fermentation process and the corresponding economic analysis of profitability and benefit/cost ratio of the evaluated treatments.

The results indicate that the fermentation methods in wooden boxes (treatment 1, relative control) and in wooden boxes type ladders or steps (treatment 11), with fermentation periods of five days, presented the best percentage of fermentation, of 79%, and the treatment with the Rohan type tray fermentation method and fermentation period of five days (T6), presented the best yield of 0.5415 kilograms of seed or almond weight per ear.

Furthermore, the result was that the fermentation period of five days presented the highest temperature and combined with the fermentation method in wooden boxes (treatment 1, relative control), they are the best recommendation for the post-harvest handling process of cocoa.

The treatment with Rohan type trays as a fermentation method and a five-day fermentation period (treatment 6), presented the best profitability with 53% and also presented a benefit/cost ratio of 1.53, followed by the treatment with the box fermentation method, wood and fermentation period of five days, with 44% profitability and benefit/cost ratio of 1.44.

The importance of this research lies in the fact that it was defined that the advisable fermentation period for the conditions of the El Faro farm is five days. Furthermore, the fermentation method that presented the best fermentation percentage was in wooden boxes and in wooden boxes such as ladders or steps; and the one that presented the best performance is the Rohan type tray method.

With these results, recommendations are presented to the El Faro farm to manage the fermentation process of the cocoa they produce.

I. INTRODUCCION

Finca El Faro se localiza en el municipio de El Palmar, departamento de Quetzaltenango, cuenta con un área total de 503.39 hectáreas, el cultivo principal es el “café” con un área de 350.04 hectáreas. El cultivo de cacao tiene un área de 62.24 hectáreas en asocio con el café; el clon cultivado es CCN – 51. La finca está ubicada geográficamente en las coordenadas 14°67'05.21” de latitud norte y 91°58'39.08” de longitud oeste; la altitud en la que se encuentra el cultivo de cacao en finca El Faro varía desde 844.31 hasta 1,193.72 msnm (Castañeda Cabrera, 2022).

El manejo poscosecha o beneficiado en el cultivo de *T. cacao* L. comprende las etapas de fermentación, secado y almacenamiento de los granos de cacao. A través de la fermentación se definen las propiedades organolépticas, el aroma, el sabor y el color importantes, que le brindan la calidad diferenciada al producto final, el chocolate.

El proceso de beneficiado del *T. cacao* L. en la finca, se realiza de forma tradicional, lo cual fue identificado en el diagnóstico realizado como primera etapa del programa del Ejercicio Profesional Supervisado de la Carrera de Ingeniería en Agronomía Tropical, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Esto motivó para realizar una investigación que pueda mejorar el proceso de beneficiado, particularmente de la etapa de fermentación, para la obtención de un mejor producto final.

Se tuvo como objetivo general evaluar tres métodos y cinco períodos de fermentación en el manejo poscosecha de *T. cacao* L., bajo condiciones de la finca. Utilizando un diseño experimental bifactorial completamente al azar con arreglo en parcelas divididas, los tres métodos de fermentación (factor A) fueron en cajas de madera, en bandejas tipo Rohan y en cajones de madera tipo escalera o de gradas, identificados como los tres métodos más utilizados a nivel mundial (según Peñaherrera González, 2021) y cinco períodos de fermentado (factor B), siendo estos de 5, 6, 7, 8 y 9 días. Las variables respuesta fueron el índice de fermentación y el rendimiento de semillas o almendras de mazorcas en kilogramos, además de evaluar el comportamiento de la temperatura en el proceso de fermentación y el correspondiente análisis económico de rentabilidad y de relación beneficio/costo de los tratamientos evaluados.

II. MARCO TEÓRICO

1. MARCO CONCEPTUAL

Se presenta información referente al tema de la investigación, el cultivo de *T. cacao* L., el clon CCN-51, su proceso de cosecha y manejo poscosecha, así como la calidad del cacao.

1.1. *Theobroma cacao* L.

El *T. cacao* L. se cultiva en regiones cálidas y húmedas en más de 50 países ubicados en cuatro continentes (África, América, Asia y Oceanía); y en ellos se produce cacao con fines comerciales, lo que lo convierte en un cultivo de importancia económica, social, ambiental y particularmente cultural para los territorios en donde se produce (IICA, 2017). Las plantaciones están destinadas a producir esencialmente sus granos o almendras que son utilizadas principalmente para la producción de chocolates y grasas para la industria de alimentos y cosméticos.

1.1.1. Taxonomía

La sistemática del *T. cacao* L., según el Sistema de Clasificación APG (Grupo para la Filogenia de las Angiospermas, acrónimo APG, del inglés Angiosperm Phylogeny Group), se presenta:

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de *T. cacao* L.

Reino:	Plantae
Subreino:	<i>Tracheobionta</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Equisetopsida</i> C. Agardh
Subclase:	<i>Magnoliidae</i> Novák ex Takht.
Superorden:	<i>Rosanae</i> Takht.
Orden:	<i>Malvales</i> Juss.
Familia:	<i>Malvaceae</i> Juss.
Género:	<i>Theobroma</i>
Especie:	<i>T. cacao</i> L.

Fuente: Tropicos v3.3.2 (2022).

1.1.2. Tipologías de *T. cacao*

El sistema tradicional de clasificación indica que existen básicamente tres tipologías de cultivares a partir de los cuales se desprenden las variedades, híbridos y clones que hoy se siembran a nivel mundial. Se presentan fotografías de esta clasificación.



Figura 1. Tipos de cacao por su origen geográfico. A) Criollo. B) Forastero. C) Trinitario. Fuente: IICA (2017).

Los cacaos “criollos” tienen su origen en el norte de Sudamérica y Centro América. Debido a su alta susceptibilidad a enfermedades y su baja productividad se ha ido reduciendo como cultivo y en el mercado. Se caracterizan por poseer un sabor suave y aromático, sus frutos son alargados de punta pronunciada, doblada y aguda, con superficie rugosa, delgada, de color verde con manchas en forma de salpicaduras que van desde los colores rojos a púrpura oscura. Los frutos están marcados por unos 10 surcos muy profundos; sus granos son grandes, gruesos, casi redondos, de cotiledones blancos o poco pigmentados, con bajo contenido de taninos; ricos en aromas y sabores. De estos cacaos se obtiene chocolate de gran calidad. (IICA, 2017)

Los cacaos del tipo “forastero” dominan la producción y el comercio mundial de granos, son originarios de la cuenca amazónica y son producidos en los cuatro continentes cacaoteros (África, Asia, América y Oceanía). Se caracterizan por tener frutos generalmente ovalados y cortos, con colores que varían entre el verde y amarillo al madurar, son de superficie lisa, con corteza gruesa y lignificada en su interior. Tienen granos pequeños y aplanados, colores que van desde púrpura oscuro e intenso hasta el violeta pálido, dependiendo del contenido de sus taninos. Sobre este tipo de cacao

descansa la gran biodiversidad de la especie en base a la población silvestre; sin embargo, se ha determinado que la base genética de la población cultivada es reducida, pues depende en alto porcentaje del subtipo forastero amelonado. (IICA, 2017)

Los “trinitarios” son tipos generados por la hibridación de criollos x forasteros. Son muy heterogéneos genéticamente y morfológicamente, aunque no es posible delimitarlos a través de características externas comunes, las plantas son robustas con frutos verdes o pigmentados y con semillas que van del violeta oscuro al rosa pálido. Su origen se establece en Trinidad y Tobago y se presume que la hibridación fue el resultado de un proceso de cruzamiento espontáneo y natural; aunque, de origen antrópico. Hoy su cultivo está ampliamente extendido en América y en algunos países de África (Trinidad y Tobago, Venezuela, Ecuador, México, Centro América, Camerún, Samoa, Sri Lanka, Java y Nueva Guinea) y representa alrededor del 15% de la producción mundial. Sus granos bien procesados junto a los provenientes de cacaos criollos son reconocidos en el mercado por su calidad. (IICA, 2017)

1.1.3. Descripción botánica del cacao

El género *Theobroma* que pertenece a la familia Malvaceae y subfamilia Sterculioideae, comprende 22 especies. El área de distribución natural se extiende desde la cuenca del Amazonas por el sur hasta la región meridional de México (18°N a 15°S). Las especies del género *Theobroma* son árboles ramificados con hojas simples y con un fruto indehiscente carnosos (mazorca). Estas mazorcas son cultivadas para el mercado mundial y, principalmente, son obtenidas en formas de la especie *Theobroma cacao* L. Otras especies de *Theobroma* son cultivadas y utilizadas solo localmente. (IICA, 2017)

Según el Manual técnico del cultivo de cacao (IICA, 2017), es un árbol o arbusto semicaducifolio glabro o parcialmente pubescente en ejes jóvenes. De corteza oscura (generalmente de color gris-café) con ramas cafés y finamente vellosas. Las hojas son coriáceas simples (limbo duro y espeso), enteras, angostamente ovadas a obovado-elípticas, ligeramente asimétricas, alternas y glabras o laxamente pubescentes en ambas caras y de aproximadamente 17 a 48 cm de largo, con 7 a 10 cm de ancho. La base de las hojas es redondeada a ligeramente cordada y con un ápice largamente apiculado. El

pecíolo es de aproximadamente 14 a 27 mm de largo. Las estípulas son lineares y caducas. El sistema radicular se compone de una raíz principal pivotante y muchas secundarias, la cuales se encuentran en los primeros 30 cm de suelo. (ANACAFE, 2004)

Las inflorescencias son caulinares (se originan del tallo) y cimosas o cerradas. Las flores son pentámeras, hermafroditas, actinomorfas y de 10 a 20 mm de diámetro, con un pedúnculo floral de 1 a 3 cm de largo. Los sépalos son blancos o rosa claros, de 5 a 8 mm de largo y de 1.5 a 2 mm de ancho, angostamente lanceoladas, persistentes y fusionados en la base. Los pétalos son un poco más largos que los sépalos, de 6 a 9 mm de largo, libres, amarillentos, con dos o tres nervios violetas adentro, glabros, con la parte inferior redondeada o abruptamente atenuada, recurvos y apiculados. Los estambres son 10 y lineares: cinco estambres fértiles se alternan con cinco estaminodios. Todos los estambres están fusionados en la base formando un tubo. Los estambres fértiles son de 2,5 a 3 mm de largo y están dispuestos frente a los pétalos; los estaminodios son violeta y 6.5 a 7.5 mm de largo. El ovario es de 2 a 3 mm de largo, anguloso ovado, ligeramente pentagonal y pentámero. Los óvulos se disponen en dos filas con 6, 12 o 16 óvulos por fila. (IICA, 2017)

El fruto es una baya grande (mazorca), polimorfa, esférico a fusiforme, púrpura o amarillo en la madurez, glabro, con medidas de 10, 20 o 35 cm de largo y 7 cm ancho, con 200 a 1000 gr de peso y con 5 a 10 surcos longitudinales. El endocarpo es de 4 a 8 mm de grosor, duro, carnosos, y leñoso. Las semillas van del violeta oscuro al rosa pálido, ovadas, ligeramente comprimidas. Con medidas de 20, 30 y hasta 50 mm de largo, 12 a 16 mm de ancho y 7 a 12 mm de grosor. (IICA, 2017)

Se presentan las formas del fruto:



Figura 2. Diferentes formas de frutos del cultivo de cacao.

Fuente: IICA (2017).

En la siguiente figura se presentan las formas de los ápices de los frutos de cacao.



Figura 3. Formas de los ápices de los frutos del cultivo de cacao.
Fuente: IICA (2017).

En la siguiente figura se presentan las formas de la constricción basal de los frutos de cacao.



Figura 4. Formas de la constricción basal en frutos del cultivo de cacao.
Fuente: IICA (2017).

En la siguiente figura se presentan las diferencias de la rugosidad de la cáscara de los frutos de cacao.



Figura 5. Rugosidad de la cáscara en frutos del cultivo de cacao.
Fuente: IICA (2017).

1.2. Cosecha de cacao

Según el Manual técnico del cultivo de cacao del IICA (2017), los frutos (pochas o mazorcas) deben cosecharse tan pronto estén maduros. La cosecha debe realizarse cada dos semanas durante la cosecha menor y cada semana durante los períodos pico. Asimismo, es importante hacer un recorrido por la plantación cada semana con la finalidad de eliminar los frutos y chireles enfermos, dotados de un gancho específico que solo se utilice para eliminar materiales enfermos. Es esencial que los frutos no se cosechen demasiado maduros, pues estarán propensos a infectarse con enfermedades y los granos podrían germinar.

Los árboles de cacao florecen dos veces al año, siendo el principal periodo de floración en junio y julio. En los meses de septiembre y octubre tiene lugar una segunda floración, pero más pequeña. El periodo de maduración de los frutos oscila entre los cuatro y los seis meses, según la altura sobre el nivel del mar y de la temperatura. Así la primera cosecha se concentra en los meses de octubre, noviembre y diciembre, y la segunda durante marzo y abril. (ANACAFE, 2004)

Es importante no cosechar frutos inmaduros, pues los granos provenientes de las mazorcas inmaduras no estarán listos para la fermentación. Los granos verdes son duros, sin mucílago y se separan fácilmente. No deben mezclarse granos de frutos verdes con granos maduros durante la fermentación. (IICA, 2017)

La cosecha inicia cuando la mazorca está madura, lo que ocurre en un período de cinco a seis meses de edad. La mazorca presenta cambio de pigmentación, de verde pasa al amarillo o al rojo y otros similares al amarillo anaranjado fuerte o pálido. En mazorcas de coloración roja–violácea muy acentuada, el cambio de color puede no ser muy aparente y se corre el riesgo de no cosechar a tiempo las mazorcas que han alcanzado madurez plena. (IICA, 2017)

Se recomienda la cosecha solamente de frutos maduros, cada 15 días en épocas de cosecha y cada 20 o 25 días en épocas de baja producción. Se deben separar las mazorcas que se encuentren sanas de las que se encuentren enfermas, para brindar tratamientos separados. Para la labor de cosecha se deben utilizar herramientas adecuadas

como tijeras de mano y medialunas u horquillas; además, las herramientas deben estar afiladas. Asimismo, es aconsejable desinfectar las herramientas antes y después de utilizarlas. (IICA, 2017)

Al momento de la cosecha se recomienda no jalar las mazorcas con las manos puesto que puede dañar el tronco desfavoreciendo las cosechas futuras. Un manejo adecuado de la cosecha facilitará la obtención de un grano de calidad. En esta etapa se debe separar los frutos según estado de madurez y tamaño, las mazorcas enfermas o dañadas no se cosechan junto con los frutos sanos. (IICA, 2017)

Generalmente se presentan dos periodos de cosecha al año. Durante la denominada cosecha mayor se recolecta la mayor parte de la producción. Estos periodos varían en cada país.

En finca El Faro, para la cosecha no tienen definido épocas de su realización, cosechando durante todo el año, en función de la maduración de los frutos, observados durante recorridos constantes en las áreas de plantación. La cosecha en algunos sectores inició en el año 2020. La forma de realizar la cosecha de los frutos maduros es en forma manual y con el uso de tijeras de podar, las cuales no son desinfectadas. (Castañeda Cabrera, 2022)

1.3. Manejo poscosecha o beneficiado

Se debe considerar las características que influyen en la calidad total y final del producto. Estas características son deseadas por el productor, el exportador, el transformador, la industria y el consumidor final. Es allí donde, en la oferta y la demanda toma relevancia las condiciones impuestas por las normas ISO y las normas de técnicas sanitarias y de clasificación que regulan los países. Por ejemplo: trazabilidad, límites de contaminación por metales pesados, residuos de hongos contaminantes (micotoxinas y ocratoxinas), ácidos grasos degradados, infestación por plagas, cargas microbianas indeseadas (*Salmonella*, *E. coli*) y residuos por plaguicidas. (PROCOMER, BID, s/f)

Garantizar un buen manejo de procesos de fermentación, secado y almacenamiento de cacao especiales permite satisfacer la demanda y los estándares requeridos de un

producto de calidad, desencadenando una gran oportunidad de éxito para los pequeños, medianos y grandes productores que podrían optar a la accesibilidad de mercados dinámicos con nichos diferenciados. (PROCOMER, BID, s/f)

1.3.1. Quebrado de la mazorca

La rotura de las mazorcas debe realizarse de tal forma que evite el daño y la contaminación de los granos. Una vez cosechada una cantidad suficiente de mazorcas, estas se rompen para poder extraer los granos. Se recomienda partir las mazorcas en seguida, o como mucho, en el plazo de dos días después de la cosecha, con el fin de evitar pérdidas por enfermedad. Hecha la cosecha se deben separar las mazorcas sanas de las enfermas. Las pequeñas de las grandes y las verdes de las maduras, antes de quebrarlas y extraer las semillas del cacao. (IICA, 2017)

En el quebrado de las mazorcas, se debe tener en cuenta lo siguiente: El proceso debe iniciar separando los frutos según el grado de madurez, el tamaño, la afección a enfermedades y daños físicos de animales. Proteger las manos del operario con guantes de buen material pero que permita realizar la labor y herramientas seguras en el momento de partir las mazorcas. Eliminar el hilo o placenta del grano (hilo blanco que une los granos a la mazorca); así como los pedazos de cáscaras, hojas y palos de la masa de cacao resultante. Se debe buscar que el quede con un color blanco uniforme, brillante y sin impurezas. El cacao en baba debe ser colocado en un saco plástico limpio para que el mucílago se conserve el tiempo necesario, en caso de que se tenga que llevar al beneficio. Los granos pequeños, cortados, planos o pegados, se deben procesar aparte para no darle al cacao un mal aspecto que deteriore la calidad. (IICA, 2017).

En la figura 6 se muestra la forma adecuada del quebrado de la mazorca.



**Figura 6. Mazorca debidamente quebrada, para luego depositar las almendras en un recipiente limpio.
Fuente: IICA (2017).**

1.3.2. Fermentación

Es el proceso por medio del cual se da la calidad propia del cacao para hacer chocolate; se limpian las semillas del mucílago, se mata el embrión y se da buena presentación a las almendras, definiendo sus propiedades organolépticas. Para ello se precisa de lugares acondicionados y bien ventilados. Cuando las almendras no fermentan este proceso se realiza mal o en forma deficiente, se produce el llamado cacao corriente. (ANACAFE, 2004)

Según PROCOMER-BID (s/f), la fermentación se define como un proceso químico, bioquímico y microbiológico espontáneo, tanto al interior (cotiledón) como exterior de la semilla (pulpa, arilo o mucílago). Este proceso desencadena una serie de reacciones bioquímicas que dan origen a la formación de los precursores del sabor y el aroma característicos del cacao. Los precursores se terminan de desarrollar durante las etapas del secado y el tostado. Este proceso depende de factores como: contenido y concentración de azúcares en la pulpa, disponibilidad de oxígeno, pH, temperatura ambiental y la acción de los diferentes microorganismos que intervienen en el proceso.

Durante el proceso, la acción combinada y balanceada de temperatura, alcoholes, ácidos, pH y humedad matan el embrión, disminuye el sabor amargo por la pérdida de theobromina y se producen las reacciones bioquímicas que forman el chocolate. (ANACAFE, 2004)

La duración del sistema de fermentación no debe ser mayor de tres días para los cacaos criollos o de cotiledón blanco y de ocho para los cacaos forasteros o de cotiledón morado o púrpura. Existen varios métodos para realizar la fermentación, siendo los más empleados la fermentación en montones, en sacos, en cajas, y el empleo de tendales (ANACAFE, 2004). No se puede definir con exactitud un límite de tiempo, sino que puede variar entre tres y nueve días de fermentación. (PROCOMER, BID, s/f)

Los principales objetivos de la fermentación son: Eliminar la pulpa azucarada (mucílago), para provocar la aireación de la semilla en la fermentación, matar el embrión y definir sus propiedades organolépticas; Facilitar el secado y proporcionar calor para la formación de ácido acético. Esto es necesario para matar el embrión de cacao e inhibir la germinación de la semilla. Desarrollar cambios de coloración de los granos en su interior dependiendo de la variedad. Eliminar el exceso de humedad que posee el grano inicialmente (60%) y que al final del proceso de fermentación y secado debe de ser entre un 6,5 y hasta un máximo de 8,0%. (PROCOMER, BID, s/f)

La fermentación de los granos secos debe realizarse de acuerdo con las prácticas recomendadas. Se recomienda llevar a cabo el proceso de fermentación en pilas, en hojas de plátano o banano, o en cajas de fermentación homologadas, según la mejor práctica recomendada para la región. Los granos frescos se introducen en las cajas y se les “da la vuelta” una vez al día. Este proceso de dar la vuelta a los granos es de gran importancia, ya que asegura el calentamiento uniforme de los granos, permite la entrada de aire al fermento, disgrega los eventuales grumos e impide la formación de moho sobre los granos. Si no se les da la vuelta a los granos, no se fermentan de forma adecuada, se vuelven mohosos y de mal olor. Por otra parte, en las regiones en las que los granos se fermentan en pilas, se debe evitar dar vueltas demasiado frecuentes, dado que esto estimulará la proliferación del acetobacter y la producción de mayor cantidad de ácido acético. Esto provoca un exceso de ácido, que merma el desarrollo de sabor del cacao. El proceso de fermentación suele durar entre cinco y siete días. (IICA, 2017)

La fermentación es uno de los procesos que más incide en la calidad del grano, ya que es en este que se logra obtener el sabor y aroma característico del cacao. La fermentación se debe hacer en cajones de madera, con orificios que permitan el lixiviado del mucílago, debe estar ubicado bajo techo y protegido de corrientes de viento fuertes y de animales. En general, la fermentación tarda de cinco a seis días con volteos de la masa al segundo, cuarto y quinto día, para oxigenar la masa y homogenizar la fermentación. Durante el proceso fermentativo el mucílago se desprende, la temperatura aumenta, el embrión de la semilla muere y se logra liberar los precursores de sabor y aroma del grano. Terminada la fermentación, los granos deben estar hinchados y la cáscara con una coloración más oscura. Nunca se debe lavar el grano antes de iniciar la fermentación ni realizar una fermentación excesiva ya que se puede generar una putrefacción del grano que genera acidez y malos sabores, difíciles de remover en el proceso industrial. (IICA, 2017)

El pH inicial, los cambios en el contenido de azúcar y las condiciones anaeróbicas favorecen la actividad de las levaduras de la pasta de cacao. En investigaciones realizadas sobre las levaduras que intervienen en la fermentación se han identificado dos cantidades de cepas existentes. (IICA, 2017)

1.3.2.1. Fases de la fermentación

Fase anaeróbica (sin presencia de oxígeno): Se conoce también como fermentación alcohólica y se desarrolla durante las primeras 48 horas luego de la quiebra de las mazorcas. Ahí es donde se inicia la transformación de los azúcares de la pulpa en alcohol (etanol). Esta fase se desarrolla en una baja o total ausencia de oxígeno, sin embargo, esta condición puede llevar a la formación de una mayor cantidad de compuestos indeseados como ácidos láctico y butírico, ocasionando una alteración en la calidad y el sabor final del grano. (PROCOMER, BID, s/f)

Esta fase se caracteriza porque se favorece el crecimiento y la colonización de las levaduras y otros tipos de microorganismos que se encuentran en el ambiente, debido al alto contenido de azúcar en la pulpa y el bajo valor de pH menor de 4,5. Dado que existe una disponibilidad limitada de oxígeno, se da la producción de etanol a partir de los

carbohidratos y la degradación de los compuestos propios de la semilla (pectinas y otros). Además, se libera agua y dióxido de carbono (CO₂), lo que provoca un aumento en la temperatura de una forma moderada que oscila entre 25°C a 35 °C en las primeras 48 horas. Finalmente, se va reduciendo la pulpa a consecuencia de la gran cantidad de líquidos que se van liberando y que deben escurrir libremente y se limita el movimiento de los granos, por lo que es una fase sin remociones o volteos, con el fin de conservar la temperatura y evitar la presencia de oxígeno en la masa de fermentación. (PROCOMER, BID, s/f)

En este el proceso de fermentación participan los microorganismos que se encuentran naturalmente en los granos, entre los cuales actúan primeramente las levaduras; posteriormente, actúan las bacterias lácticas y, finalmente, intervienen las bacterias acéticas, los *Bacillus* y las enterobacterias. Los microorganismos llevan a cabo la fermentación en la pulpa, que contiene carbohidratos (glucosa, fructosa, sacarosa) y un valor de acidez (pH) entre 3.3 y 4.0, debido a la presencia de ácido cítrico. El proceso de fermentación del cacao es natural o espontáneo, ya que no se añaden intencionalmente los microorganismos a los granos, que se encuentran estériles dentro de las mazorcas. Se contaminan con microorganismos provenientes de todas las superficies con las que entran en contacto: los utensilios y las manos de las personas que manipulan el cacao. (IICA, 2017)

El desarrollo de levaduras encargadas del proceso de fermentación surge de un proceso que se favorece por la presencia de carbohidratos y un pH bajo que forma la pulpa de los granos de cacao. Estas levaduras transforman los azúcares sencillos del mucílago en etanol, que degradan la pectina, generan una modificación del grano, eliminan el ácido cítrico y disminuyen la acidez. Las levaduras consumen el oxígeno y crean un ambiente anaeróbico para el desarrollo de bacterias lácticas. (IICA, 2017)

Fase aeróbica (en presencia de oxígeno): Seguido de la primera fase o desarrollo de levaduras se establece una segunda fase en el proceso de fermentación del cacao que se favorece el desarrollo de bacterias lácticas, capaces de fermentar los carbohidratos residuales y continúan con el consumo de ácido cítrico. (IICA, 2017)

Ésta fase es conocida también como fermentación acética. Se incrementa la concentración de ácido acético y se desarrolla el olor particular a vinagre. Esta fase se caracteriza porque se presenta un aumento en la temperatura (40 °C) y en el valor del pH entre las 24 y 72 horas. Estas condiciones son favorables para el crecimiento de bacterias de ácido láctico, denominadas (LAB), que fermentan los azúcares que producen ácido láctico y asimilan el ácido cítrico. La asimilación del ácido cítrico hace que el pH de la pulpa aumente su valor de 3,5 a 4,2 permitiendo el crecimiento de otras bacterias. Esto coincide con una rápida disminución en el dominio de la población de levaduras, que se enfrenta a un agotamiento de las fuentes de energía (poca cantidad de azúcar en la pulpa). (PROCOMER, BID, s/f)

Se da también una creciente concentración de etanol, producción de calor, aumento del pH y una mayor aireación, lo que favorece el crecimiento de bacterias del ácido acético (AAB) que persisten hasta el final de la fermentación. Las AAB metabolizan el etanol y lo transforman en ácido acético (vinagre) a través de un proceso de liberación de calor (exotérmico), que es el principal responsable del aumento final de la temperatura en la masa de fermentación. En esta fase se pueden alcanzar temperaturas entre los 45 y 50°C, aunque podría ser mayor en algunas otras fermentaciones. El etanol y el ácido acético penetran el interior de la semilla originando la muerte del embrión; en este momento los granos se caracterizan por su color violeta, la astringencia y el amargor. (PROCOMER, BID, s/f)

Posteriormente se presenta un aumento adicional en el pH, llegando a 6,0 aproximadamente. Los granos empiezan a hincharse debido a la penetración del ácido acético y a sufrir cambios de color en su interior, debido a la degradación de las antocianinas y oxidación de los polifenoles. Estos cambios van desde los bordes hacia adentro y se empiezan a formar surcos o fisuras, por lo que el grano deja de ser plano. (PROCOMER, BID, s/f)

Fase de oxidación: En esta fase, el grano se sigue modificando física y bioquímicamente en su interior y es de gran relevancia mantener la temperatura entre los 48 y 50 °C. Durante esta fase, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se deben realizar remociones o volteos, con el fin de que entre aire

fresco y se libere el CO₂ acumulado. • Los volteos ayudan a volatilizar parte del ácido acético, reduciendo la acidez del grano en la calidad final. • Se disminuye un poco la astringencia y el amargor del grano, debido a la oxidación y condensación de los polifenoles y la disminución de los alcaloides, respectivamente. • El pH de la pulpa residual va aumentando alcanzando un valor cercano a 7,0. • Los granos continúan formando fisuras o espacios en su interior. Al cortar el grano de forma longitudinal, se puede apreciar un líquido viscoso de color rojizo o marrón achocolatado y los granos se tornan en forma arriñonada y la cutícula (cascarilla) que envuelve el grano desprende fácilmente. • Los granos siguen cambiando el color en su interior, disminuye la intensidad del color violeta a marrón o crema dependiendo del tipo de cacao y se da origen a la formación de los precursores del sabor y el aroma característicos del chocolate. (PROCOMER, BID, s/f)

En una última fase de la fermentación, que ocurre entre las 48 y 60 horas, se detecta la presencia de microorganismos conocidos como *Bacillus*, que pertenecen a un género de las bacterias. Las altas temperaturas favorecen su presencia. Los *Bacillus* pueden contribuir en el sabor con la producción de ácidos orgánicos y saborizantes como 2, 3-butanodiol (IICA, 2017). Se muestra la forma de medición de la temperatura:



Figura 7. Medición de la temperatura en la fermentación del cacao.
Fuente: IICA (2017).

1.3.2.2. Infraestructura y equipos requeridos para la fermentación

Es de gran importancia adecuar un área que favorezca el proceso y mantenga las condiciones básicas de inocuidad para llevar a cabo el proceso de fermentación. Este

entorno debe de ser un espacio protegido de la incidencia de la lluvia y el viento para evitar corrientes de aire prolongadas que induzcan a pérdidas de temperatura en la masa del cacao durante la fermentación. Bajo estas características se pueden adaptar módulos de fermentación: paredes con mantas de polipropileno, pared de ladrillo, machimbrado de bambú, bodegas cerradas con una adecuada ventilación, entre otras. La fermentación se puede realizar directamente en la finca y/o en centros de acopio. (PROCOMER, BID, s/f)

Con el objetivo de tener un mejor control de los factores que están involucrados en el proceso y llevar a cabo una mejor fermentación, lo mejor es contar con el siguiente equipo: (PROCOMER, BID, s/f)

- Refractómetro analógico o digital: se emplea para medir el azúcar de la pulpa (grados Brix) del cacao fresco antes de colocar los granos en el sistema de fermentación. Debe tener una escala mínima entre 0 y 30° Brix.
- Termómetro: este instrumento puede ser digital, bimetálico o con sonda resistente al agua. La escala mínima que debe de ser considerada es de 0 a 60°C.
- Termo-higrómetro: se utiliza para medir la temperatura y humedad relativa del ambiente. Los requerimientos mínimos es que debe de ser capaz de registrar las temperaturas mínimas y máximas y la humedad promedio del ambiente.
- Balanza: es funcional cualquier tipo, incluidas las de plataforma, con lector análogo o digital o de tipo romana. Preferiblemente debe de tener una superficie en acero inoxidable.
- Palas o remos: son herramientas de madera o de plástico que se utilizan para realizar las remociones o volteos de la masa de fermentación.
- Baldes o cubetas y recogedores: facilitan recoger los granos y transportarlos. Los recogedores, que son palas plásticas pequeñas, permiten tomar los granos que se encuentran en las esquinas del cajón y que no se pueden remover con las palas en los momentos del volteo.

1.3.2.3. Métodos de fermentación

Se han desarrollado varios sistemas de fermentación para el grano de cacao en todo el mundo. Los métodos de fermentación varían en los diferentes países y regiones productoras de cacao e incluso de un productor a otro. Estos métodos pueden adaptarse a las condiciones de cada sitio, según el clima, el volumen de producción o los recursos económicos. Existen diferentes métodos de fermentación que se han desarrollado y que favorecen el proceso. Entre ellos se destacan: bandejas tipo Rohan, barriles de madera o plástico, cajones de madera y/o plásticos. Estos sistemas de fermentación se pueden encontrar diseñados de formas lineales, (sencillas, dobles o triples) o de tipo escalera, etc. y los recientemente incluidos como son: los sistemas en acero inoxidable con panel de control. (PROCOMER, BID, s/f)

Según investigaciones realizadas por Peñaherrera González (2021), en los métodos de fermentación empleados a nivel mundial, predominan las Cajas de madera con 69%, Bandejas Tipo Rohan 15%; en costal 6%, en montón 4%, en cajón de plástico 4% y cajón de cemento 2%. Con base en ésta información, en la presente investigación se evaluarán los métodos de fermentación en cajas de madera, bandejas tipo Rohan y en costal. A continuación se explicarán los métodos de fermentación para granos de cacao.

Fermentación en cajones de madera: Consiste en fermentar los granos de cacao fresco en cajas construidas de madera, las cuales pueden ser colocadas en forma de escalera o bloques o gradas (Moreira, 2016, citado por Peñaherrera González, 2021). Se recomienda una altura máxima de 90 cm y el ancho de 120 cm, con una capacidad de 800 kg para facilidad del obrero. En el fondo de la caja se proveen de agujeros con una separación máxima de 0,5 cm para permitir el escurrimiento del mucilago y aireación (Nogales, 2017, citado por Peñaherrera González, 2021).

El método se considera una mejora con relación a otras técnicas. Este proceso requiere un volumen fijo de cacao. El tamaño de las cajas varía de región a región según el volumen de producción, pero el diseño y la función son estándar (figuras 8 y 9). Las cajas pueden ser una sola unidad o tener una de varios compartimentos, con

particiones internas fijas o móviles y también pueden diseñarse en tipo escalera o gradas. Para garantizar un mejor resultado en este tipo de fermentación, se requiere un mínimo de 100 kg de cacao en baba, los cuales se deben de colocar en el cajón a una altura mínima de 0.10 m y a una altura máxima de 0.60 m. La masa de fermentación debe de ser cubierta preferiblemente con el envés de las hojas de plátano o banano y además se debe colocar sacos de yute, plástico o una cobija, para conservar el calor generado por los procesos bioquímicos de la fermentación. (PROCOMER, BID, s/f)

La siguiente figura muestra el diseño de cajones de madera para la fermentación.



Figura 8. Fermentación de cacao en cajones de madera.

Fuente: Instituto Nacional de Aprendizaje (s/f).

En la siguiente figura se muestra la alternativa de cajones de madera colocados en un sistema tipo escalera o de gradas.



Figura 9. Fermentación de cacao en cajones de madera tipo escalera o de gradas.

Fuente: Cacao móvil (2022).

El sistema de funcionamiento de los cajones de madera tipo escalera presentados en la figura anterior, es igual al de los cajones de madera.

Fermentación en bandejas o cajas tipo Rohan o cajillas: Se coloca el cacao a fermentar en bandejas de madera, se apilan máximo cinco bandejas con una base de una bandeja con aserrín que permite el control de la aireación, las bandejas superiores se cubren con sacos de yute o fique (Nogales, 2017). Las dimensiones recomendadas son de 1.20 x 0.90 x 0.12 m (figura 10), con el fondo de tablillas con un ancho menor de 5 cm y no mayor de 10 cm separadas alrededor de 0.5 cm para permitir el escurrimiento del mucilago (Nogales, 2017, citado por Peñaherrera González, 2021).

Es un sistema de fermentación que requiere una pila de bandejas. Está basado en la observación de que los granos en la superficie superior se fermentan más rápido que los granos que están en el centro del montón. Los granos frescos (45,5 kg/ bandeja) se colocan en la mitad de bandejas de madera. Doce de estas bandejas se apilan para que las secciones llenas estén una encima de la otra y toda la pila descansa en una bandeja vacía para permitir una mejor aireación. La bandeja superior está cubierta con hojas de plátano y sacos. Se requiere mezclar el cacao en cada bandeja dos veces durante todo el proceso de fermentación (PROCOMER, BID, s/f).

Se presentan las cajas de fermentación Tipo Rohan, para la fermentación de cacao:



Figura 10. Fermentación de cacao en bandejas Tipo Rohan.
Fuente: Nogales (2017).

Fermentación en sacos: Consiste en colocar los granos de cacao fresco en sacos de yute, tapándolos con una lona y dejándolos fermentar por 5 o 6 días (figura 11). No hay

un límite de capacidad y dimensiones (Nogales, 2017, citado por Peñaherrera González, 2021).

Debe de considerarse como una última opción para llevar a cabo el proceso de fermentación. Los sacos deben ser colocados en lugares protegidos de la lluvia y evitar las corrientes de aire. Requieren ser cubiertos con mantas, plásticos o con más sacos para poder mantener una adecuada temperatura. Se deben realizar remociones más frecuentes con el fin de garantizar la uniformidad del proceso. (PROCOMER, BID, s/f)

Se muestran sacos para el proceso de fermentación de cacao:



Figura 11. Fermentación de cacao en sacos.
Fuente: Teneda Llerena (2016).

Como se observa, los sacos son apilados y cubiertos con lona o plásticos, para que se realice el proceso de la fermentación.

Fermentación en montones o pilas: Consiste en amontonar los granos de cacao frescos en hojas de musáceas o plátano u otro material que las separe del suelo, luego son recubiertas por más hojas o sacos y se deja fermentar (figura 12), se realiza agujeros en las hojas para el escurrimiento del mucilago y aireación (Erazo, 2019, citado por Peñaherrera González, 2021). Se utilizan diferentes dimensiones y capacidad (Erazo, 2019, citado por Peñaherrera González, 2021).



Figura 12. Fermentación de cacao en montones.
Fuente: Cadena de cacao (s/f).

Es un método popular que se desarrolla entre 4 y 7 días. Usualmente es empleado por los pequeños agricultores de Ghana y otros países africanos. También se ha observado esporádicamente este sistema en la región amazónica de Brasil y unos pocos agricultores de la región Norte de Costa Rica. Este método no requiere una estructura permanente y es muy adecuado para familias con una pequeña producción. Cantidades variables de cacao en baba de entre 25 a 100 kg se apilan en el campo sobre hojas de plátano o bananos y se cubren con el mismo material. Los granos se mezclan a diario (volteos) o cada dos días formando otro montón, con el fin de garantizar una fermentación uniforme y disminuir así el potencial crecimiento de mohos. (PROCOMER, BID, s/f)

Fermentación en cestas: Este método es practicado principalmente por pequeños productores en Nigeria, Filipinas, algunas partes de Ghana y en la región amazónica. Pequeños lotes de cacao se colocan en cestas tejidas, forradas con hojas de plátano, banano o yute (figura 13). Permite fermentar cantidades variables de granos de cacao, de 25 a 100 kg, los cuales se tapan con hojas de musáceas. (PROCOMER, BID, s/f)



Figura 13. Fermentación de cacao en cestas.
Fuente: Cadena de cacao (s/f).

En fermentador tipo barril rotatorio: Se coloca los granos de cacao fresco en un barril de polipropileno montado sobre un marco de acero que le permite la rotación y remover la masa fermentable, en la parte inferior se coloca una bandeja que recoge el exudado y posteriormente la masa fermentada (figura 14). Las dimensiones son de 0.80 m de largo y 0.60 m de ancho para una capacidad de 150 kg (Fleet & Schwan, 2015, citado por Peñaherrera González, 2021).



Figura 14. Fermentador de cacao tipo barril rotatorio.
Fuente: Peñaherrera González (2021).

En fermentador tipo barril rotatorio con paletas de forma horizontal: Como se muestra en la figura 15, se coloca los granos de cacao fresco en un fermentador de madera semejante a los fermentadores de vino y dispuesto de manera horizontal, montado sobre una estructura de madera que facilita la rotación y el volteo mediante las paletas que tiene en su interior, en la parte inferior se coloca una bandeja para la recolección del exudado y posteriormente se recoge el cacao fermentado (Coral, 2019, citado por Peñaherrera González, 2021). Con diferentes dimensiones y capacidad.



Figura 15. Fermentador de cacao tipo barril rotatorio con paletas de forma horizontal.

Fuente: Peñaherrera González (2021).

En fermentador rotatorio hexagonal: Se coloca los granos de cacao frescos en un fermentador de madera hexagonal (figura 16) que cuenta con un sensor de temperatura que permite monitorear todo el proceso y un motor para girar cargas mayores a 500 kg (Coral, 2019, citado por Peñaherrera González, 2021). Diferentes dimensiones desde una capacidad de 250 kg hasta 1000 kg (Huayamave & Tumbaco, 2015, citado por Peñaherrera González, 2021).



Figura 16. Fermentador tipo barril rotatorio hexagonal.

Fuente: (SCORAL, s/f)

En fermentador de acero inoxidable: Se han implementado fermentadores rotatorios elaborados en acero inoxidable, estos fermentadores son auto controlables es decir que realizan las operaciones de remoción, control de temperatura, aireación y control de pH

por su propia cuenta (Fleet & Schwan, 2015, citado por Peñaherrera González, 2021). Diferentes dimensiones y capacidad. Se muestra a continuación:

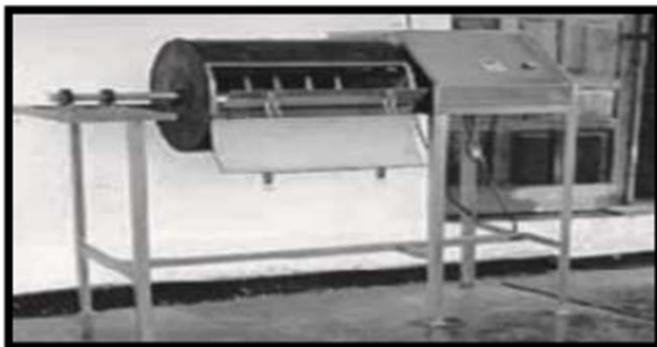


Figura 17. Fermentador de cacao de acero inoxidable, tipo rotativo.
Fuente: Peñaherrera González (2021).

Otros tipos de fermentación: Se utiliza cestas fabricadas con fibra vegetal o plástica (figura 18) que sirven para el traslado del cacao fresco, actúan como fermentador y se aprovecha para almacenar el cacao beneficiado por el pequeño productor. El uso de huacales plásticos ha resultado también ser una alternativa para los pequeños productores (Nogales, 2017, citado por Peñaherrera González, 2021). Diferentes dimensiones y capacidad.



Figura 18. Fermentadores de cacao en canastos de plástico.
Fuente: Peñaherrera González (2021).

1.3.3. Lavado

Los granos se lavan al final de la fermentación para eliminar las partículas de pulpa. Los tipos más burdos generalmente no necesitan lavado, puesto que la fermentación prolongada ha desintegrado completamente la pulpa. Los criollos nunca son lavados. Existe cierta influencia del lavado sobre el aroma de las variedades forasteras. La tendencia actual es la de suprimir este proceso y transferir los granos directamente de los tanques de fermentación a las secadoras. (ANACAFE, 2004)

1.3.4. Secado

El secado del cacao es el proceso durante el cual se consigue pasar de almendras con un 55 % de humedad hasta almendras con un 6 - 8 %. Durante este tiempo las almendras de cacao terminan los cambios para obtener el sabor y aroma a chocolate. También se producen cambios en el color, apareciendo el color típico marrón del cacao fermentado y secado correctamente. (ANACAFE, 2004)

Tras la fermentación, los granos de cacao se deberán sacar y extender inmediatamente sobre lechos adecuados de secado para secarse, si es posible bajo luz solar directa y natural. Si el secado no se inicia de inmediato, los granos de cacao se seguirán fermentando y se pudrirán. El secado excesivo dará lugar a granos frágiles que se rompen con facilidad, que provocará una alta proporción de desechos. Un secado inadecuado puede provocar sabores no deseados, mientras que el secado inadecuado al sol, debido a la falta de luz solar, puede dar lugar a la contaminación por hongos. Si el secado tarda demasiado tiempo, pueden producirse sabores no deseados a moho o jamón. (IICA, 2017)

Un secado adecuado es tan importante como una fermentación correcta. Solo se desarrollará el color marrón deseado dentro del grano si se seca bien. Mientras estén en el lecho de secado, se debe dar la vuelta a los granos varias veces al día. Una vez completamente secos, los granos se deberán clasificar para eliminar los granos planos, chupados, negros, mohosos, pequeños o dobles, los granos con daños de insectos, etc. (IICA, 2017)

El secado consiste en eliminar lentamente el contenido de humedad de los granos hasta que se alcance entre un 6% y un 7%. Valores menores provocan que el grano sea quebradizo, lo que reduce la calidad. Si por el contrario el secado no se logra completar y los valores de humedad exceden el 8%, se generan condiciones para el desarrollo de mohos, además, se origina acidez en los granos y no se completa la formación del aroma y sabor. (IICA, 2017)

Se recomienda realizar el secado en dos etapas: el pre secado y el secado principal. El pre secado se hace con el objetivo de sacar del grano por medio de evaporación la acidez que contiene la almendra al salir del fermentador. Si se lleva el cacao directamente del fermentador al patio de secado o a la secadora mecánica, se corre el riesgo de que se forme alrededor del grano una costra dura que evita al ácido salir del interior del grano. Es por esto que es necesario que el primer día de secado se deje el grano en reposo, puede ser en una capa gruesa o en montones, tapado con sacos. Ese día se le debe dar vuelta al cacao tres o cuatro ocasiones hasta que el olor a ácido disminuya suficientemente. (IICA, 2017)

En la etapa del secado se completan los cambios bioquímicos que suceden a la fermentación, se reduce la acidez y se obtiene un característico sabor y aroma a chocolate. Se menciona que es el proceso de transformación con mayor relevancia en la producción de cacao, pues la afectación de la calidad en esta etapa es irreparable, teniendo en cuenta que se desea obtener el nivel de humedad seguro para el almacenamiento del grano y óptimo para su comercialización. (IICA, 2017)

Las semillas se secan y son enviadas a los procesadores como materia prima para la producción de pasta de cacao, cacao en polvo y manteca de cacao. La primera etapa del proceso incluye el tostado del grano, para cambiar el color y sabor, y la eliminación de la cáscara. Después del tostado y descascarillado, puede llevarse a cabo un proceso de alcalinización, con la finalidad de alterar el sabor y el color. (IICA, 2017)

1.3.4.1. Métodos de secado

Tradicionalmente, el proceso de secado ha sido un método de preservación de los alimentos, este proceso se realizaba principalmente al sol, en los patios de las casas.

Con el desarrollo y la difusión tecnológica, la búsqueda de eficiencia y los cambios en los mercados de consumo, se han desarrollado diferentes tecnologías que permiten el secado de los granos de manera más rápida y sin alta dependencia de mano de obra; sin embargo, la utilización de uno u otro método depende de las condiciones de los productores. Por lo tanto, los métodos de secado se pueden dividir en métodos tradicionales y métodos modernos de secado. (IICA, 2017)

Según investigaciones realizadas por Peñaherrera González (2021), en los métodos de secado empleados a nivel mundial, predominan las de Secador Tipo Elba 66%, Bandejas Tipo Rohan 25%, Marquesina 5% y piso de plástico o cemento 4%.

1.3.4.2. Métodos tradicionales de secado

Secado natural o al sol: Se basa en el aprovechamiento de la radiación solar que suministra una temperatura para la continuación de algunos cambios que no han terminado en los granos de cacao durante la fermentación. El secado es indispensable para facilitar el transporte, manejo, almacenamiento y comercialización del grano de cacao (Tapia, 2017, citado por Peñaherrera González, 2021).

Este es el método más utilizado por los productores. Los granos de cacao, posterior a la fermentación, se tienen en tarimas en lugares de grandes extensiones donde haya una iluminación favorable y se pueda eliminar el agua presente en la mazorca. Este método, a pesar de no generar costos por consumo energético, es extensivo en tiempo y mano de obra, además, de la dependencia a las condiciones climáticas. (IICA, 2017)

El secado al sol es el método más aconsejable, el cual debe realizarse en áreas de cemento o sobre tarimas de madera (figura 19), pero nunca se debe secar sobre láminas o en el piso de suelo, pues se desmejora la calidad del cacao. Al momento del secado se debe eliminar toda impureza de cáscaras de mazorcas o restos de placentas, este proceso debe de hacerse en forma lenta para asegurar la conservación de la calidad del grano, removiendo con rastrillos de madera cada cierto tiempo, en función del período de secado. (IICA, 2017)



Figura 19. Secado de cacao al sol.
Fuente: ANACAFE (2004).

En la figura se muestra el método de secado al sol, sobre tarima de madera a la izquierda y sobre un área de cemento a la derecha.

El secado dura aproximadamente siete días. Los primeros dos días se debe realizar el secado controlado, que consiste en extender los granos de cacao con un espesor de 10 cm y remover cada hora. A partir del tercer día, el secado se realizará en capa de granos delgada hasta lograr la humedad del 7%. Se recomienda tomar todas las medidas necesarias para evitar la contaminación con los diferentes agentes a que pueden estar expuestos los granos por estar al aire libre. Por su parte, la selección y limpieza se debe realizar utilizando una zaranda con maya metálica, con la finalidad de eliminar las impurezas y escoger los granos defectuosos. (IICA, 2017)

Secado a la sombra: Este método no es tan común como el secado al sol. Se da en lugares de clima seco y fuertes vientos, que favorecen la aireación de los granos y por lo tanto su secado. Para esto se utilizan estructuras como balcones o cobertizos. Sin embargo, este método es lento y puede favorecer el desarrollo de hongos. (IICA, 2017)

Método Rohan: Consiste en colocar y extender los granos de cacao fermentados en camillas o bandejas Rohan de madera y se pone al sol sobre largueros acomodados a una altura aproximada de 50 cm para que no haya influencia de la humedad del suelo (Aguilar, 2015, citado por Peñaherrera González, 2021). La madera debe estar libre de olores, sabores y colores que se absorban en el cacao. La temperatura no debe superar los 50°C.

Esterillas: Consiste en colocar el cacao fermentado en tendales o esterillas hechas de bambú expuestas al sol, convenientemente organizado, de modo que se puede envolver y desenvolver para secar o guardar, según el caso. La operación se hace sobre largueros a buena altura del suelo (Almeida, 2015, citado por Peñaherrera González, 2021). La temperatura no debe superar los 50°C.

Secador tipo Elba: Cuando se trata de plantaciones relativamente grandes, es recomendable la instalación del secadero tipo Elba, que consiste en colocar el cacao fermentado en varios carros o camillas de madera corredizos mediante rieles, protegidos con techo fijo o rodante (Escobar, 2018, citado por Peñaherrera González, 2021). La madera debe estar libre de olores, sabores y colores que se absorban en el cacao. La temperatura no debe superar los 50°C.

Secado en piso de cemento: Consiste en colocar los granos de cacao fermentados en patios de cemento, ladrillos o de madera expuestos al sol con o sin techos rodantes. Este método es muy utilizado por Venezuela (Meza, 2016, citado por Peñaherrera González, 2021). Los patios de secado para el cacao no deben emplearse para secar otros productos de olores fuertes como el coco, pescados etc.

Marquesinas y túneles de secado: Son estructuras en madera o metal con cubierta de plástico especial o policarbonato que permite el paso de la radiación solar. Las superficies de secado la constituyen mesones levantados generalmente esterillas, entramados de caña brava y en algunos casos de mallas plásticas con apertura de 0.4 x 0.4 cm (Nogales, 2017, citado por Peñaherrera González, 2021). En marquesinas y túneles de secado es crítico el control de la ventilación, la temperatura y la humedad relativa que puede hacerse parcialmente subiendo o bajando las cortinas laterales.

1.3.4.3. Métodos modernos de secado

Secador artificial: Consiste en una disminución controlada de la humedad de los granos de cacao mediante la aplicación de equipos y dispositivos mecánicos que utilizan fuentes convencionales de energía (Gilces & Sanmartín, 2015, citado por Peñaherrera González, 2021). Es una alternativa necesaria en aquellas regiones donde llueve mucho en períodos de cosecha o en plantaciones tan grandes que es prácticamente difícil secar

toda la producción de cacao por el método natural (Nogales, 2017, citado por Peñaherrera González, 2021).

Estos métodos se utilizan porque las condiciones climáticas no son óptimas para el secado al sol, además, de cuando las cantidades de producción son excesivas por la rapidez y precisión del método. Se recomienda el secado del grano a una temperatura inferior a los 80 °C, ya que, a mayor temperatura favorece la retención de acidez. El secador artificial está constituido por un área de secado que lleva, además, un sistema de calentamiento. Dentro de las ventajas de los secadores artificiales se consideran la reducción del tiempo de secado, poca dependencia de mano de obra y el ambiente protegido ante roedores, insectos, polvo u otro tipo de agente de contaminación. También hay que considerar la dependencia de consumo energético y la inversión en tecnología. La temperatura ideal para el secado es de 64 a 70 °C. De esta manera, se logra disminuir adecuadamente la acidez de los granos y que las características del grano que se obtiene sean similares a los granos secados al sol. (IICA, 2017)

Dentro de los secadores artificiales se pueden encontrar secadores de túnel, solares o los secadores con combustible. Los secadores de túnel consisten en un túnel con bandejas donde se colocan los granos. En el túnel, a contracorriente, fluye aire caliente que logra secar los sólidos. Por su parte, los secadores solares consisten en un colector solar que es donde el aire se calienta por la radiación solar y la cámara de secado, donde los granos de cacao se colocan. La circulación del aire por la cámara de secado logra secar el cacao por circulación forzada y natural. En lo que respecta a las secadoras de combustible, pueden funcionar a partir de madera, bagazo o derivados del petróleo. Generalmente el secado se da en recintos cerrados y por conducción. (IICA, 2017)

Algunos estudios se enfocan en desarrollar prototipos de máquinas de secado controlando parámetros que es muy difícil en el método natural, los resultados de estas revisiones marcan una diferencia grande con respecto al tiempo entre el método natural y artificial, reduciendo el tiempo de días a horas, sin embargo, hay varios autores que señalan que con el secado violento, no se logra un secado uniforme y se interrumpe la hidrólisis enzimática de las antocianinas, generando almendras púrpuras que le

confieren un sabor astringente, a la vez se endurece rápidamente la testa o cascarilla, la cual una vez seca impide la salida o difusión de los ácidos volátiles que se concentran en la almendra generando almendras ácidas (Almeida, 2015, citado por Peñaherrera González, 2021).

1.3.4.4. Periodos para el secado de los granos

Se definen tres periodos, dependiendo de la etapa de secado en la que se encuentren los granos. El primer periodo se dice que es de precalentamiento. En esta fase, la velocidad de secado aumenta con el tiempo. Con lo que respecta al segundo periodo, la velocidad de secado permanece constante. Por último, en el tercer periodo se ha eliminado la humedad superficial y, por tanto, la humedad interna comienza a secarse, mientras la velocidad del secado disminuye. (IICA, 2017)

El secado tiene cuatro retos principales: 1) disminuir el agua de los granos, 2) evitar la germinación de las semillas, 3) mantener y lograr la calidad requerida de los granos de cacao y, por último, 4) alcanzar la humedad requerida para evitar el desarrollo de bacterias y hongos. Para lograr este adecuado secado (figura 20) es importante considerar las variables como la humedad; la temperatura, tanto para el secado como para el almacenaje, en este caso, son adecuadas las temperaturas bajas; otra variable importante es el tiempo de secado para cada periodo, con el fin de no excederse hasta quemar o tostar los granos o, por el contrario, que exceda la humedad requerida. (IICA, 2017). En la figura 20 se muestran almendras de cacao secas.



**Figura 20. Almendras de cacao en seco.
Fuente: IICA (2017).**

Los granos de cacao pueden absorber olores externos debido al alto contenido de grasa. Por esta razón, se recomienda que el área de secado se encuentre libre de contaminación externa, vehicular, industrial, excretas de animales y humanos y desechos de cosechas (figura 21). Es necesario que siempre se limpie la pista de secamiento, con el fin de eliminar las impurezas que quedan en cada lote. (IICA, 2017)

En la figura se muestran distintas áreas de secado de cacao en forma de tarimas acondicionadas para el proceso.



**Figura 21. Área de secado del cacao, en tarimas acondicionadas.
Fuente: IICA (2017).**

1.3.5. Almacenamiento y selección de los granos de cacao

Los granos de cacao deben introducirse en sacos limpios suficientemente fuertes, y bien cosidos o sellados. Los sacos deben ser de materiales no tóxicos. Preferiblemente, sacos libres de yute de hidrocarburo, de calidad alimentaria, que no atraigan insectos o roedores y sean lo suficientemente fuertes para aguantar el almacenamiento durante períodos más largos. (IICA, 2017)

Una vez completado el proceso de secado y clasificación, los granos de cacao deberán introducirse en sacos adecuados y almacenarse. El ensacado y almacenamiento correcto de los granos clasificados es tan importante como una fermentación y un secado adecuados. Un ensacado o almacenamiento inadecuado puede dar lugar al rechazo del cacao, lo que conlleva una pérdida de tiempo, de esfuerzos y de dinero. Los sacos de granos de cacao deben guardarse en almacenes impermeables, bien

ventilados, libres de humedad e insectos y alejados de humos y otros olores que podrían estropear el cacao. Los sacos se deben almacenar sin tocar el suelo, y estar alejados de las paredes. Las zonas de almacenamiento se mantendrán siempre limpias y cerradas con llave. Ahora, los granos de cacao debidamente fermentados, secados y ensacados están listos para vender. Toda infestación se ha de tratar mediante métodos adecuados y autorizados de fumigación. La documentación apropiada que acompaña el cargamento deberá indicar de forma clara y correcta los productos y cantidades empleados para la fumigación. (IICA, 2017)

La selección y el almacenaje de los granos es otra de las etapas importantes del proceso de poscosecha, debido a que se debe evaluar y almacenar, únicamente, el cacao que cumpla con la calidad permitida. Cuando ya es almacenado el lugar debe cumplir ciertos requerimientos; de manera que, la calidad no vaya a ser afectada. (IICA, 2017)

Posterior a la etapa de secado hay que realizar una selección exhaustiva de granos. De tal forma que todas las impurezas y granos dañados, defectuosos o de menor tamaño sean eliminados del producto que se va a almacenar. Es común para realizar esta separación el uso ventiladores para separar el polvo y la cascarilla. Por su parte, es importante realizar una selección de granos por calidades. Los granos de primera calidad corresponden a granos enteros y de gran tamaño. Para realizar esta clasificación, son utilizados zarandas o tamices específicos, de manera que, el cacao de menor calidad (por su menor tamaño) pasa por las zarandas. (IICA, 2017)

En la calidad del cacao no solo influye el tamaño, sino también el aspecto de los granos; por tanto, deben seleccionarse y separarse los granos negros, mohosos, dañados por insectos, quebrados, arrugados y pegados. Lo anterior debido a que estos granos también determinarán el sabor del cacao. También deben mantenerse las normas de inocuidad de los alimentos y no poner en riesgo de afectación a los posibles consumidores del producto final con granos dañados o contaminados. La selección en este punto debe de realizarse a mano, con un grado de experiencia suficientemente alto, de manera que el proceso sea realizado con precaución y eficiencia. Dentro de las características de granos de buena calidad se pueden mencionar: los granos son

hinchados, el color generalmente es café, se produce un chasquido cuando se presiona el grano, el color interno del grano es oscuro y es fácil desprender la cáscara. (IICA, 2017)

1.4. La calidad del cacao

La calidad del cacao satisface gustos, sabores y preferencias de los compradores, la industria y los consumidores. La calidad del cacao está determinada por diferentes parámetros: (PROCOMER, BID, s/f)

- Características físicas: porcentaje de humedad del grano, peso, grosor de cáscara, presentación exterior y visual del grano, color de la almendra, etc.
- Características químicas: contenidos de grasa y azúcares, pigmentación de los cotiledones y moléculas responsables del sabor y la aroma.
- Características organolépticas: sabores y aromas diferenciados, libre de defectos.
- Bioseguridad alimentaria: son las relacionadas con la salud y nutrición humana, tales como flavonoides, mico-toxinas, contaminantes y residuos de metales pesados.

1.5. Clon de cacao CCN – 51

CCN – 51 es un clon de cacao de alto rendimiento y con alta resistencia a las enfermedades, que se cultiva para la industria del chocolate de calidad comercial. Algunos expertos de la industria están preocupados ante la posibilidad de que predomine la producción de solo un clon.



**Figura 22. Mazorca de cacao Clon CCN - 51.
Fuente: PDG (2019).**

La historia del clon CCN – 51 comienza con el hongo escoba de bruja, patógeno originario de la cuenca del Amazonas, que es devastador para el cacao. Con el pasar de los años, ha causado daños severos a la industria del cacao en muchos países productores de América del Sur y el Caribe. Hacia el final de la década de 1890 se registró un brote de escoba de bruja que paralizó la industria en Surinam, acabando con el 80% de la producción de Cacao. El hongo también afectó gravemente a Colombia, Guyana, Trinidad, Tobago, Perú, Granada, Panamá y Brasil. (PDG, 2019)

Como respuesta a la devastadora introducción de la escoba de bruja en Ecuador, el científico botánico independiente Homero Castro desarrolló el clon CCN – 51 (Colección Castro Naranjal 51) durante la década de 1960. Este árbol de cacao altamente productivo y resistente a las enfermedades se utilizó para reemplazar variedades más susceptibles. Hacia el final de la década de 1990, este clon comenzó a dominar la escena del cacao fino en las regiones productoras de Ecuador. (PDG, 2019)

Este clon es el resultado del cruce de los clones ICS 95 y el IMC 67 (figura 23) en 1965 en la zona de Naranjal en la hacienda “Sofi”, se han realizado diversos análisis del grano de cacao del clon CCN – 51, comparándolo con el cacao de las huertas tradicionales, con excelentes resultados. (Quintana Fuentes & Gómez Castelblanco, 2011)

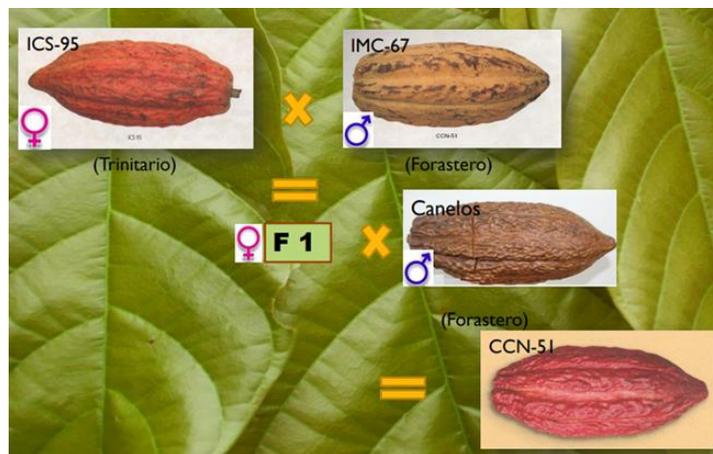


Figura 23. Origen del clon CCN - 51.
Fuente: Cedeño Amador (2011).

El clon CCN – 51 es un árbol pequeño, de fácil manejo, mazorca grande (8 mazorcas equivalen a una libra de cacao seco), precoz, inicia producción a los 2 años, reporta alta productividad (2 – 2.5 ton/ha), de semillas grandes (1.4 – 1.5 g), tolerante a la escoba de bruja, alto contenido de manteca (54%) lo que da mayor rendimiento en fábrica, polvo de color rojizo, con la nueva fermentación tiene excelente sabor y aroma. (Cedeño Amador, 2011)

En Ecuador, desde hace 20 años, el 90% de las siembras nuevas son con cacao CCN – 51, con cultivo tecnificado. Se calcula que existen en Ecuador 50,000 hectáreas de cacao CCN – 51 y la mayoría están en manos de pequeños agricultores. (Cedeño Amador, 2011)

En la actualidad, muchos productos a base de chocolate de calidad comercial tienen CCN – 51 en alguna proporción. Un informe del Departamento de Agricultura de los EE. UU. (USDA, por sus siglas en inglés) de 2015, afirma que el 36 % de la producción de cacao del país en aquella época era de variedad CCN – 51. (PDG, 2019)

CCN – 51 ofrece a los productores de cacao un rendimiento alto y consistente, y al mismo tiempo prosperar en sistemas de monocultivo sin sombra. Ha desplazado a clones que, de otro modo, podrían contribuir a la diversidad del paisaje de cacao. En todo el mundo, los clones con un gran potencial de sabor y otras características interesantes están siendo reemplazadas y, por ende, desapareciendo. (PDG, 2019)

Algunos miembros de la industria sugieren incorporar CCN – 51 en las mezclas de cacao fino como alternativa de rango medio al cacao fino, que es más costoso y al de calidad comercial. Otros dicen que promover las mezclas “degrada tanto el valor como el sabor del chocolate que resulta de ellas”, generando una pérdida para el cacao fino. (PDG, 2019)

Según Anecacao (2015) citado por Peñaherrera González (2021), el cacao CCN-51 es un tipo de cacao que se caracteriza por sus frutos que tienen una coloración rojiza en su estado de desarrollo y en su madurez, contienen grandes cantidades de grasa, por lo que define sus propios nichos de mercados. Es un clon que se caracteriza por su capacidad productiva, siendo esta cuatro veces mayor a las clásicas producciones y a su vez por ser resistente a las enfermedades.

1.5.1. Calidad de los granos de cacao CCN – 51

La Norma Técnica Ecuatoriana –NTE- (NTE INEN 176, 2018) establece los requisitos de calidad y los criterios para la clasificación de los granos de cacao fermentados y secados, lo cual se presenta en los cuadros 2 y 3.

Cuadro 2. Clasificación del clon de cacao CCN-51 según requisitos físicos.

Variedad de Cacao	Clasificación según requisitos físicos
Cacao CCN-51	Cacao Superior Selecto (C.S.S.)
	Cacao Superior Corriente (C.S.C.)

Fuente: Peñaherrera González (2021).

Cuadro 3. Requisitos físicos y calidad para los granos del clon de cacao CCN-51.

Requisitos	C.S.S.	C.S.C.	Métodos de ensayo
Humedad (máxima, %)	7	7	NTE INEN-ISO 2291
Peso de 100 granos (g)	> 125	110 a 125	
Granos fermentados (mínimo, %)	68	55	NTE INEN-ISO 1114
Granos violetas (máximo, %)	18	26	NTE INEN-ISO 1114
Granos pizarrosos (máximo, %)	12	16	NTE INEN-ISO 1114
Granos mohosos (máximo, %)	2	4	NTE INEN-ISO 1114
Análisis sobre 100 gramos (mínimo)	100	100	
Granos defectuosos (máximo, %)	1	3	
Material relacionado al cacao (máximo, %)	1	1	
Material extraño (máximo, %)	0	0	

Fuente: Peñaherrera González (2021).

En el cuadro 3 se observan los requisitos físicos y de calidad para las dos categorías de clasificación del cacao clon CCN-51, en donde difieren en requisitos del peso de 100 granos, porcentaje de granos fermentados, de granos violetas, pizarrosos, mohosos y defectuosos.

1.5.2. Propiedades físicas

Varios autores evaluaron los aspectos físicos de los granos de cacao secos aplicando diferentes métodos de fermentación (cuadro 4). Se evaluó la calidad de los granos (violetas, pizarrosos, mohosos, defectuosos, material extraño, índice de grano), porcentaje de fermentación y la humedad final. (Peñaherrera González, 2021)

Según las revisiones sistemáticas de estudios de diferentes métodos de fermentación del cacao, realizados por Peñaherrera (2021), a continuación, se presentan las características físicas de los granos de cacao CCN-51 con diferentes métodos de fermentación.

Cuadro 4. Características físicas de los granos del clon de cacao CCN-51 aplicando diferentes métodos de fermentación.

Métodos de Fermentación	Granos fermentados (%)	Índice de grano (g)	Granos violetas (%)	Granos pizarrosos (%)	Granos mohosos (%)	Granos defectuosos (%)	Materia l extraño (%)	Humedad granos secos (%)
En cajas de madera	90.0	1.21	3.0	0.0	1.00	0.0	0	7.00
En cajas Tipo Rohan	90.0	1.35	9.0	0.0	2.00	0.0	0	6.23
En montón	85.0	1.36	2.0	0.0	0.13	1.0	0	6.49
En sacos	70.0	1.28	11.0	0.0	7.00	0.0	0	7.58
En fermentador de acero inoxidable	95.7	1.33	4.0	1.0	0.0	0.0	0	6.20
En fermentador de aluminio	95.0	1.35	3.0	1.0	1.0	0.0	0	6.40
En fermentador de plástico	87.89	1.33	6.0	0.0	2.0	0.0	0	6.50

Fuente: Peñaherrera González (2021).

Se presentaron los resultados experimentales obtenidos por varios autores de las propiedades físicas de los granos de cacao fermentados y secados, en cada estudio se aplicó diferentes métodos de fermentación.

- Granos de cacao fermentados: granos cuyos cotiledones presentan una coloración marrón o marrón rojiza y estrías profundas, o también cotiledones de una ligera coloración violeta y estrías no profundas.
- Granos de cacao violetas: granos que presentan un color violeta, en al menos, la mitad de la superficie expuesta de los cotiledones.
- Granos de cacao pizarrosos (pastosos): granos sin fermentar que presenta en su interior un color gris negruzco o verdoso y de aspecto compacto por sobre la mitad o más de la superficie expuesta.
- Granos de cacao mohosos (con mohos): granos que han sufrido deterioro parcial o total en su estructura interna debido a la acción de mohos.
- Granos de cacao defectuosos: granos que presentan los siguientes defectos: granos de cacao dañados por insectos (granos que han sufrido deterioro en su estructura, perforaciones, debido a la acción de insectos); granos de cacao germinados (granos que han sufrido deterioro en su calidad debido a un cambio evidente en su estructura por el proceso de germinación, presencia de germen o agujero); granos de cacao múltiples o pelota (unión de dos o más granos por restos de mucílago); granos de cacao negros (granos que se producen por enfermedades o por mal manejo poscosecha); granos de cacao planos-vano o granza (granos cuyos cotiledones se han atrofiado hasta tal punto que cortando la semilla no es posible obtener una superficie completa de los cotiledones).
- Material relacionado al cacao: corresponde a los granos quebrados (fragmentos de granos que tienen menos de la mitad del grano entero), cascarillas, placenta y venas.
- Material extraño: sustancias o materiales distintos al grano de cacao.
- Granos infestados: granos que contienen insectos vivos o muertos o sus fragmentos, en cualquiera de sus estados biológicos. (NTE INEN 176, 2018)

1.5.2.1. Porcentaje de fermentación

De los métodos de fermentación presentados, en cuanto al porcentaje de fermentación de los granos de cacao, todos los métodos cumplen con el parámetro mínimo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana –NTE- (NTE INEN 176, 2018). Los resultados más satisfactorios presentados en el cuadro 6 (página 51), ofrecen el tipo de fermentación en

fermentador de acero inoxidable y fermentador en aluminio, con valores superiores al 95% de granos fermentados, mientras que el valor menor corresponde a la fermentación en sacos con un 70%. Sin embargo, Relief (2017) citado por Peñaherrera González (2021) menciona que, para el cacao de buena calidad, el porcentaje de granos fermentados en la muestra debe de ser mayor del 80%. Las primeras 48 horas en el proceso de fermentación es de vital importancia ya que en esta fase las levaduras transforman el almidón y azúcares del mucílago en alcohol etanol (Bermúdez & Mendoza, 2016, citado por Peñaherrera González, 2021). Si se tiene un bajo porcentaje de fermentación quiere decir que no alcanzo la temperatura adecuada en la masa fermentable debido a las condiciones en que se llevó el ensayo.

1.5.2.2. Índice de grano

Al momento de realizar un eficiente manejo poscosecha a los granos de cacao frescos, las almendras secas adquieren sabores y aromas agradables y su índice de grano mejora considerablemente, alcanzando una media de 1.26 g, considerada como aceptable para el cacao (Liendo, 2016, citado por Peñaherrera González, 2021). El cuadro 6 contiene otra información de la variable de índice de grano con valores experimentales obtenidos de cada tipo de fermentación y de diferentes autores, estos se encuentran en un rango de 1.21 y 1.36 g, sobresaliendo la fermentación en montón. Al respecto Sánchez, 2015, citado por Peñaherrera González, 2021) señala que se considera aceptable un índice de grano mayor a 1.00 g, considerado admisible desde el punto filogenético e industrial. Los resultados para todos los tipos de fermentación evaluados por diferentes autores del cuadro 4 (página 45) superan los valores establecidos por la NTE (INEN 176, 2018, citado por Peñaherrera González, 2021)

El rendimiento puede ser calculado mediante el producto del número de mazorcas/árbol, el número de granos/mazorca y el índice de grano (IG), cuyos valores fueron obtenidos en cada cosecha por clon y por año cacaotero y multiplicado por la densidad de plantas (952 plantas/ha). Los granos deben ser extraídos en forma manual de las mazorcas y separados de la cáscara, antes de proceder a su conteo y pesaje en húmedo. (Puentes-Páramo, Menjivar-Flores, Gómez-Carabalí, & Aranzazu-Hernández, 2013)

El índice de grano (IG) en gramos se calcula utilizando la fórmula propuesta por Allen (1987) citado por Puentes-Páramo et. al (2013):

$$IG = \frac{\text{Peso total de granos por mazorca}}{\text{Numero de granos por mazorca}} \times 0.38$$

El índice de mazorca se puede determinar contando el número de mazorcas necesarias para obtener 1 kg de almendra seca de cacao. (Puentes-Páramo, Menjivar-Flores, Gómez-Carabalí, & Aranzazu-Hernández, 2013)

1.5.2.3. Defectos de los granos de cacao

En los resultados del cuadro 4 (página 45) desarrollados por varios autores, se demuestra que para todos los métodos de fermentación, presentan granos violetas en un rango de 2 a 11% de la cantidad total de granos analizados, valor aceptable que se encuentra dentro de la NTE (INEN 176, 2018), sin embargo el valor más alto corresponde al método de fermentación en sacos, característica que se asocia a una interrupción del proceso de fermentación, el cual impide la degradación de las antocianinas (Llerena & Uriña, 2017, citado por Peñaherrera González, 2021). Un grano bien fermentado está quebrado por dentro, de color café, no es plano y no tiene color púrpura o violeta (Bermúdez & Mendoza, 2016, citado por Peñaherrera González, 2021). Otro aspecto negativo que presentan todos los tipos de fermentación es la presencia de granos mohosos a excepción del fermentador en acero inoxidable, mientras que el método de fermentación en sacos con 7% sobrepasa el límite máximo de 4% establecido en la NTE (INEN 176, 2018, citado por Peñaherrera González, 2021).

1.5.2.4. Humedad

El valor máximo que establece la NTE (INEN 176, 2018) para la humedad es 7%, el resultado que llega a este valor son los granos fermentados en cajas de madera presentados en el cuadro 4 (página 45), sin embargo, en todos los métodos de fermentación estudiados por varios autores, se obtiene una humedad entre un rango de 6.20 y 7.58%. Según el estudio de Valdivia (2015), citado por Peñaherrera González

(2021), recomienda secar los granos de cacao hasta un 6 a 7% de humedad, si está por debajo del 6%, se obtienen granos quebradizos y si está por encima del 8%, son más propensos al ataque de hongos y de insectos.

1.5.3. Propiedades químicas y bromatológicas

Varios autores evaluaron los aspectos bromatológicos de los granos de cacao secos aplicando diferentes métodos de fermentación:

Cuadro 5. Propiedades químicas y bromatológicas de los granos del clon de cacao CCN-51 aplicando diferentes métodos de fermentación.

Métodos de fermentación	pH cotiledón de los granos secos	Acidez (%) Ácido acético	Grasa (%)	Cenizas (%)
En cajas de madera	5.22	0.14	50.91	3.75
En cajas Tipo Rohan	6.35	0.28	47.03	4.50
En montón	6.31	0.66	30.82	3.49
En sacos	5.87	0.85	32.10	3.46
En fermentador de acero inoxidable	4.69	0.10	47.60	3.30
En fermentador de aluminio	4.72	0.09	48.84	3.22
En fermentador de plástico	4.74	0.10	39.06	3.09

Fuente: Peñaherrera González (2021).

1.5.3.1. Porcentaje de grasa

El porcentaje de grasa en los granos de cacao evaluado por varios autores aplicando diferentes métodos de fermentación, se encuentra en un rango de 30.82% y 50.91%, sobresaliendo el método de fermentación en cajas de madera. La grasa es un parámetro para determinar la calidad del grano de cacao y este se ve afectado por la eficiencia del proceso poscosecha del cacao, si estas prácticas son malas se obtendrá un producto de mala calidad; y si este es bueno se obtiene un cacao rico en materias grasas (Caobisco, 2015, citado por Peñaherrera González, 2021). Otros resultados del contenido de grasa que se obtuvo en el estudio de Camino, Samaniego, & Espín (2014) citados por Peñaherrera González (2021), variaron entre 43.84% y 48.85% en almendras de cacao

nacional fino y de aroma. Según Anecacao (2015) citado por Peñaherrera González (2021), el contenido de grasa en las muestras de cacao nacional varía en un rango de 47% a 50 %. Las determinaciones de grasa en el final de secado no permiten discernir cuál de los métodos de fermentación es el más conveniente puesto que los valores obtenidos son diferentes.

1.5.3.2. pH

Todos los tipos de fermentación presentados en el cuadro 5 (página 49) estudiados por diferentes autores, tuvieron granos de cacao con valores de pH ubicados entre 4.69 y 6.35. El pH óptimo de un cacao de calidad debe encontrarse en un rango de 5.1 a 5.4, lo que indica que la fermentación ha finalizado (Erazo, 2019, citado por Peñaherrera González, 2021), valores mayores de pH son indicativos de una sobre fermentación y valores menores a 5 indica la presencia de ácidos no volátiles indeseables, dando aromas desagradables (Quevedo, Romero, & Tuz, 2018, citado por Peñaherrera González, 2021). El valor reportado para pH en el método de fermentación en cajas de madera es el único que se encuentra dentro de este rango.

1.5.3.3. Acidez

La acidez de los granos esta inducida por las reacciones que conlleva el proceso de fermentación del cacao, los ácidos producidos en la pulpa que encierra los granos de cacao se difunden e inducen los cambios bioquímicos en el resultado final del grano fermentado, este incremento de la acidez corresponde a los ácidos acéticos, láctico, cítrico y oxálico, producidos durante la degradación de la pulpa por el accionar microbiano y estos varían entre 1.2% y 1.6% (Vílchez, 2016, citado por Peñaherrera González, 2021). Los métodos de fermentación estudiados por varios autores en cuanto a los resultados obtenidos de acidez se encuentran en un rango de 0.09% y 0.85% de ácido acético.

1.5.3.4. Cenizas

La evaluación de la ceniza de los granos secos es un indicador del grado de fermentación de un grano de cacao, pues indica claramente si un grano fue fermentado o directamente

fue secado, esto se evidencia ya que en el proceso de fermentación se pierde alrededor del 25% de las cenizas que poseía al inicio, que es vinculante con los procesos de evaporación de líquidos que en forma simultánea pierde el fruto conjuntamente con agua los ácidos volátiles formados (Bermúdez & Mendoza, 2016, citado por Peñaherrera González, 2021), también permite identificar un cacao fino o de un clon, el primero posee porcentajes mayores al 3% y el segundo menores al 2.5% (Yanzapata, 2014, citado por Peñaherrera González, 2021). En los estudios presentados en el cuadro 5 (página 49) se encuentra que aplicando el método de fermentación tipo Rohan, obtuvo 4.50% de cenizas en los granos de cacao y el valor menor se dio aplicando el método de fermentación en fermentador plástico con 3.09% de cenizas.

1.5.3.5. Tiempo de fermentación y temperatura

Cuadro 6. Tiempo de fermentación y temperatura máxima alcanzada aplicando diferentes métodos de fermentación a las almendras del clon de cacao CCN-51.

Método de fermentación	Tiempo de fermentación (horas)	Temperatura máxima alcanzada (°C)
En cajas de madera	120	42.67
En cajas Tipo Rohan	120	39.72
En montón	120	43.00
En sacos	72	41.33
En fermentador de acero inoxidable	144	45.00
En fermentador de aluminio	144	46.05
En fermentador de plástico	144	39.54

Fuente: Peñaherrera González (2021).

El tiempo de fermentación del cacao y la temperatura se ven influenciados por diversos factores, entre ellos el tipo de fermentación, que como se puede observar en los estudios desarrollados en el cuadro 6, la fermentación en cajas de madera, tipo Rohan y en montón, tardan 120 horas en dar por terminado el proceso de fermentación, llegando a temperaturas máximas en un rango de 39.72°C a 42.67°C. (Peñaherrera González, 2021)

Por otro lado, la fermentación en fermentadores de aluminio, acero inoxidable y plástico tardan 144 horas en finalizar el proceso de fermentación, alcanzado temperaturas máximas entre 39.54°C y 46.05°C, mientras que, para el experimento de fermentación en sacos, se finalizó en 72 horas, con una temperatura máxima de 41.33°C. Según Rigel (2015), citado por Peñaherrera González (2021) en las primeras 24 horas, el cacao debe

alcanzar temperaturas mayores de 30°C. Al segundo día, la temperatura alcanza 45°C, hasta alcanzar 50°C de calor, la temperatura ideal se debe mantener día y noche entre los 48 y 51 °C para que se desarrolle adecuadamente el proceso de fermentación y de muerte al embrión.

Se presentan las características del grano de cacao cuando ha sido fermentado de una manera correcta.

Cuadro 7. Características del grano de cacao fermentado.

Características del grano seco	Grano bien fermentado	Grano que le faltó fermentar	Grano sin fermentar
Forma	Hinchado	Algo aplanado	Aplanado
Color del grano por fuera	Café oscuro	Amarillo claro, amarillo rojizo	Blanquecino o rojizo
Cascarilla	Se desprende fácilmente al tocarla con los dedos	Es difícil arrancarla con las uñas	No se desprende, está apegado al grano
Consistencia del grano	Fácil de quebrar y desbaratar con los dedos	Se desbarata con los dedos	Es duro como de hule, solo se puede partir con navaja
El grano por dentro	Está todo quebrado	No presenta quebradura	Muy duro y sólido
Color del grano por dentro	Color chocolate o café oscuro	Entre cenizo y moreno	Violeta
Olor	A chocolate, aromático, agradable	A vinagre desagradable	Sin olor o con olor a moho
Sabor o gusto	Amargo, agradable	Amargo	Muy amargo

Fuente: Peñaherrera González (2021).

1.5.4. Propiedades organolépticas

Varios autores evaluaron los aspectos organolépticos de los granos de cacao secos y algunos derivados aplicando diferentes métodos de fermentación y secado. Éstas características organolépticas se presentan en el siguiente cuadro, según investigación realizada por Peñaherrera González (2021).

Cuadro 8. Características organolépticas de los granos de cacao secos.

Sabor	Olor	Color	Textura
--------------	-------------	--------------	----------------

Cacao Amargo Astringente Acido Frutal Floral Nuez Caramelo Intenso Frutos secos Frutos dulces Almendra Ahumado Mohoso Crudo-verde	Chocolate Aromático Intenso Suave Imperceptible Ahumado Tostado Oxidado Fermentado	Marrón Café claro Oscuro Brillante Opaco Turbio Veteado Uniforme Pronunciado Mezcla Envejecido Manchado	Granuloso Harinoso Viscoso Seco Grasoso Diluido Compacto
---	--	--	--

Fuente: Peñaherrera González (2021).

1.5.4.1. Propiedades organolépticas del cacao aplicando diferentes métodos de fermentación y secado

Cuadro 9. Características de sabor y aroma en las almendras del clon de cacao CCN-51 aplicando diferentes métodos de fermentación y secado.

Método de fermentación	Método de secado	Tiempo de fermentación (días)	Tiempo de secado (días)	Características de sabor	Características de aroma
En cajas de madera	Natural marquesina	5	5	Frutal y floral	Característico a cacao
En montón	Natural y tendal de cemento	3	5	Astringente	Fermentado
Micro fermentación en mallas de nylon	Natural plataforma de madera con techo corredizo	5	6	Cacao y fruta fresca	Característico a cacao
En tanques de plástico de PVC perforado	Artificial proveniente de la combustión de petróleo	5	2	Amargo y astringente	Ahumado
En tarimas plásticas	Natural piso de cemento	5	5	Amargo	Mohoso
En barril de acero inoxidable	Artificial cámara de secado rotatoria y cilíndrica	4	1	Cacao y amargo	Ahumado

Fuente: Peñaherrera González (2021).

Cuadro 10. Causas principales de sabores no deseados en las almendras del clon de cacao CCN-51.

Sabor	Causa
Moho	<ul style="list-style-type: none"> • Fermentación prolongada • Secado lento o inadecuado • Almacenamiento bajo condiciones muy húmedas • Los granos germinados y los granos dañados tienen tendencia a hacerse mohosos.
Ahumado	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación por humo durante el secado debido a combustibles inapropiados, mal diseño, operación defectuosa o mantenimiento deficiente del secador. • Exposición de los granos secos almacenados a contaminación por humo.
Sabor ácido excesivo	<ul style="list-style-type: none"> • Fermentación en caja profunda. • Remoción inapropiada. • Secado demasiado rápido.
Amargo y astringencia excesiva	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales de siembra que aumentan la concentración de polifenoles. • Fermentación incompleta.

Fuente: Peñaherrera González (2021), basado en European Cocoa Association (2015).

Cuadro 11. Métodos de fermentación y secado que utilizan los principales exportadores de cacao en diferentes países.

País	Producción (toneladas)	Método de fermentación	Método de secado
Costa Marfil	1,448,992	En cajas de madera y bandejas tipo Rohan, durante 5 a 7 días.	Natural en piso de cemento o plástico por 5 días.
Ghana	835,466	Realizan un secado previo al proceso de fermentado, colocando el cacao en sacos de yute para que escurra la baba por 1 día y 1 día más se expone al sol; posterior se inicia la fermentación por 4 días en cajas de madera o en los mismos sacos de yute.	Natural en bandejas tipo Rohan, piso de cemento o plástico por 5 días.
Indonesia	777,500	En sacos de yute o tinas entre 5 a 7 días.	Natural en piso de cemento o plástico entre 5 a 7 días y artificial 1 día.
Nigeria	367,000	Fermentadores de madera ya sean cajas o bandejas por 6 días.	Natural en lonas de plástico entre 4 a 6 días.
Camerún	275,000	En canastas de fibra recubiertas con plástico u hojas de plátano.	Natural en piso de cemento o plástico por 6 días.
Brasil	275,000	En cajas de madera tipo escalera o cuadradas.	Natural en cajas de madera, camas, tarimas, patios y marquesina o túneles de

			secado. Posteriormente realizan un añejamiento que consiste en almacenar el cacao por 75 días.
Ecuador	128,446	En cajas de madera, sacos y montón.	Natural en secadero tipo Elba y marquesinas o túneles de secado. Artificial con secadoras a gas reduciendo el secado a 8 horas y libre de impurezas.
México	82,000	En cajas de madera a base de cedro y macuilis. Los granos se lavan al final de la fermentación para eliminar las partículas de pulpa.	Natural en marquesina y artificial (secadora tipo Samoa), tiempo de secado de 24 a 36 horas.
Perú	71,175	En cajas de madera, montón y sacos de yute.	Natural en plataforma de madera de especies barbacoa y tarima.
República Dominicana	68,021	En cajas de madera y tipo escalera, montón y sacos de yute,	Natural en marquesina, túneles de secado o en el piso en lonas.

Fuente: Peñaherrera González (2021).

Culturalmente, en la mayoría de los países productores de cacao se utilizan hojas de plátano para cubrir la masa de fermentación, adicionalmente utilizan bolsas y costales de plástico, y costales de fique (Angueta, 2016, citado por Peñaherrera González, 2021).

1.6. Experimento bifactorial completamente al azar con arreglo en parcelas divididas

En estadística, un experimento factorial completo es un experimento cuyo diseño consta de dos o más factores, cada uno de los cuales, con distintos valores o niveles, cuyas unidades experimentales cubren todas las posibles combinaciones de dichos niveles en todos los factores. Este tipo de experimentos permiten estudiar el efecto de cada factor sobre la variable respuesta, así como el efecto de las interacciones entre factores sobre dicha variable.

Un diseño de parcelas divididas es un experimento diseñado que incluye al menos un factor difícil de cambiar que es difícil de aleatorizar completamente debido a limitaciones de tiempo o costo. En un experimento de parcelas divididas, los niveles del factor difícil de cambiar se mantienen constantes durante varias corridas experimentales, las cuales se tratan colectivamente como una parcela completa. Los factores fáciles de cambiar se

varían en estas corridas, y cada combinación se considera una parcela subdividida dentro de la parcela completa. Usted debería aleatorizar el orden en el que ejecuta las parcelas completas y las parcelas subdivididas dentro de las parcelas completas. (Minitab Statistical Software, 2021)

Un diseño de parcela dividida es un diseño experimental en el que los investigadores están interesados en estudiar dos factores en los que, uno de los factores es “fácil” de cambiar o variar y el otro de los factores es “difícil” de cambiar o variar. Este tipo de diseño fue desarrollado en 1925 por el matemático Ronald Fisher para su uso en experimentos agrícolas. (Statologos, 2022)

Para ilustrar la idea del diseño de parcelas divididas, un ejemplo es estudiar los efectos de dos métodos de riego (Factor A) y dos fertilizantes (Factor B) sobre el rendimiento de un cultivo. (Statologos, 2022)

Entre las ventajas de los diseños de parcelas divididas, está el costo, dado que uno de los factores en un diseño de parcela dividida no tiene que cambiarse para cada parcela dividida, esto significa que este tipo de diseño tiende a ser más barato de llevar a cabo en la práctica. Otra ventaja es la eficiencia, pues un diseño de parcela dividida conduce a un aumento en la precisión de las estimaciones para todos los efectos de los factores, excepto para los efectos principales de la parcela completa. (Statologos, 2022)

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Ubicación geográfica de la investigación

2.1.1. Localización y ubicación geográfica de finca El Faro

La investigación se realizó en la finca El Faro, municipio de El Palmar, departamento de Quetzaltenango. La finca está ubicada geográficamente en las coordenadas $14^{\circ}67'05.21''$ de latitud norte y $91^{\circ}58'39.08''$ de longitud oeste; a una altura de 831 msnm. (Castañeda Cabrera, 2022)

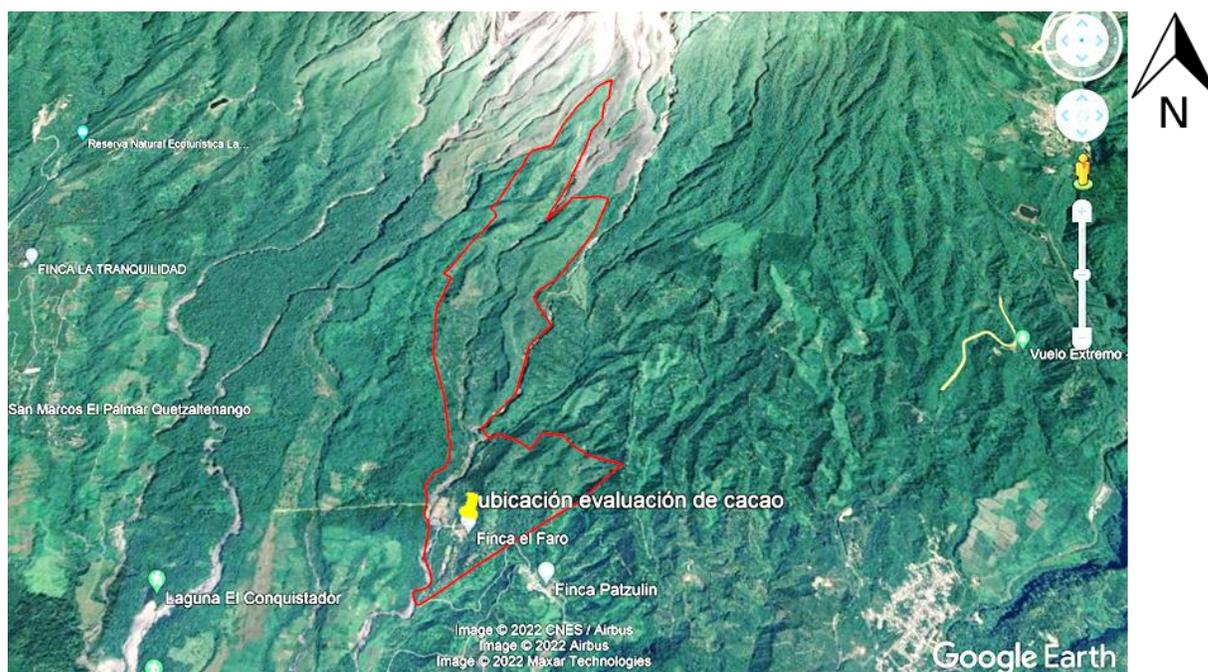


Figura 24. Mapa de ubicación geográfica del área de la investigación, finca El Faro.

Fuente: Google Earth (2022).

Cuenta con un área total de 503.39 hectáreas (719.12 Mz). Su cultivo principal es el *Coffea arabica* (café) de distintas variedades, entre las cuales se encuentra Catimor, Catuai, Sarchimor, Marsellesa, Bourbon y Caturra. Como cultivos secundarios se cuenta con *Theobroma cacao* (cacao), *Macadamia integrifolia* (macadamia) y *Musa* sp. (banano). (Castañeda Cabrera, 2022)

2.1.2. Zona de vida y clima

Establecer el cultivo de cacao en las condiciones agroecológicas adecuadas de clima y suelo es el primer paso de una producción exitosa y sostenible. Finca El Faro se localiza en la zona de vida de Bosque húmedo tropical cálido. (Holdridge, 1977)

Según el Manual técnico del cultivo de cacao del IICA, el cacao proviene de una zona ecológica del trópico húmedo, cultivándose en regiones cálidas y húmedas, en más de 50 países ubicados en cuatro continentes (África, América, Asia y Oceanía), de los cuales, 23 países son de América, entre los que se incluye a Guatemala, cercanos a la línea ecuatorial en Centroamérica (IICA, 2017). Esto demuestra que la zona de vida en donde se localiza finca El Faro, es propicia para su cultivo.

El siguiente cuadro presenta la síntesis de las condiciones de clima y suelo para el cultivo de cacao en América Latina y el Caribe, según el Manual técnico del cultivo de cacao del IICA (2017).

Cuadro 12. Condiciones de clima y suelo para el cultivo de cacao en América Latina y el Caribe.

País	Temperatura (°C)	Precipitación anual (mm)	Humedad (%)	Altitud (msnm)	Suelos	pH suelo
Brasil	> a 21°	> a 1300	70 – 80	0 – 1300	Franco	5 a 7
Ecuador	23 – 25°	1250 – 3000	70 – 85	0 – 1400	Franco limoso – Franco arcilloso	6 a 7
Rep.Dominicana	24 – 25°	1200	60 – 80	0 – 400	Arcillo – arenoso	5.5 a 6.5
Perú	23 – 32°	1600 – 2500	70 – 80	0 – 1200	Franco	5 a 7
Colombia	24 – 28°	1800 – 2600	75 – 85	0 – 1200	Franco arcilloso – Arenoso	5.5 a 6.5
México	23 – 28°	1200 – 2500	50 – 70	10 – 400	Franco arcilloso – Franco arenoso	6 a 7
Venezuela	21 – 28°	1150 – 2500	75 – 85	0 – 1250	Franco arcilloso	6 a 7
Bolivia	15 – 30°	1300 – 2000	70 – 80	0 – 1300	Franco	5 a 7
Cuba	22 – 28°	1500 o >	60 – 90	0 – 700	Franco arcilloso – Franco arenoso	6 a 7
Nicaragua	22 – 27°	1500 – 3500	60 – 80	0 – 1200	Arcilloso – Franco arenoso	5 a 8
Honduras	21 – 25°	1500 – 2500	60 – 80	0 – 800	Franco arenoso – Franco arcilloso	6 a 8
Costa Rica	20 – 30°	1500 – 3000	60 – 80	0 – 900	Franco – Franco arcilloso	5.5 a 7.5
Guatemala	20 – 30°	1600 – 2500	60 – 80	400 – 1000	Franco	4 a 7

Fuente: IICA (2017).

Los elementos del clima con mayores efectos sobre el establecimiento adecuado de las plantaciones de cacao y su óptima producción son la precipitación, la temperatura y la humedad. Cuando los rangos de temperatura, humedad y precipitación que requiere el cacao, no son los óptimos o las zonas donde se desarrolla no cumplen con las condiciones adecuadas, es posible que se presenten situaciones indeseadas como la alta inhibición de flores, tardanza en la maduración de frutos, poco desarrollo del árbol y sus frutos, bajos rendimientos de producción y gran susceptibilidad a plagas y enfermedades como *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora palmeri* (principales enfermedades del cultivo). (IICA, 2017)

Los factores que más importancia climática tienen para el cacao son la temperatura y la precipitación. Ellos son los que limitan las zonas para su cultivo y son considerados como los factores climáticos críticos para su desarrollo.

En las zonas productoras de América Latina y el Caribe se pueden prever cambios de consideración que afectarán la economía agrícola y cacaotera. A mediano y largo plazos, se espera que en la región se incremente la propagación de plagas y enfermedades, como resultado no solo de las variaciones en las precipitaciones y las temperaturas ocasionadas por el cambio climático, sino también del incremento de los monocultivos, el abuso de los agroquímicos, la utilización de semillas no certificadas y el incumplimiento de las normas sanitarias fijadas para el comercio internacional. (IICA, 2017)

A continuación, se presentan detalles de las condiciones climáticas y del suelo, del área de cultivo de cacao en finca El Faro, comparado con lo referido por la fuente bibliográfica.

2.1.2.1. Altitud

La altitud en la que se encuentra el cultivo de cacao en finca El Faro varía desde 844.31 hasta 1,193.72 msnm (Castañeda Cabrera, 2022). El Manual técnico del cultivo de cacao del IICA (2017), indica que la altitud recomendada para éste cultivo debe ser por debajo de los 1,300 msnm; y que, para Guatemala, reporta que su desarrollo ideal se da entre los 400 a 1,000 msnm. Por lo tanto, la altitud en la cual se localiza el cultivo en la finca, es adecuada según la revisión de la literatura.

2.1.2.2. Temperatura

En finca El Faro, la temperatura mínima oscila de 14 °C a 19 °C; la máxima está de 25 °C a 33 °C y una media de 27°C aproximadamente, con un promedio anual de 24 °C, la cual varía de acuerdo con la época del año. (Castañeda Cabrera, 2022)

El Manual técnico del cultivo de cacao del IICA (2017), indica que el cacao debe cultivarse en regiones con temperaturas entre los 18 °C y 32 °C; indicando además que, específicamente para Guatemala, su desarrollo ideal se da a temperaturas entre 20 y 30 °C. Esto indica que las condiciones de temperatura en finca El Faro, son aptas para este cultivo.

2.1.2.3. Precipitación y humedad relativa

Finca El Faro cuenta con una precipitación pluvial anual de 4,195 mm, dato del año 2017. La época lluviosa se presenta en los meses de mayo a noviembre y la época seca en los meses de diciembre a abril. La precipitación anual oscila entre los 5,336 mm, dato del año 2020, ya que cada año la precipitación va cambiando, posee una precipitación promedio mensual de 444.67 mm con relación a las precipitaciones del año 2020. Su humedad relativa se encuentra entre los 65% a 85%, con un aproximado de 25 días a 186 días del previo de lluvia. (Castañeda Cabrera, 2022)

El Manual técnico del cultivo de cacao del IICA (2017), indica que la precipitación para éste cultivo, en promedio debe ser entre 1,150 mm y 2,500 mm, con temporadas secas inferiores a tres meses. El mismo manual reporta para el caso específico de Guatemala, que la precipitación óptima para el cacao es de 1,600 a 2,500 mm, distribuidos durante todo el año. Indica además que, su desarrollo ideal se da con alta humedad relativa. Estos datos de precipitación, según la literatura consultada, sí difieren de las condiciones en que el cultivo se encuentra en finca El Faro; pero los datos de humedad relativa sí están acordes a las condiciones de la finca.

2.1.2.4. Vientos

No existe registro de vientos en la finca, debido a que carece de una estación meteorológica (técnicamente no se pueden usar datos de vientos del municipio cercano ya que su altitud es totalmente diferente, lo cual genera una falsedad en los datos). (Castañeda Cabrera, 2022)

Según el Manual del cultivo de cacao de ANACAFE (2004), los vientos continuos pueden provocar un desecamiento, muerte y caída de las hojas. Por ello en las zonas costeras es preciso el empleo de cortavientos para que el cacao no sufra daños, los cortavientos suelen estar formados por distintas especies arbóreas (frutales o madereras) que se disponen alrededor de los árboles de cacao.

2.1.3. Suelo

Los suelos que presenta la finca El Faro, El Palmar, Quetzaltenango, son suelos desarrollados sobre ceniza volcánica, que tienen baja densidad aparente (menor de 0.9 g/cc) con altos contenidos de alofano. Generalmente son suelos con alto potencial de fertilidad y adecuadas características físicas para su manejo. En el área o sector Ixcanalera presenta un 60% pedregosidad en sus pendientes. (Castañeda Cabrera, 2022)

Los suelos de la finca son un 70% arcillosos y 30% franco arcillosos. Su estructura es granular migajosa, con 30 cm de profundidad y seguida por una estructura de bloques.

El pH del suelo varía desde 5.74 a 6.36, encontrándose dentro del rango adecuado de 5.5 a 6.5. En relación al porcentaje de materia orgánica, solamente tres sectores presentan valores por debajo del 3%, siendo el sector Andrés con 1.96%, San Carlos II con 2.1% y Buena Vista con 2.48%; el sector Sabina presenta un porcentaje de materia orgánica superior al rango adecuado (3 – 6%), con 6.12%; todos los demás sectores se encuentran dentro del rango adecuado, variando desde 3.04% hasta 4.93%. (Castañeda Cabrera, 2022)

El Manual técnico del cultivo de cacao del IICA (2017), indica que los suelos para su cultivo deben ser profundos, fértiles y bien drenados, ricos en materia orgánica. Para el caso específico de Guatemala, indica que, los suelos aluviales son los más apropiados; que los suelos francos y los profundos con subsuelo permeable y que los suelos arenosos, son poco recomendados, porque no permiten la retención de humedad. Éstas condiciones que reporta la literatura, pueden ser similares a los suelos de la finca.

El Manual técnico del cultivo de cacao del IICA (2017), recomienda que el cacao debe cultivarse preferiblemente en suelos sin limitaciones importantes de texturas o drenaje; ricos en nutrientes y con propiedades físicas y químicas adecuadas (nivel de acidez y contenido de materia orgánica que sean favorables para su desarrollo adecuado), además, deben fomentarse las prácticas de labranza que mejoren la estructura del suelo.

Las condiciones del suelo son muy importantes, pues malas condiciones edáficas de aireación, infiltración o suelos muy arenosos, pueden generar condiciones desfavorables por exceso o falta de humedad, provocando problemas en la raíz y en el desarrollo de la planta. (IICA, 2017)

2.2. Investigaciones realizadas con anterioridad relacionadas con el tema

2.2.1. Estudio de métodos de fermentación y secado del cacao

Peñaherrera González de la Universidad Central del Ecuador, en el año 2021 realizó una investigación sobre métodos de fermentación y secado del cacao. En este estudio se analizaron los trabajos de autores en todo el mundo, relacionados a los diferentes métodos de fermentación y secado del cacao (*T. cacao* L.), haciendo énfasis en trabajos realizados en el Ecuador sobre el cacao Nacional y el clon CCN-51, con relación a las propiedades físicas, químicas y organolépticas obtenidas.

Entre las conclusiones destacan las siguientes:

Se encontraron varios métodos de fermentación del cacao que son aplicados por los productores en diferentes regiones del mundo. El 69% de productores utiliza el método de fermentación en cajas de madera, un 15% el método de bandejas Tipo Rohan, 6%

fermentación en costal, 4% fermentación en montón y 2% fermentación en cajones de plástico y cemento, estos son considerados métodos tradicionales, mientras que otros estudios apuestan por la tecnología para obtener mejores resultados como es el desarrollo de fermentadores de acero inoxidable o aluminio, cerrados y rotatorios.

Los métodos de secado empleados por los productores de cacao provienen de dos fuentes, natural (luz solar) y artificial. El secado solar es el principal método que se utiliza en las diferentes regiones. El 66% de los productores utiliza el secador tipo Elba, el 25 % emplean el secado método Rohan, el 5% utiliza marquesina y un 4% secado en piso de plástico o cemento, sin embargo, se encontraron estudios enfocados en el desarrollo de prototipos de máquinas secadoras automáticas con el fin de tener el control de los parámetros de temperatura y tiempo. La gran diferencia entre los métodos es el tiempo el cual se reduce de días a horas.

Una vez analizados los estudios desarrollados por varios autores se concluye que la combinación más eficiente consiste en aplicar un presecado a los granos de cacao, seguido de una fermentación en cajas de madera, acompañado de un cultivo iniciador de levaduras y un secado natural en marquesina o también se puede optar por un método más actual aplicando un fermentador en acero inoxidable o aluminio acompañado de un secado natural tipo Elba.

Según las revisiones analizadas en esta investigación, en cuanto a las propiedades físicas, los resultados más satisfactorios ofrecen el tipo de fermentación en fermentador de acero inoxidable y fermentador en aluminio, con valores superiores al 95% de granos fermentados, en comparación con el método tradicional en cajas de madera con un 90% de granos fermentados; mientras tanto, en una fermentación en sacos se obtiene un valor menor a 70% de granos fermentados. Otro parámetro de calidad importante que se tiene en cuenta para el precio del cacao es la humedad que se debe encontrar entre 6 a 7%, en todos los métodos de fermentación estudiados por varios autores se obtiene una humedad entre un rango de 6.20 y 7.58%.

En cuanto a las propiedades químicas, en los estudios se encuentra que al aplicar el método de fermentación en cajas de madera se obtiene un pH óptimo de 5.22,

considerado un cacao de calidad. Los métodos de fermentación estudiados por varios autores en cuanto a los resultados obtenidos de acidez se encuentran en un rango de 0.09% y 0.85% de ácido acético. También se puede evidenciar que el contenido de ácido acético del cacao disminuye significativamente con la adición de levaduras en el proceso de fermentación. En cuanto al tiempo y temperatura máxima alcanzada, los métodos de fermentación en fermentador de acero inoxidable y aluminio ofrecen los resultados más satisfactorios llegando a 45 y 46°C en 144 horas.

Los métodos de fermentación y secado influyen directamente en la calidad sensorial del cacao y por ende en los productos obtenidos como el chocolate, la combinación de aplicar un método de fermentación en cajas de madera y secado en marquesina, le confiere al cacao un sabor y aroma característico a nuez y aromático. Por otro lado, una combinación de un método de fermentación en montón y secado en piso de cemento, se obtiene un cacao de sabor crudo-verde y con aroma a fermentado.

Las diferencias notables que se marcan en los métodos de fermentación es la forma, dimensiones, tipo de material y capacidad del fermentador. En los métodos del secado, las diferencias son el tipo de fuente (solar o artificial) y material de exposición de los granos. Según las revisiones analizadas el tipo de fermentador, la adición cuantitativa de cultivos iniciadores, frecuencia de remociones, tiempo, luz solar o artificial, son parámetros que hay que tomar en cuenta a la hora de iniciar el beneficio del cacao pues de esto dependerá los resultados obtenidos al final del proceso.

Luego de analizar la importancia del proceso de secado y fermentado para la obtención del cacao fino de aroma y los diferentes métodos empleados para su obtención más eficiente, la investigación concluye que las combinaciones más eficientes consisten en aplicar un pre secado a los granos de cacao, seguido de una fermentación en cajas de madera, acompañado de un cultivo iniciador de levaduras y un secado natural en marquesina, también se puede optar por un método más actual al aplicar un fermentador de acero inoxidable o aluminio acompañado de un secado natural tipo Elba, estos factores confieren características deseables en el producto final.

2.2.2. Incidencia de las prácticas de fermentación y secado sobre la calidad del grano de cacao producido en el occidente antioqueño.

Buelvas Salgado en Colombia, en el año 2016, realizó la investigación evaluando la incidencia de las prácticas de fermentación y secado sobre la calidad del grano de cacao. Indica que uno de los problemas que enfrenta el sector cacaotero colombiano es la poca tecnificación de los procesos de la fermentación y secado de grano, lo que afecta directamente la calidad final del mismo. El objetivo de esta investigación fue caracterizar las prácticas actuales de fermentación y secado de cacao; y valorar cómo estas inciden sobre los parámetros de calidad del grano producido en cuatro zonas del occidente antioqueño. Para ello se visitaron 50 unidades productivas documentando sus prácticas de fermentación y secado. Luego se realizó una caracterización fisicoquímica y se valoró la calidad del grano de cacao, según la Norma Técnica Colombiana NTC 1252 (2003), citado por Buelvas Salgado (2016). Se encontró que el porcentaje de grano bien fermentado osciló entre el 32% y el 52%, resultado que incumple con los criterios establecidos en la NTC-1252/2003, por lo que se hace necesarios realizar esfuerzos para homogenizar la calidad del grano producido en el Occidente Antioqueño.

Las conclusiones de la investigación indican que las prácticas de fermentación y secado empleadas actualmente por los productores de cacao del occidente antioqueño afectan directamente su calidad, por lo cual se hace necesario continuar realizando esfuerzos para homogenizar y mantener la calidad del grano producido en esta zona del departamento de Antioquia. (Buelvas Salgado, 2016)

2.2.3. Evaluación de la incidencia de la fermentación en la calidad del grano de cacao trinitario en Caluco, Sonsonate, El Salvador.

Streinau-Dueñas, González-Rosales, & Castañeda-de Abrego, de la Universidad de El Salvador, en el año 2016, realizaron una evaluación de la incidencia de la fermentación en la calidad del grano de cacao.

El objetivo de esta investigación consistió en evaluar si la aplicación de algún método de fermentación con un tipo de fermentador en alguna categoría de grano, lograría una

buena fermentación; produciendo una buena calidad en el grano de cacao trinitario cosechado y fermentado en la zona de estudio.

En la investigación se realizaron tres procesos de fermentación en el centro de acopio de la Asociación Cooperativa de Producción Agropecuaria “Cacao Los Izalcos” de Responsabilidad Limitada, ACPACI de R. L., en Caluco, Sonsonate, El Salvador. Se evaluó si la clasificación del grano por cantidad de mucilago (categoría A y B), los métodos de fermentación (sin y con pre secado) y los fermentadores (caja de madera y saco de yute), influyeron en la calidad del grano de cacao (*T. cacao* L.), aplicando un diseño factorial 23 en bloques, con ocho tratamientos y tres repeticiones. Se midió diariamente la temperatura ambiente, humedad relativa, temperatura del grano, pH, grados Brix, porcentaje de acidez, grados de alcohol y estado del grano. Se analizaron los contenidos de grasa, proteína, ceniza, grado de fermentación por el método de agua y la calidad física del grano por el método de corte.

El principal hallazgo obtenido en ésta investigación fue que, los granos categoría A y B con mayor porcentaje de buena fermentación y menor de levemente fermentado fueron los que no recibieron pre secado y fermentados en saco de yute, con 76.3 y 78.7% respectivamente, así como los granos categoría B, sin pre secado y fermentados en caja de madera, con 77%. Sin embargo, los análisis de varianza no detectaron diferencias significativas ($p > 0.05$) con un nivel de significancia del 5%. Comparando los resultados con la clasificación de la norma INTE/ISO 23-02- 04-09, los granos categoría A y B, sin pre secado y fermentados en sacos de yute, clasificaron como granos fermentados grado I. (Streinau-Dueñas, González-Rosales, & Castañeda-de Abrego, 2016)

Las conclusiones de la investigación indican que la mejor interacción entre tipo de fermentador y método de fermentación para el cacao acopiado en ACPACI de R.L., fue el uso de sacos de yute sin pre secado en ambas categorías de grano, obteniendo un cacao de calidad grado I, con el menor costo de inversión. El saco de yute comparado con la caja de madera fue el tipo de fermentador que mostró los mejores resultados para la fermentación del cacao de ACPACI de R.L.

También se concluye que el método con pre secado no tiene un beneficio verificable debido a que los cacaos trinitarios en las fincas en estudio no presentaban un exceso en la cantidad de mucilago. La clasificación de categoría de grano en A y B, basada en la cantidad de mucilago, no genera diferencias significativas en el proceso de fermentación, siendo esta poco práctica e innecesaria al momento de fermentar. (Streinau-Dueñas, González-Rosales, & Castañeda-de Abrego, 2016)

2.2.4. Preparación y evaluación del proyecto de procesamiento de cacao para la producción de chocolate en el Centro de Agricultura Tropical Bulbuxyá CATBUL, San Miguel Panán, Suchitepéquez, Guatemala.

López Castillo, en el año 2014, realizó su trabajo de graduación de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, evaluando el proyecto de procesamiento de cacao para la producción de chocolate, en el Centro de Agricultura Tropical Bulbuxyá.

En éste trabajo, el proceso de fermentación se realizó en cajones fermentadores de sección transversal rectangular con medidas de 1.30 m x 0.60 m x 0.60 m, y una altura del suelo al fondo del fermentador de 0.20 m. Después de recolectar los granos de cacao de campo, se introducen en los cajones de madera mencionados. Los granos de cacao son volteados a cada 2 días, por el guardián de la finca o por un operario de campo designado. El proceso de fermentación dura entre 6 o 7 días. En algunos casos, los fermentadores son cubiertos con una lámina de plástico, posteriormente se cubren con tapas rectangulares de madera y otros con láminas de zinc.

Se estableció que los volteos de los granos de cacao se realicen cada 2 días, pero por no llevar un control sobre el proceso de fermentación y por falta de comunicación de las personas designadas para realizar volteos, los que a veces se realizan en tres días, haciendo que el fermentado no sea homogéneo, resultando un producto con defectos.

Finalizada la fermentación, se sacan los granos de los fermentadores y se ponen a secar esparciéndolos en un patio de concreto, donde tardan de 4 hasta 6 días en secarse según la intensidad de sol.

Para comprobar la efectividad y la calidad del beneficiado del cacao, se realiza la prueba del corte. Esta es una prueba destructiva, que consiste en tomar varios granos de cacao y hacerles un corte longitudinal que permite observar si el cotiledón de grano está abierto o compacto.

Con esta prueba se determinó que la fermentación fue escasa en la mayoría de granos (80 %) y buena fermentación en el resto (20 %). Se presume que la causa de esta escasa fermentación se debe a la cosecha de frutos a punto de madurar, dañados por animales, los que han empezado a descomponerse, frutos cuyas semillas han empezado a germinar; todos los anteriores estados de los frutos contienen poca azúcar en el mucilago, además que contaminan los granos de cacao sanos, afectando el proceso de fermentación de los granos de cacao. Otra de las causas de la baja fermentación, puede deberse a los cambios de temperatura y humedad. Las bajas temperaturas, sobre todo por la madrugada, afectan el proceso de fermentación de los granos de cacao. Los granos secos que en la cascarilla presenta una coloración grisácea, no se debe a hongos sino al secado en patio de concreto, que desprende polvillo y se impregna cuando los granos todavía están húmedos. (López Castillo, 2014)

2.2.5. Perfiles de fermentación para contribuir con el mejoramiento de la calidad del cacao (*T. cacao*) de la ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz.

Ruiz Cruz & Ac Pangan en el año 2018, como parte del Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria -CRIA NORTE, en coordinación con la Cadena de Cacao, el IICA y la Universidad de San Carlos, determinaron los perfiles de fermentación para contribuir al mejoramiento de la calidad del cacao en la ecorregión de Lacuá, en Cobán, Alta Verapas.

En ésta investigación, en los aspectos de producción y procesamiento, se observó que existe diferencia significativa en el total de terreno que posee cada productor. El área destinada para la producción de cacao también presentó diferencias estadísticas, el promedio de terreno destinado para la producción de cacao por productor en la ecorregión fue 2.17 Ha/persona. La producción de cacao en baba por hectárea reportado por los productores fue similar en las tres asociaciones evaluadas, el promedio de

producción de cacao en baba fue de 231.04 Kg de cacao seco/Ha (15.31 quintales de cacao en baba). El 62% de los productores entrevistados estableció las plantaciones durante los años 2006 a 2008, mientras el 38% inicio con el cultivo de cacao entre los años 2012 y 2018. Los resultados también mostraron que los productores de cacao se dedican a otros cultivos para generar ingresos económicos y para producción de alimentos para consumo propio. Los cultivos más comúnmente producidos, además del cacao, son: cardamomo, maíz, frijol, arboles forestales, naranja, pimienta, pina plátano y chile. Además de la diversificación en la producción agrícola, las familias también se dedican a la producción de especies animales.

Los resultados muestran que a medida que incrementa el volumen de procesamiento, incrementa la correlación entre ambas variables, lo que significa que es posible incrementar y mantener la temperatura del área de fermentación y de la masa de fermentación si se cuenta con un área cerrada y aislada para retener el calor generado durante el proceso. De esta manera se podrá obtener mejores temperaturas, especialmente durante el procesamiento de pequeñas masas de cacao y durante épocas lluviosas o de baja temperatura en la región.

Los resultados de los parámetros de fermentación en función de la localidad mostraron que la temperatura de fermentación inicial no presentó diferencias estadísticas significativas en las tres asociaciones. En KATBALPOM y ASOSELNOR se observó un incremento diario significativo en la temperatura de fermentación desde el día 0 hasta el día 4, con temperaturas desde 28.18 hasta 47.49°C, luego no hubo una diferencia significativa en temperatura de fermentación, es decir la temperatura fue constante desde el día 5 hasta el día 8 del proceso, con valores entre 48.85°C y 49.29°C. La asociación ASODIRP presentó un incremento significativo desde el día 0 hasta el día 3, de 28.18 hasta 43.30°C, y luego presentó un comportamiento inconsistente (incremento y disminución) en la temperatura en los siguientes días. La temperatura final de fermentación no tuvo diferencias significativas entre KATBALPOM (49.08°C) y ASOSELNOR (48.93°C); sin embargo, ASODIRP presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) obteniendo los valores más bajos de temperatura al finalizar el proceso (46.72°C).

Al comparar la temperatura en cada día de fermentación en función de la masa de procesamiento, se observó que el valor inicial en el día cero fue igual para los tres volúmenes, así como en los días 3, 5, 7 y 8 de fermentación. La temperatura fue diferente durante los días intermedios; sin embargo, en el último día de fermentación, los tres volúmenes no presentaron diferencia. Las tres masas (5, 8 y 11 quintales) presentaron un incremento significativo de la temperatura de fermentación durante los primeros tres días de proceso, con valores iniciales promedio de 28.87°C y temperaturas promedio de 46.16°C al tercer día. Posteriormente, la masa de 11 quintales presentó una temperatura constante hasta finalizar la fermentación, con valores desde 44.73°C en el cuarto día, hasta 48.62°C al finalizar el proceso. Por el contrario, las masas de 5 y 8 quintales mostraron incremento y disminución en la temperatura, con valores entre 46.65°C y 48.63°C.

III. OBJETIVOS

1. Objetivo General

Evaluar tres métodos y cinco períodos de fermentación en el manejo postcosecha de *Theobroma cacao* L., bajo condiciones de la finca El Faro, El Palmar, Quetzaltenango.

2. Objetivos Específicos

- 2.1. Determinar el efecto de tres métodos de fermentación y cinco períodos de fermentado con relación al porcentaje de fermentación, en el manejo poscosecha de *T. cacao* L.
- 2.2. Evaluar el efecto de tres métodos de fermentación y cinco períodos de fermentado con relación al rendimiento de almendras secas por kilogramo, en el manejo poscosecha de *T. cacao* L.
- 2.3. Determinar la incidencia de la temperatura en el proceso de fermentación del cacao.
- 2.4. Realizar el análisis económico de rentabilidad y relación beneficio/costo por medio de costos totales para los tratamientos evaluados.

IV. HIPÓTESIS

1. Hipótesis Nula

Ho₁: Los tres métodos de fermentación y cinco períodos de fermentado (5, 6, 7, 8 y 9 días) evaluados, producirán el mismo efecto en la variable respuesta del porcentaje de fermentación, en el manejo poscosecha de *T. cacao* L., bajo condiciones de la finca El Faro, El Palmar, Quetzaltenango.

Ho₂: Los tres métodos de fermentación y cinco períodos de fermentado (5, 6, 7, 8 y 9 días) evaluados, producirán el mismo efecto en la variable respuesta del rendimiento de almendras secas por kilogramo, en el manejo poscosecha de *T. cacao* L., bajo condiciones de la finca El Faro, El Palmar, Quetzaltenango.

Ho₃: No hay interacción entre los métodos de fermentación y períodos de fermentado, en relación al porcentaje de fermentación y al rendimiento de almendras secas por kilogramo, en el manejo poscosecha de *T. cacao* L., bajo condiciones de la finca El Faro, El Palmar, Quetzaltenango.

2. Hipótesis Alternativa

Ha₁: Al menos un método de fermentación y un período de fermentado evaluados producirán un efecto diferente en la variable respuesta del porcentaje de fermentación, en el manejo poscosecha de *T. cacao* L., bajo condiciones de la finca El Faro, El Palmar, Quetzaltenango.

Ha₂: Al menos un método de fermentación y un período de fermentado evaluados producirán un efecto diferente en la variable respuesta del rendimiento de almendras secas por kilogramo, en el manejo poscosecha de *T. cacao* L., bajo condiciones de la finca El Faro, El Palmar, Quetzaltenango.

Ha₃: Existe interacción entre método de fermentación y período de fermentado evaluados, que produce un efecto diferente en las variables respuesta, porcentaje de

fermentación y rendimiento de almendras secas por kilogramo, en el manejo poscosecha de *T. cacao* L., bajo condiciones de la finca El Faro, El Palmar, Quetzaltenango.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Localización del experimento

La investigación se realizó en finca El Faro, localizada en el municipio de El Palmar, departamento de Quetzaltenango.

El área de localización de la investigación, fue en el beneficio de café, específicamente en el área de lavado, donde se colocaron las cajas de fermentación de madera, las bandejas Tipo Rohan y los cajones de madera tipo escalera o de gradas, que se utilizaron para el proceso de fermentado. Se procuró que las condiciones básicas fueran inocuas, protegido de la incidencia de la lluvia y del viento (evitar corrientes de aire prolongado que induzca variaciones de temperatura).

2. Materiales

2.1. Recursos físicos

- 03 cajas de fermentación de madera.
- 03 bandejas Tipo Rohan.
- 03 cajones de madera tipo escalera.
- 225 kilogramos de almendra en baba, del clon CCN – 51.
- 03 paletas de madera para el volteo de la masa.
- 02 despochadoras.
- 03 cubetas de plástico para la recolección de los granos y de la almendra en baba.
- 01 navaja o cuchilla bien afilada.
- Guantes.
- Hojas de plátano.
- Termómetro digital (escala mínima de 0 a 60 °C).
- Balanza.
- Tijeras de podar.
- Libreta de campo.

2.2. Recursos humanos

- Jornales
- Practicante de EPS

2.3. Recursos financieros

Los recursos financieros para realizar la investigación fueron cubiertos por la unidad de práctica.

3. Metodología

3.1. Para objetivo específico 1

Para determinar el efecto de tres métodos de fermentación y cinco períodos de fermentado con relación al porcentaje de fermentación, en el manejo poscosecha de *T. cacao* L., se procedió de la siguiente forma:

3.1.1. Descripción de los pasos para alcanzar el objetivo

3.1.1.1. Material experimental

El material experimental evaluado fue la semilla del clon de cacao CCN – 51, que es el cultivar sembrado en finca El Faro. De los frutos maduros de éste clon, se obtuvieron las semillas o almendra para la evaluación del porcentaje de fermentación.

3.1.1.2. Diseño experimental

El experimento utilizado fue un bifactorial con diseño completamente al azar con arreglo en parcelas divididas. Se utilizó este diseño porque los factores evaluados (métodos de fermentación y períodos de fermentado) no permitieron ninguna gradiente de variabilidad, lo cual se debió a las condiciones controladas de la investigación, por lo tanto, las unidades experimentales fueron homogéneas.

El modelo estadístico para la presente investigación, fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + (\gamma\tau)_{ki} + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta

μ = Media general

τ_i = Efecto del tratamiento τ del Factor A (parcela grande)

$(\gamma\tau)_{ki}$ = Erros del Factor A (parcela grande)

β_j = Efecto del tratamiento β del Factor B (parcela pequeña)

$(\tau\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción de los tratamientos de los Factores A y B

ε_{ijk} = Erros experimental asociado a la ijk – esima unidad experimental.

3.1.1.3. Factores evaluados

Los factores evaluados fueron dos. Los métodos de fermentación (Factor A) como parcela grande y los períodos de fermentado (Factor B) como parcela pequeña.

Los métodos de fermentación consistieron en cajas de madera (A1), bandejas Tipo Rohan (A2) y cajones de madera tipo escalera (A3). Los períodos de fermentado consistieron en cinco (5) días de fermentado (B1), seis (6) días de fermentado (B2), siete (7) días de fermentado (B3), ocho (8) días de fermentado (B4) y nueve (9) días de fermentado (B5).

Cuadro 13. Descripción de los factores evaluados, métodos de fermentación y períodos de secado.

Parcela Grande	Parcela Pequeña
Factor A: Métodos de fermentación	Factor B: Períodos de fermentado
A1. En cajas de madera	B1. Cinco (5) días de fermentado
A2. En bandejas Tipo Rohan	B2. Seis (6) días de fermentado
A3. En cajones de madera tipo escalera	B3. Siete (7) días de fermentado
	B4. Ocho (8) días de fermentado
	B5. Nueve (9) días de fermentado

Factor A: Métodos de fermentación

Cajas de madera: Tuvieron dimensiones de 0.90 m de alto, 2.00 m de ancho y 2.00 m de largo, con divisiones internas móviles y con capacidad de 450 kg. En el fondo, tienen agujeros con una separación aproximada de 0.5 cm para el escurrimiento del mucílago y aireación. Para objeto de la presente investigación, se utilizaron 5 kg de cacao en baba,

colocado a una altura mínima de 0.10 m y máxima de 0.60 m, cubierto con el envés de hojas de plátano, para conservar el calor generado en el proceso.

Bandejas Tipo Rohan: Son de madera y no se colocaron apiladas. Las bandejas se cubrieron con hojas de plátano. Las dimensiones fueron de 1.20 m de largo, por 0.90 m de ancho y 0.12 m de alto. En el fondo, las reglillas están separadas a 0.5 cm para permitir el escurrimiento del mucílago. Para objeto de la presente investigación, se utilizaron 5 kg de cacao en baba, colocado a una altura mínima de 0.10 m.

Cajas de madera tipo escalera o gradas: Las dimensiones de las cajas individuales fueron de 0.90 m de alto y 2.00 m de ancho, con divisiones internas móviles y con capacidad de 450 kg. Para objeto de la presente investigación, se utilizaron 5 kg de cacao en baba, colocado a una altura mínima de 0.10 m y máxima de 0.60 m, cubierto con el envés de hojas de plátano, para conservar el calor generado en el proceso.

Factor B: Períodos de fermentación

Corresponden a los días utilizados para el proceso de fermentación. En finca El Faro, el período de fermentado utilizado es de 5 días. En la revisión de literatura consultada, se reportan períodos de fermentado de 6, 7 y 8 días; incluso, se reporta hasta 9 días para el período de fermentado (PROCOMER, BID, s/f). Con esta base, se definió que los períodos de fermentado fueran desde cinco hasta los nueve días.

3.1.1.4. Tratamientos evaluados

Cuadro 14. Descripción de los tratamientos evaluados.

Tratamiento		Parcela Grande	Parcela Pequeña
		Métodos de Fermentación (Factor A)	Períodos de Fermentado (Factor B)
T1	A1B1 (TR)	A1. Cajas de Madera	B1. 5 días de fermentado
T2	A1B2	A1. Cajas de Madera	B2. 6 días de fermentado
T3	A1B3	A1. Cajas de Madera	B3. 7 días de fermentado
T4	A1B4	A1. Cajas de Madera	B4. 8 días de fermentado
T5	A1B5	A1. Cajas de Madera	B5. 9 días de fermentado
T6	A2B1	A2. En bandejas Tipo Rohan	B1. 5 días de fermentado
T7	A2B2	A2. En bandejas Tipo Rohan	B2. 6 días de fermentado

T8	A2B3	A2. En bandejas Tipo Rohan	B3. 7 días de fermentado
T9	A2B4	A2. En bandejas Tipo Rohan	B4. 8 días de fermentado
T10	A2B5	A2. En bandejas Tipo Rohan	B5. 9 días de fermentado
T11	A3B1	A3. En cajones tipo escalera	B1. 5 días de fermentado
T12	A3B2	A3. En cajones tipo escalera	B2. 6 días de fermentado
T13	A3B3	A3. En cajones tipo escalera	B3. 7 días de fermentado
T14	A3B4	A3. En cajones tipo escalera	B4. 8 días de fermentado
T15	A3B5	A3. En cajones tipo escalera	B5. 9 días de fermentado

El testigo relativo fue el tratamiento T1 correspondiente al método de fermentación en cajas de madera (A1) con período de fermentado de cinco días (B1), siendo lo que utilizan en finca El Faro.

Los métodos y períodos de fermentación evaluados se consideraron con base en la revisión de literatura de Peñaherrera González (2021), quien indica que los métodos de fermentación empleados a nivel mundial, predominan las Cajas de madera con 69%, Bandejas Tipo Rohan 15%; en costal 6%, en montón 4%, en cajón de plástico 4% y cajón de cemento 2%. En ésta revisión de literatura consultada, se reportan períodos de fermentado de 6, 7 y 8 días; incluso, se reporta hasta 9 días para el período de fermentado (PROCOMER, BID, s/f). Con esta base, se definió que los períodos de fermentado fueran desde cinco hasta nueve días.

Número de repeticiones. Tomando en consideración los tratamientos evaluados, así como el diseño experimental y su arreglo, se determinó el número de repeticiones tomando en cuenta que los grados de libertad del error de la parcela pequeña, deben ser mayores o igual a 12.

Los grados de libertad del error del experimento están dados por la siguiente fórmula:

$$G. L. \text{ error } B = a (b - 1)(r - 1) = 3(5 - 1)(3 - 1) = 24$$

Dónde:

G. L. = Grados de libertad,

a = Factor A, Métodos de Fermentación,

b = Factor B, Ciclos de Fermentado,

r = Repeticiones

Las repeticiones del experimento en cada tratamiento serán tres (03), dando como resultado 45 unidades experimentales.

Las repeticiones de los períodos de fermentado se realizaron todas a la vez según el diseño experimental.

3.1.1.5. Unidad experimental

El total de unidades experimentales fue de 45, tomando en cuenta los 15 tratamientos y las tres repeticiones evaluadas. Las parcelas grandes están formadas por los métodos de fermentación evaluados (Factor A), siendo ellos, las cajas de madera, las bandejas Tipo Rohan y las cajas de madera tipo escalera o de gradas. De cada uno de ellos se obtuvieron las muestras de cacao de acuerdo a los períodos (días) de fermentado (Factor B).

Debido al tipo de investigación, no se consideró la implementación de una parcela neta. Los datos de la evaluación de campo se tomaron de la parcela bruta, que consistió en la cantidad de 5 kilogramos de semillas o almendras de cacao en baba que se colocaron en cada método de fermentación.

3.1.1.6. Aleatorización de los tratamientos realizados

La distribución aleatoria de los tratamientos y sus repeticiones, se presenta en la siguiente figura.

A3. CAJAS DE MADERA TIPO ESCALERA					A2. BANDEJA TIPO ROHAN					A1. CAJAS DE MADERA				
B1	B4	B5	B2	B3	B3	B5	B4	B2	B1	B1	B4	B5	B3	B2
T11	T14	T15	T12	T13	T8	T10	T9	T7	T6	T1	T4	T5	T3	T2
A2. BANDEJA TIPO ROHAN					A3. CAJAS DE MADERA TIPO ESCALERA					A2. BANDEJA TIPO ROHAN				
B1	B4	B5	B3	B2	B1	B5	B3	B4	B2	B4	B5	B2	B3	B1
T6	T9	T10	T8	T7	T11	T15	T13	T14	T12	T9	T10	T7	T8	T6
A3. CAJAS DE MADERA TIPO ESCALERA					A1. CAJAS DE MADERA					A1. CAJAS DE MADERA				
B1	B4	B3	B2	B5	B4	B5	B3	B2	B1	B2	B4	B3	B5	B1
T11	T14	T13	T12	T15	T4	T5	T3	T2	T1	T2	T4	T3	T5	T1

Figura 25. Aleatorización de los tratamientos evaluados.

3.1.2. Variable de respuesta para alcanzar el objetivo

Con base en el objetivo específico uno de la investigación, la variable de respuesta evaluada fue el porcentaje de fermentación, para tres métodos de fermentación y cinco períodos de fermentado.

3.1.2.1. Porcentaje de fermentación

Concluidos los períodos de fermentación de cada tratamiento, se tomaron 100 almendras aleatoriamente (figura 26) y se cortaron longitudinalmente con una cuchilla bien afilada. De ese total de almendras seleccionadas, se contó el número de almendras bien fermentadas, lo cual indica el porcentaje de fermentación. Las almendras bien fermentadas deben tener las características especiales a observar, como lo es el color marrón o chocolate en las almendras de cacao, alvéolos bien definidos (forma arriñonada internamente en la almendra) y la cáscara se desprende fácilmente al presionarla con los dedos.



Figura 26. Muestra de 100 almendras para determinar porcentaje de fermentación.

Para ésta evaluación se utilizó la siguiente fórmula para establecer el porcentaje de fermentación:

$$\text{Porcentaje de fermentación} = \frac{\text{No. de almendras bien fermentadas en la prueba de corte}}{\text{No. de almendras tomadas para prueba de corte}} \times 100$$

3.1.3. Modo de análisis de la variable respuesta

Para evaluar el efecto entre los métodos de fermentación y períodos de fermentado, con relación a la variable respuesta evaluada (porcentaje de fermentación), los datos se analizaron con el programa InfoStat para realizar el análisis de varianza (ANDEVA). Si los resultados muestran que hay significancia en la variable respuesta, entonces se procedió a realizar una Prueba de Medias Tukey al 5 % de significancia.

Previo a este proceso de análisis, los datos fueron transformados por medio de la aplicación de la fórmula: \sqrt{x} .

3.2. Para objetivo específico 2

Para evaluar el efecto de tres métodos de fermentación y cinco períodos de fermentado con relación al rendimiento de almendras secas por kilogramo, en el manejo poscosecha de *T. cacao* L., se procedió de la siguiente forma:

3.2.1. Descripción de los pasos para alcanzar el objetivo

3.2.1.1. Material experimental

El material experimental evaluado fue la semilla del clon de cacao CCN – 51, que es el cultivar sembrado en finca El Faro. De los frutos maduros de éste clon, se obtuvieron las semillas para la evaluación del rendimiento en el proceso de fermentación.

3.2.1.2. Diseño experimental

El experimento utilizado fue un bifactorial con diseño completamente al azar con arreglo en parcelas divididas. Se utilizó este diseño porque los factores evaluados (métodos de fermentación y períodos de fermentado) no permitieron ninguna gradiente de variabilidad, lo cual se debió a las condiciones controladas de la investigación, por lo tanto, las unidades experimentales fueron homogéneas.

El modelo estadístico para la presente investigación, fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + (\gamma\tau)_{ki} + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta

μ = Media general

τ_i = Efecto del tratamiento τ del Factor A (parcela grande)

$(\gamma\tau)_{ki}$ = Erros del Factor A (parcela grande)

β_j = Efecto del tratamiento β del Factor B (parcela pequeña)

$(\tau\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción de los tratamientos de los Factores A y B

ε_{ijk} = Erros experimental asociado a la ijk – esima unidad experimental.

Con relación al número de repeticiones, es el mismo caso para la metodología del objetivo específico uno, siendo de tres (03) repeticiones por tratamiento, dando como resultado 45 unidades experimentales.

3.2.1.3. Factores evaluados

Igual que para el objetivo específico uno, los factores evaluados fueron dos. Los métodos de fermentación (Factor A) como parcela grande, que consistió en cajas de madera (A1), bandejas Tipo Rohan (A2) y cajones de madera tipo escalera (A3). El otro factor fueron los períodos de fermentado (Factor B) como parcela pequeña, que consiste en cinco (5) días de fermentado (B1), seis (6) días de fermentado (B2), siete (7) días de fermentado (B3), ocho (8) días de fermentado (B4) y nueve (9) días de fermentado (B5).

En el cuadro 13 (página 70) se presentan los factores evaluados en la investigación y se describen los dos factores evaluados, Factor A de los métodos de fermentación y Factor B de los períodos de fermentado.

3.2.1.4. Tratamientos evaluados

En el cuadro 14 (página 71) se presenta los tratamientos evaluados en la investigación. y su correspondiente descripción de los mismos.

3.2.1.5. Unidad experimental

Igual que para el objetivo específico uno, el total de unidades experimentales fue de 45, tomando en cuenta los 15 tratamientos y las tres repeticiones evaluadas. Las parcelas grandes están formadas por los métodos de fermentación evaluados (Factor A). De

cada uno de ellos se obtuvieron las muestras de cacao de acuerdo a los períodos (días) de fermentado (Factor B).

Debido al tipo de investigación, no se consideró la implementación de una parcela neta. Los datos de la evaluación de campo se tomaron de la parcela bruta, que consistió en la cantidad de 5 kilogramos de semillas o almendras de cacao en baba que se colocaron en cada método de fermentación.

3.2.1.6. Aleatorización de los tratamientos realizados

La distribución aleatoria de los tratamientos y sus repeticiones, se presenta en la figura 25 de la página 73.

3.2.2. Variable de respuesta para alcanzar el objetivo

Con base en el objetivo específico dos de la investigación, la variable de respuesta evaluada fue el rendimiento de mazorca en kilogramos, para los tres métodos de fermentación y cinco períodos de fermentado.

3.2.2.1. Rendimiento de mazorca en kilogramos

Tomando como referencia los 5 kg del peso de las almendras húmedas en baba, fue relacionado con el peso resultante de las almendras al culminar el proceso de secado de esa cantidad de almendras en baba obtenidas de la fermentación:



Figura 27. Toma de datos del peso en kilogramos, de las almendras después del proceso de secado.

Para la toma de datos de ésta variable se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso de almendras secas}}{\text{Peso de almendras húmedas en baba}}$$

3.2.3. Modo de análisis de la variable respuesta

Para evaluar el efecto entre los métodos de fermentación y períodos de fermentado, con relación a la variable respuesta evaluada (rendimiento de almendras secas/kg), los datos se analizaron con el programa InfoStat para realizar el análisis de varianza (ANDEVA). Si los resultados muestran que hay significancia entre alguna variable respuesta, se realizó una Prueba de Medias por Tukey al 5 % de significancia.

Previamente a realizar éstos análisis, los datos fueron transformados por medio de la fórmula: \sqrt{x} .

3.3. Para objetivo específico 3

Para determinar la incidencia de la temperatura en el proceso de fermentación del cacao, se procedió de la siguiente forma:

3.3.1. Descripción de los pasos para alcanzar el objetivo

El tiempo de fermentación del cacao y la temperatura se ven influenciados por diversos factores, entre ellos, la fermentación en cajas de madera y tipo Rohan, tardan 120 horas (05 días) en dar por terminado el proceso de fermentación, llegando a temperaturas máximas en un rango de 39.72 °C a 42.67 °C.

Al ser la temperatura uno de los factores que determinan la calidad en el proceso de fermentación, con un termómetro digital se registraron los datos de temperatura según los días de fermentado de cada tratamiento, o sea, durante los 5, 6, 7, 8 y 9 días para cada caso, introduciendo el termómetro en la masa de fermentación, antes de la remoción diaria; así como, se registraron los datos de la temperatura ambiental, con el objetivo de comparar y analizar el comportamiento de éste factor durante los períodos de fermentado

en cada período y método de fermentación evaluados en la investigación, información que puede contribuir al análisis de las dos variables estadísticas investigadas.

Los datos de temperatura se midieron a cada 24 horas (cada día) a partir de las primeras 48 horas, hasta completar el período de fermentación y se realizó antes de hacer la remoción o volteo.

3.3.2. Variable de respuesta para alcanzar el objetivo

3.3.2.1. Incidencia de la temperatura (°C)

Con base en el objetivo específico tres de la investigación, la variable de respuesta evaluada fue la incidencia de la temperatura (°C) en el proceso de fermentación del cacao, para tres métodos de fermentación y cinco períodos de fermentado.

Se utilizó un termómetro digital para registrar los datos de temperatura según los días de fermentado de cada tratamiento, introduciendo el termómetro en la masa de fermentación, antes de la remoción diaria y además se registraron los datos de la temperatura ambiental, para comparar y analizar el comportamiento de éste factor durante los períodos de fermentado en cada período.

3.3.3. Modo de análisis de la variable respuesta

Para el análisis de la variable de respuesta, se registraron los datos de la temperatura para comparar cada período de fermentado, de 5, 6, 7, 8 y 9 días, entre los tres métodos de fermentación y también con la temperatura ambiental, para observar el comportamiento de esta variable. Luego de hacer los cuadros comparativos, se realizaron gráficas para una mejor comprensión y análisis del comportamiento de la temperatura entre cada período de fermentado.

Si la temperatura dentro de la masa desciende, es parámetro indicativo de que la fermentación ya ha sido completada.

3.4. Para objetivo específico 4

Para realizar el análisis económico de rentabilidad y relación beneficio/costo por medio de costos totales para los tratamientos evaluados, se procedió de la siguiente forma:

3.4.1. Descripción de los pasos para alcanzar el objetivo

Para realizar el análisis económico a los tratamientos, primero se determinaron los costos totales de los mismos por medio de costos fijos y costos variables. Para ésta determinación de costos, se llevó registro de la mano de obra y de los insumos invertidos en la investigación, para luego determinar cuáles correspondían a costos fijos y cuáles a costos variables.

Habiendo determinado los costos de cada tratamiento, se procedió a realizar el análisis económico utilizando las fórmulas correspondientes. En éste análisis económico, lo más relevante para interpretación son las variables del rendimiento y de la relación beneficio/costo.

3.4.2. Variables de respuesta para alcanzar el objetivo

3.4.2.1. Costos totales

Para la variable costos, se determinaron los costos totales los cuales se dividen en costos fijos y costos variables.

$$CT = CF + CV$$

Los costos fijos fueron aquellos costos que se utilizaron en la investigación, comunes para todos los tratamientos; mientras que los costos variables fueron aquellos específicos para cada uno de los tratamientos.

3.4.2.2. Rentabilidad y relación beneficio/costo

En el análisis económico, las variables analizadas fueron la rentabilidad y la relación beneficio/costo.

Habiendo determinado los costos totales de cada tratamiento, así como el volumen de la producción y el precio de venta del producto, se procedió a realizar el análisis económico utilizando las siguientes fórmulas:

Cuadro 15. Fórmulas para realizar el análisis económico de los tratamientos evaluados.

INDICADORES	FÓRMULAS
Costo Total de Producción	$CT = CF + CV$
Volumen de Producción	$VP = \text{Rendimiento (libras)}$
Costo Unitario Promedio	$CU = CT / \text{Rendimiento o VP}$
Precio Promedio de Venta	Precio de Venta
Valor Bruto de la Producción (Ingresos)	$VBP = \text{Rendimiento} \times PV$
Utilidad Total de Producción	$UT = VBP - CT$
Índice de Rentabilidad (%)	$IR = (UT / CT) \times 100$
Relación Beneficio / Costo	$Rel. B/C = VBP / CT$

3.4.3. Modo de análisis de las variables respuesta

En la variable Costos, los costos fijos solamente se identificaron aquellos relacionados a la mano de obra para la cosecha de las mazorcas, el despoche de las mismas y para la toma de datos del peso seco para todos los tratamientos. El valor del jornal se consideró de Q 50.00, siendo lo pagado en la finca El Faro.

En los costos variables de cada tratamiento, se determinaron dos aspectos relacionados con la mano de obra, siendo para la toma de temperatura y el volteo de las almendras en baba, y para el secado de las mismas.

De los dos factores evaluados, con relación al factor A del método de fermentación, no se determinaron costos variables específicos, solamente fue para el factor B de los períodos de fermentado, debido a que en éste factor fue donde variaron costos de mano de obra por los días empleados para la toma de datos de temperatura y para el volteo de las almendras, así como para el secado de las mismas.

Además, de las ocho (08) horas de un jornal de trabajo, para cada una de estas actividades se emplearon cinco minutos, lo cual equivale a 0.0833 horas, equivalente a 0.0104 de fracción de día laboral (día laboral de ocho horas).

Teniendo el cuadro de resultados de los costos totales de cada tratamiento, es posible determinar los tratamientos de menor costo.

Para las variables del análisis económico (rentabilidad y relación beneficio/costo), se aplicaron las fórmulas indicadas en el cuadro 15. El precio de venta de la almendra seca en la finca El Faro es de Q 1,300.00 por quintal (45.35 Kg), equivalente a Q 28.67 por kilogramo. Los ingresos son el resultado de multiplicar el rendimiento por el precio de venta.

Como resultado de la aplicación de las fórmulas antes indicadas, se pudo determinar los tratamientos con menores rentabilidades y relación beneficio/costo, cuyos resultados se pudieron comparar con los resultados de las demás variables técnicas del porcentaje de fermentación y rendimiento.

3.5. Manejo de la investigación

Clon de cacao: El clon de cacao evaluado, cultivado en finca El Faro, es el CCN – 51.

Cosecha: Las mazorcas de cacao fueron cosechadas en su grado de madurez adecuado y velando de que fueran frutos sanos y de tamaño uniforme, utilizando tijeras de podar. Al cosechar los frutos, éstos se seleccionaron y colocaron en costales de nylon para su traslado del campo al área de la investigación.

Quebrado de mazorcas: Teniendo los frutos maduros en el sitio, con la ayuda del implemento despochador, se procedió a la quiebra (rotura) de las mazorcas para la extracción de los granos (almendras), evitando que se dañaran, que se contaminaran y con cuidado de no arrancar la placenta de la mazorca. Se apartaron las mazorcas que en su interior tenían una almendra negra, que evidenciaba la presencia de alguna enfermedad.

Obtención del cacao en baba: Se eliminó el hilo o placenta del grano (hilo blanco que une los granos a las mazorcas), así como los pedazos de cáscaras, hojas y palos de la masa de cacao resultante. Se tuvo el cuidado de que las babas o el mucílago fueran con un color blanco uniforme, brillante y sin impurezas. Éste fue colocado en un recipiente plástico limpio y desinfectado, para que el mucílago se conservara el tiempo necesario antes de iniciar el beneficiado. Se separaron los granos pequeños, cortados, planos o

pegados, los cuales no fueron utilizados en la investigación, para no deteriorar la calidad del producto. Se colectaron y pesaron 5 kg de almendra o grano en baba por cada tratamiento, para un total de 225 kg. Se utilizaron guantes de látex para evitar daños en las manos por el mucílago y evitar la contaminación de la almendra.

En estas labores, a los operarios se les proporcionó guantes para evitar la contaminación del producto. El cacao en baba fue depositado en sus recipientes correspondientes, según el método de fermentación a evaluar, siendo de tres tipos, en cajas de madera, en bandejas Tipo Rohan y en cajas de madera tipo escalera o de gradas.

Proceso de fermentado: Introducidos los granos de cacao en los correspondientes recipientes de fermentación a evaluar (cajas de madera, bandejas Tipo Rohan y cajas de madera tipo escalera), se les debió remover o dar vuelta una vez al día, esto se realizó para asegurar el calentamiento uniforme de los granos, permitir la entrada de aire al fermento (oxigenación), disgregar los eventuales grumos, impedir la formación de moho sobre los granos y que la fermentación fuera homogénea. Caso contrario, la fermentación no es adecuada, se vuelven mohosos y de mal olor.

En las primeras 48 horas (2 días) de fermento se dejó en reposo, sin volteo, debido a que no se recomienda la remoción o volteo de la masa de babas de las semillas, con el objetivo de conservar la temperatura (25 a 35 °C en esta etapa) y evitar la presencia de oxígeno en la masa de fermentación. A las 48 horas, se realizó la primera remoción o volteo de la masa de babas para ayudar al aireamiento y se tomó la primera lectura de temperatura. El pH se debía encontrar menor de 4.5 (entre 3.3 a 4.0). En esta etapa (fase anaeróbica) se libera agua y dióxido de carbono (CO₂).

En la segunda etapa del proceso de fermentación (fase aeróbica), a partir del tercer día (72 horas desde el inicio), aumenta la temperatura (40°C, pudiendo llegar hasta 45 a 50 °C), el pH se incrementa de 3.5 a 4.2, pudiendo llegar hasta 6.0. Los granos se empiezan a hinchar y a sufrir cambios de color en su interior que se inician en los bordes hacia adentro y se empiezan a formar surcos o fisuras, dejando de ser plano el grano. Se genera la muerte del embrión debido a las altas temperaturas. A partir de ésta etapa, a

cada 24 horas (cada día) se realizó la remoción o volteo de la masa de babas y se tomó lecturas de la temperatura, hasta llegar a los días de fermentación a evaluar.

En la tercera etapa (fase de oxidación), la temperatura debía llegar a los 48 – 50 °C. Es importante la remoción o volteo en esta etapa para que, entre aire fresco, se libere el CO₂ acumulado y para reducir la acidez del grano en la calidad final, se disminuye la astringencia o el sabor amargo. Al cortar el grano en forma longitudinal, se aprecia un líquido viscoso de color rojizo o marrón chocolatado. Los granos toman forma arriñonada y la cutícula (cascarilla) que envuelve el grano se desprende fácilmente.

Secado: Al concluir los períodos de fermentado, no se recomienda el lavado de los granos, y se trasladaron las masas de fermentación directamente al proceso de secado, el cual, en la finca se realiza de forma natural en los patios de cemento para secado de café. El secado natural lo realizan en un período de 7 a 8 días, a pleno sol.



Figura 28. Tratamientos evaluados en el proceso de secado en patio a pleno sol.

Toma de datos de temperatura: Se utilizó un termómetro digital (figura 29), el cual se introdujo en la masa fermentada antes de la remoción diaria. Esto se realizó para evaluar la temperatura de la masa con respecto a la temperatura ambiental y comparar si aún sigue en aumento, debiendo llegar hasta los 50-52 °C, aproximadamente. Si la

temperatura dentro de la masa descende, es parámetro indicativo de que la fermentación ya ha sido completada. Los datos de temperatura se midieron a cada 24 horas (cada día) a partir de las primeras 48 horas, hasta completar el período de fermentación y se realizó antes de hacer la remoción o volteo de la masa de semillas o almendras de cada uno de los tratamientos evaluados.



Figura 29. Toma de datos de la temperatura (°C) durante el proceso de fermentación.

La remoción o volteo de las masas de semillas o almendras en baba: Ésta actividad se realizó con paletas de madera grandes, con el objetivo de llegar hasta la parte inferior y lograr una remoción homogénea. Ésta remoción se realizó a cada 24 horas (cada día) a partir de las primeras 48 horas, hasta completar el período de fermentación de cada uno de los tratamientos evaluados.

VI. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. Evaluación del efecto de tres métodos de fermentación y cinco períodos de fermentado con relación al porcentaje de fermentación, en el manejo poscosecha de *T. cacao* L.

1.1. Variable porcentaje de fermentación

El primer objetivo específico consideró evaluar la variable de respuesta del porcentaje de fermentación para los tres métodos de fermentación y los cinco periodos de fermentado, según los tratamientos, en el manejo poscosecha de *T. cacao* L.

En el cuadro 27 (presentado en anexos) se presenta el detalle de los resultados de campo para la variable porcentaje de fermentación, datos de campo y datos transformados.



Figura 30. Almendras de cacao bien fermentadas.

Se presentan los resultados del porcentaje de fermentación para cada uno de los tratamientos, con base en la fórmula descrita en la metodología (página 82).

Cuadro 16. Resultados de la variable fermentación (%) para los tratamientos evaluados.

TRATAMIENTOS	MÉTODO	PERÍODO	REPETICIONES (%)			PROMEDIO (%)	
			R1	R2	R3		
T1	A1B1 (TR)	Caja Madera	5 días	78	80	79	79.00
T2	A1B2	Caja Madera	6 días	80	73	83	78.67
T3	A1B3	Caja Madera	7 días	72	77	75	74.67
T4	A1B4	Caja Madera	8 días	66	69	69	68.00
T5	A1B5	Caja Madera	9 días	69	71	70	70.00

T6	A2B1	Bandeja	5 días	69	67	72	69.33
T7	A2B2	Bandeja	6 días	72	73	71	72.00
T8	A2B3	Bandeja	7 días	68	65	67	66.67
T9	A2B4	Bandeja	8 días	67	62	62	63.67
T10	A2B5	Bandeja	9 días	63	59	59	60.33
T11	A3B1	Caja Escalera	5 días	78	82	77	79.00
T12	A3B2	Caja Escalera	6 días	74	80	79	77.67
T13	A3B3	Caja Escalera	7 días	75	74	64	71.00
T14	A3B4	Caja Escalera	8 días	67	73	69	69.67
T15	A3B5	Caja Escalera	9 días	61	65	57	61.00

Como se puede observar en el cuadro 16, el tratamiento con método de fermentación en caja de madera y período de fermentado de cinco (5) días (T1, testigo relativo), y el tratamiento con método de fermentación en cajones tipo escalera y período de fermentado de cinco (5) días (T11), fueron los que presentaron los mejores porcentajes de fermentación, ambos con valor de 79.00%. A estos tratamientos les siguió el evaluado con método de fermentación en caja de madera y período de fermentado de seis (6) días (T2), con 78.67 % de índice de fermentación.

Estos resultados fueron transformados por medio de la fórmula \sqrt{x} de cada dato (cuadro 27 en anexos), para realizar el análisis de varianza (ANDEVA), el cual se presenta:

Cuadro 17. Análisis de varianza de la variable porcentaje de fermentación de los tratamientos evaluados.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
MÉTODOS	1.62	2	0.81	12.00	0.0080
ERROR A	0.41	6	0.07	2.71	0.0375
PERÍODOS	3.71	4	0.93	37.14	<0.0001
MÉTODOS*PERÍODOS	0.48	8	0.06	2.42	0.0450
ERROR B	0.60	24	0.03		
Total	6.83	44			

C.V.= 1.9%

Como se puede observar hubo diferencia altamente significativa (p-valor es menor o igual a 0.01), lo cual indicó que al menos uno de los métodos de fermentación (factor A)

evaluados producen un efecto distinto en el porcentaje de fermentación. De similar forma, existe diferencia altamente significativa entre los distintos períodos de fermentación (factor B) evaluados (p-valor es menor o igual a 0.01), lo que indicó que al menos uno de estos períodos de fermentación produce un efecto distinto en el porcentaje de fermentación.

Así también, existió interacción (p-valor es menos o igual que 0.05) entre los distintos métodos de fermentación (factor A) y los períodos de fermentación (factor B) evaluados, lo cual indicó que el mejor período de fermentado depende del método de fermentación utilizado.

El coeficiente de variación fue de 1.9%, lo cual indicó un adecuado manejo del experimento, debido a que se encuentra dentro del rango aceptable que es del 20%.

Con estos resultados se realizó la Prueba de Medias de Tukey al 5% de significancia, la cual se presenta:

Cuadro 18. Prueba de medias Tukey (0.05 de significancia) de la variable fermentación (%) de los tratamientos evaluados.

TRAT.	METODO DE FERMENTACIÓN	PERÍODO DE FERMENTADO	Medias % Fermentación	Medias Transformadas	SIGNIFICANCIA					
T1 (TR)	Caja de madera	5 días	79.00	8.888	A					
T11	Caja tipo escalera	5 días	79.00	8.887	A					
T2	Caja de madera	6 días	78.67	8.866	A					
T12	Caja tipo escalera	6 días	77.67	8.812	A	B				
T3	Caja de madera	7 días	74.67	8.640	A	B	C			
T7	Bandeja	6 días	72.00	8.485	A	B	C			
T13	Caja tipo escalera	7 días	71.00	8.421	A	B	C	D		
T5	Caja de madera	9 días	70.00	8.366		B	C	D		
T14	Caja tipo escalera	8 días	69.67	8.345		B	C	D		
T6	Bandeja	5 días	69.33	8.326		B	C	D		
T4	Caja de madera	8 días	68.00	8.246			C	D	E	
T8	Bandeja	7 días	66.67	8.165			C	D	E	
T9	Bandeja	8 días	63.67	7.978				D	E	
T15	Caja tipo escalera	9 días	61.00	7.807						E
T10	Bandeja	9 días	60.33	7.767						E

Comparador de Tukey (W) = 0.485

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Se puede observar que los tratamientos T1 (testigo relativo), T11, T2, T12, T3, T7 y T13 fueron los mejores, produciendo los mayores porcentajes de fermentación, estos tratamientos fueron estadísticamente iguales.

De acuerdo al cuadro 18 (prueba de medias), el método de fermentación con cajas de madera o de tipo escalera fue el mejor con un período de fermentación de cinco (5) días, como se demuestra en los tratamientos T1 (testigo relativo) y T11, ambos con un 79.00 % de fermentación. Mientras que, si se utiliza el método de fermentación en bandeja tipo Rohan, el mejor período de fermentación es de seis (6) días.

Estos valores son similares a los reportados por Relief (2017) citado por Peñaherrera González (2021), quien indica que, para el cacao de buena calidad, el porcentaje de granos fermentados debe ser mayor al 80%, indicando además que un bajo porcentaje de fermentación significa que no se alcanzó la temperatura adecuada en la masa fermentable.

Así también, Peñaherrera González (2021) de la Universidad Central del Ecuador, realizó una investigación sobre métodos de fermentación y secado del cacao, analizando los trabajos de autores en todo el mundo, relacionados a los diferentes métodos de fermentación y secado del cacao *T. cacao* L., haciendo énfasis en trabajos realizados en el Ecuador sobre el cacao Nacional y el clon CCN-51. En sus conclusiones indica que el método tradicional de fermentación en cajas de madera se obtiene un 90% de granos fermentados, valor mayor a los resultados obtenidos en la presente investigación, cuyos datos más altos fueron de 79% de fermentación en los tratamientos en cajas de madera (T1, testigo relativo) y en cajas de madera tipo escalera (T11), ambos con cinco (5) días de período de fermentado.

Por su parte, Buelvas Salgado (2016) realizó investigación evaluando la incidencia de las prácticas de fermentación y secado sobre la calidad del grano de cacao. Se encontró que el porcentaje de grano bien fermentado osciló entre el 32% y el 52%, valores menores a los resultados obtenidos en todos los tratamientos de la presente investigación.

Además, Streinau-Dueñas, González-Rosales, & Castañeda de Abrego (2016), realizaron una evaluación de la incidencia de la fermentación en la calidad del grano de cacao, indicando que el porcentaje para una buena fermentación, sin pre secado y fermentados en caja de madera, es de 77%. En la presente investigación, se obtuvieron resultados mayores con el tratamiento testigo (T1) de cajas de madera con cinco (5) días de período de fermentación, con 79%; el tratamiento (T11) en cajas de madera tipo escalera y cinco (5) días de fermentación, con 79%; y los tratamientos (T2 y T12) en cajas de madera y en cajas de madera tipo escalera, con seis (6) días de período de fermentado, con 78.67 y 77,67 % de fermentación, respectivamente.

2. Evaluación del efecto de tres métodos de fermentación y cinco períodos de fermentado con relación al rendimiento de almendras secas en kilogramos, en el manejo poscosecha de *T. cacao* L.

2.1. Variable rendimiento de mazorca en kilogramos

El segundo objetivo específico consideró evaluar la variable de respuesta del rendimiento de mazorcas en kilogramos, para los tres métodos de fermentación y los cinco periodos de fermentado, según los tratamientos, en el manejo poscosecha de *T. cacao* L.

En el cuadro 27 (en anexos) se presenta el detalle de los resultados de campo y datos transformados, para la variable rendimiento.

Se presentan los resultados del rendimiento para cada uno de los tratamientos evaluados:

Cuadro 19. Resultados de la variable rendimiento (Kg) para los tratamientos evaluados.

TRATAMIENTOS		MÉTODO DE FERMENTACIÓN	PERÍODO DE FERMENTADO	REPETICIONES			PROMEDIO
				R1	R2	R3	
T1	A1B1 (TR)	Caja Madera	5 días	0.50	0.51	0.51	0.5094
T2	A1B2	Caja Madera	6 días	0.51	0.52	0.52	0.5136
T3	A1B3	Caja Madera	7 días	0.51	0.52	0.52	0.5133
T4	A1B4	Caja Madera	8 días	0.55	0.52	0.52	0.5261
T5	A1B5	Caja Madera	9 días	0.51	0.52	0.51	0.5127
T6	A2B1	Bandeja	5 días	0.52	0.55	0.56	0.5415
T7	A2B2	Bandeja	6 días	0.51	0.52	0.52	0.5133

T8	A2B3	Bandeja	7 días	0.55	0.52	0.51	0.5245
T9	A2B4	Bandeja	8 días	0.51	0.51	0.51	0.5091
T10	A2B5	Bandeja	9 días	0.51	0.52	0.52	0.5133
T11	A3B1	Caja Escalera	5 días	0.45	0.51	0.51	0.4915
T12	A3B2	Caja Escalera	6 días	0.55	0.51	0.51	0.5227
T13	A3B3	Caja Escalera	7 días	0.50	0.55	0.56	0.5342
T14	A3B4	Caja Escalera	8 días	0.50	0.51	0.51	0.5070
T15	A3B5	Caja Escalera	9 días	0.51	0.51	0.51	0.5091

Como se puede observar el tratamiento con método de fermentación en caja de bandeja tipo Rohan y período de fermentado de cinco días (T6), presentó el mejor rendimiento de 0.5415 kilogramos.

En orden de importancia, le sigue el tratamiento con método de fermentación en caja tipo escalera y período de fermentado de siete días (T13) con 0.5342 kg y el del método de fermentación en caja de madera con período de fermentado de ocho días (T4) con 0.5261 kg.

Estos resultados fueron transformados por medio de la fórmula \sqrt{x} a cada dato (ver cuadro 27 en anexos), previo a realizar el análisis de varianza, el cual se presenta:

Cuadro 20. Análisis de varianza de la variable rendimiento (Kg) de los tratamientos evaluados.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
MÉTODOS	3.3E-04	2	1.7E-04	1.97	0.2194
ERROR A	5.1E-04	6	8.4E-05	0.62	0.7159
PERÍODOS	7.4E-04	4	1.9E-04	1.35	0.2798
MÉTODOS*PERÍODOS	3.2E-03	8	4.1E-04	2.96	0.0189
ERROR B	3.3E-03	28	1.4E-04		
Total	0.01	44			

C.V.=1.63 %

Se puede ver que no existió diferencia significativa (p-valor mayor de 0.05) en ninguno de los factores evaluados (métodos y períodos de fermentación), lo cual indicó que en relación a la variable rendimiento, tanto los métodos de fermentación, así como los períodos de fermentado evaluados, producen el mismo efecto en la variable rendimiento.

Sin embargo, sí existe diferencia altamente significativa en la interacción de los factores (A: método de fermentación y B: período de fermentado), por lo que fue necesario realizar una prueba de medias para la interacción.

El coeficiente de variación fue de 1.63%, lo cual indica un adecuado manejo del experimento, debido a que se encuentra dentro del rango aceptable que es del 20%.

Con estos resultados se realizó la Prueba de Medias de Tukey al 5% de significancia, la cual se presenta:

Cuadro 21. Prueba de medias Tukey (0.05 de significancia) de la variable rendimiento (Kg) de los tratamientos evaluados.

TRAT.	METODO DE FERMENTACIÓN	PERÍODO DE FERMENTADO	Medias Transformadas	Medias Sin Transformar	SIGNIFICANCIA	
T6	Bandeja	5 días	0.7358	0.5415	A	
T13	Caja Escalera	7 días	0.7307	0.5342	A	
T4	Caja Madera	8 días	0.7252	0.5261	A	B
T8	Bandeja	7 días	0.7242	0.5245	A	B
T12	Caja Escalera	6 días	0.7229	0.5227	A	B
T2	Caja Madera	6 días	0.7167	0.5136	A	B
T7	Bandeja	6 días	0.7165	0.5133	A	B
T3	Caja Madera	7 días	0.7165	0.5133	A	B
T10	Bandeja	9 días	0.7165	0.5133	A	B
T5	Caja Madera	9 días	0.7160	0.5127	A	B
T1(TR)	Caja Madera	5 días	0.7137	0.5094	A	B
T9	Bandeja	8 días	0.7135	0.5091	A	B
T15	Caja Escalera	9 días	0.7135	0.5091	A	B
T14	Caja Escalera	8 días	0.7120	0.5070	A	B
T11	Caja Escalera	5 días	0.7008	0.4915		B

Comparador de Tukey (W) = 0.03597

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

De acuerdo a la Prueba, todos los tratamientos evaluados producen los mismos rendimientos, estadísticamente son iguales, a excepción del tratamiento 11, que corresponde a la combinación entre método de fermentación de caja tipo escalera o de gradas y período de fermentado de 5 días, el cual da un mejor rendimiento.

Sin embargo, el método de fermentación con bandeja tipo Rohan con un período de fermentación de cinco (5) días, tratamiento seis, fue el de mejor rendimiento, con valor

de 0.5415 Kg, seguido del tratamiento 13 que consiste en método de fermentación de caja tipo escalera o de gradas y período de fermentado de siete días, con rendimiento de 0.5342 Kg.

3. Evaluación de la incidencia de la temperatura en el proceso de fermentación del cacao

3.1. Variable incidencia de la temperatura (°C)

El tercer objetivo específico consideró evaluar la variable de respuesta de la incidencia de la temperatura, para los tres métodos de fermentación y los cinco periodos de fermentado, según los tratamientos, en el manejo poscosecha de *T. cacao* L.

Los resultados del comportamiento de la temperatura ambiental y de cada uno de los tratamientos evaluados, se presentan:

Cuadro 22. Temperatura ambiental y temperatura de los tratamientos evaluados según períodos de fermentado.

TRATAMIENTOS	DÍAS DE FERMENTACIÓN								
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9
T1: Caja de madera y 5 días de fermentado	26.8	24.7	22.5	23.9	28.7				
T2: Caja de madera y 6 días de fermentado	27.5	25.0	22.5	23.8	28.2	25.8			
T3: Caja de madera y 7 días de fermentado	28.5	26.4	22.3	23.4	28.4	28.1	25.6		
T4: Caja de madera y 8 días de fermentado	27.8	25.3	22.7	24.0	28.6	26.1	24.9	24.1	
T5: Caja de madera y 9 días de fermentado	27.8	27.3	23.1	23.8	28.1	27.3	25.7	23.9	21.1
T6: Bandeja y 5 días de fermentado	23.7	22.3	21.7	24.5	25.6				
T7: Bandeja y 6 días de fermentado	22.8	22.6	21.8	23.8	26.2	26.4			
T8: Bandeja y 7 días de fermentado	23.5	22.6	22.0	23.9	25.1	26.6	24.5		
T9: Bandeja y 8 días de fermentado	22.8	22.5	21.9	23.3	25.5	26.4	24.7	23.9	
T10: Bandeja y 9 días de fermentado	23.7	22.2	21.7	23.8	26.1	27.2	24.5	23.6	20.4
T11: Caja tipo escalera y 5 días de fermentado	25.1	23.0	22.3	24.5	27.1				
T12: Caja tipo escalera y 6 días de fermentado	24.7	23.2	22.2	23.6	28.7	25.8			
T13: Caja tipo escalera y 7 días de fermentado	24.3	23.2	21.9	23.9	30.8	28.1	26.4		
T14: Caja tipo escalera y 8 días de fermentado	24.5	22.7	22.0	23.9	28.8	26.6	25.5	23.7	
T15: Caja tipo escalera y 9 días de fermentado	26.0	23.1	22.1	24.0	28.8	25.8	25.2	23.3	20.1
TA: Temperatura ambiente	20.9	19.5	19.2	19.9	20.4	21.6	20.1	23.0	19.1

Con base en éste registro de la temperatura presentado en el cuadro 22, se puede ver que es posible comparar el comportamiento de la misma por cada día de fermentado de

cada uno de los tratamientos evaluados, comparándola con la temperatura ambiental, lo cual se presenta en las figuras 31, 32, 33, 34 y 35.

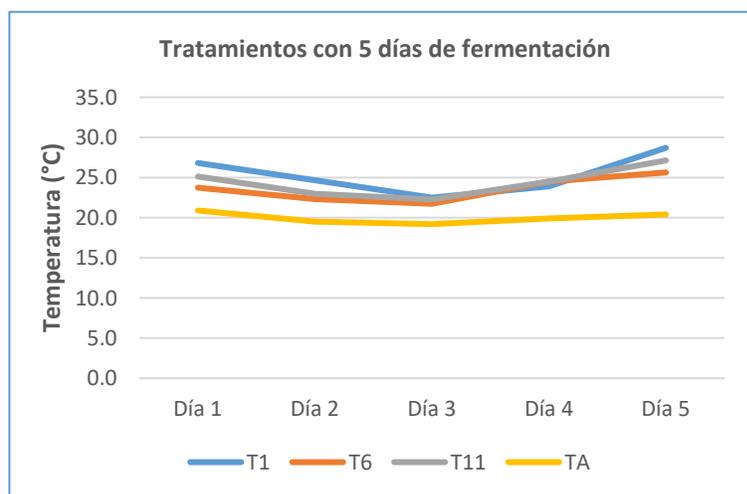


Figura 31.
Comportamiento de la temperatura en los tratamientos evaluados con 5 días de fermentación.

Como se puede observar, la temperatura ambiental fue menor a la temperatura de los tratamientos durante los cinco días del período de fermentado. Además, se observa que, durante los primeros tres días, la temperatura de los tratamientos presentó un comportamiento de disminución, aumentando a partir del tercer día hasta el quinto día.

La temperatura ambiental inició en 20.9 °C en el primer día, disminuyendo a 19.5 °C en el segundo día, hasta llegar a 19.2 °C en el tercer día, luego aumenta a 19.9 °C en el cuarto día y a 20.4 °C en el quinto día.

En el T1 la temperatura disminuyó de 26.8 °C en el primer día, a 24.7 °C en el segundo día, hasta llegar a 22.5 °C en el tercer día; luego aumentó a 23.9 °C en el cuarto día hasta llegar a 28.7 °C en el quinto día. En el T6 la temperatura disminuyó de 23.7 °C en el primer día, a 22.3 °C en el segundo día, hasta llegar a 21.7 °C en el tercer día; luego aumentó a 24.5 °C en el cuarto día hasta llegar a 25.6 °C en el quinto día. En el T11 la temperatura disminuyó de 25.1 °C en el primer día, a 23.0 °C en el segundo día, hasta llegar a 22.3 °C en el tercer día; luego aumentó a 24.5 °C en el cuarto día hasta llegar a 27.1 °C en el quinto día.

Se observa que la temperatura del tratamiento con método de fermentación en caja de madera (T1, testigo relativo) fue mayor que los otros dos tratamientos, con valores de

26.8°C, 24.7°C, 22.5°C, 23.9°C y 28.7°C, en los cinco días del período de fermentado. Le siguen en su orden, el tratamiento con método de fermentación en caja de madera tipo escalera (T11), con valores de 25.1°C, 23.0°C, 22.3°C, 24.5 °C y 27.1°C, en los cinco días del período de fermentado y el tratamiento en bandeja tipo Rohan (T6), con valores de 23.7°C, 22.3°C, 21.7°C, 24.5°C y 25.6°C, en los cinco días del período de fermentado.

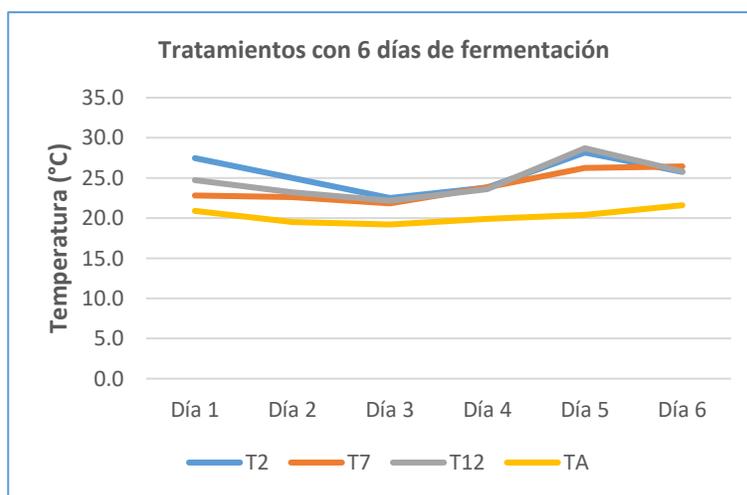


Figura 32.
Comportamiento de la temperatura en los tratamientos evaluados con 6 días de fermentación.

Como se puede observar, la temperatura ambiental también fue menor a la temperatura de los tratamientos durante los seis días del período de fermentado. Además, se observa que, durante los primeros tres días, la temperatura de los tratamientos evaluados presentó un comportamiento en descenso, aumentando a partir del tercer día hasta el quinto día, en el cual la temperatura fue la mayor durante el proceso y vuelve a disminuir del quinto al sexto día.

La temperatura ambiental inició en 20.9 °C en el primer día, disminuyendo a 19.5 °C en el segundo día, hasta llegar a 19.2 °C en el tercer día, luego aumenta a 19.9 °C en el cuarto día, a 20.4 °C en el quinto día, hasta llegar a 21.6 °C en el sexto día.

En el T2 la temperatura disminuyó de 27.5 °C en el primer día, a 25.0 °C en el segundo día, hasta llegar a 22.5 °C en el tercer día; luego aumentó a 23.8 °C en el cuarto día, hasta llegar a 28.2 °C en el quinto día; disminuyendo a 25.8 °C en el sexto día. En el T7 la temperatura disminuyó de 22.8 °C en el primer día, a 22.6 °C en el segundo día, hasta

llegar a 21.8 °C en el tercer día; luego aumentó a 23.8 °C en el cuarto día, a 26.2 °C en el quinto día, hasta llegar a 26.4 °C en el sexto día. En el T12 la temperatura disminuyó de 24.7 °C en el primer día, a 23.2 °C en el segundo día, hasta llegar a 22.2 °C en el tercer día; luego aumentó a 23.6 °C en el cuarto día hasta llegar a 28.7 °C en el quinto día; disminuyendo a 25.8 °C en el sexto día.

Se observa que la temperatura del tratamiento con método de fermentación en caja de madera (T2) fue mayor que los otros dos tratamientos en los primeros tres días, con valores de 27.5°C, 25.0°C y 22.5°C, y del tercero al sexto día fue igual al tratamiento en caja de madera tipo escalera (T12). Al final, en el sexto día del período de fermentado, la temperatura de los tres tratamientos fue igual, de 25.8°C.

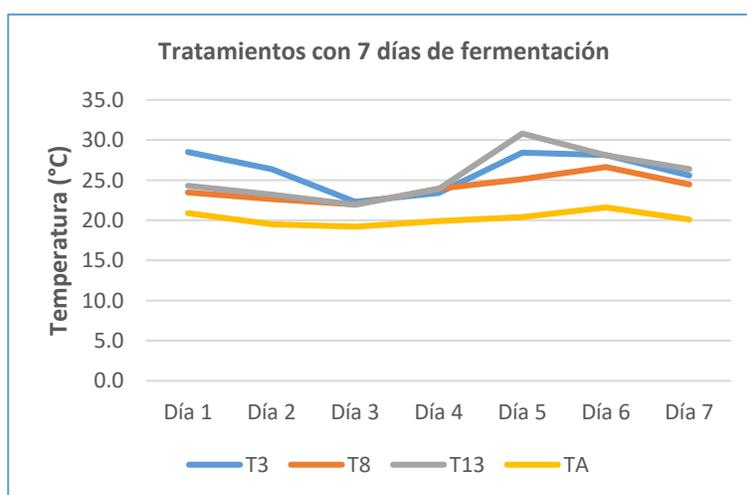


Figura 33. Comportamiento de la temperatura en los tratamientos evaluados con 7 días de fermentación.

Como se puede observar, la temperatura ambiental fue menor a la temperatura de los tratamientos evaluados durante los siete días del período de fermentado. Además, se observó que, durante los primeros tres días, la temperatura de los tratamientos evaluados presentó un comportamiento de descenso, aumentando a partir del tercer día hasta el quinto día, en el cual la temperatura fue la mayor durante el proceso y vuelve a disminuir del quinto al séptimo día.

La temperatura ambiental inició en 20.9 °C en el primer día, disminuyendo a 19.5 °C en el segundo día, hasta llegar a 19.2 °C en el tercer día, luego aumenta a 19.9 °C en el

cuarto día, a 20.4 °C en el quinto día, hasta llegar a 21.6 °C en el sexto día; en el séptimo día disminuyó a 20.1 °C.

En el T3 la temperatura disminuyó de 28.5 °C en el primer día, a 26.4 °C en el segundo día, hasta llegar a 22.3 °C en el tercer día; luego aumentó a 23.4 °C en el cuarto día, hasta llegar a 28.4 °C en el quinto día; disminuyendo a 28.1 °C en el sexto, día hasta llegar a 25.6 °C en el séptimo día. En el T8 la temperatura disminuyó de 23.5 °C en el primer día, a 22.6 °C en el segundo día, hasta llegar a 22.0 °C en el tercer día; luego aumentó a 23.9 °C en el cuarto día, a 25.1 °C en el quinto día, hasta llegar a 26.6 °C en el sexto día; disminuyendo a 24.5 °C en el séptimo día. En el T13 la temperatura disminuyó de 24.3 °C en el primer día, a 23.2 °C en el segundo día, hasta llegar a 21.9 °C en el tercer día; luego aumentó a 23.9 °C en el cuarto día hasta llegar a 30.8 °C en el quinto día; disminuyendo a 28.1 °C en el sexto día, hasta llegar a 26.4 °C en el séptimo día.

Se observa que la temperatura del tratamiento con método de fermentación en caja de madera (T3) fue mayor que los otros dos tratamientos en los primeros tres días, con valores de 28.5°C, 26.4°C y 22.3°C, y del cuarto al séptimo día fue igual al tratamiento en caja de madera tipo escalera o de gradas (T13). Al final, en el séptimo día del período de fermentado, la temperatura de los tres tratamientos evaluados fue casi igual (25.6°C, 24.5°C y 26.4°C, respectivamente), siendo un poco menor la temperatura en el tratamiento en bandeja Rohan (T6) con 24.5 °C.

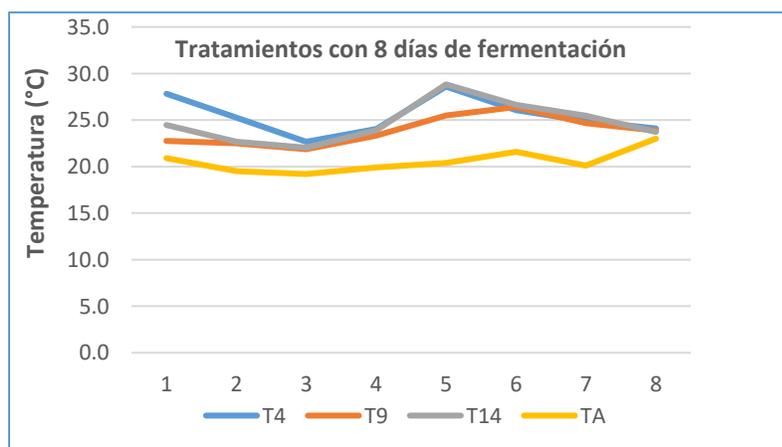


Figura 34. Comportamiento de la temperatura en los tratamientos evaluados con 8 días de fermentación.

Como se puede observar, la temperatura ambiental fue menor a la temperatura de los tratamientos durante los ocho días del período de fermentado, aunque a diferencia de los otros días de período de fermentado, al final, en el octavo día, la temperatura ambiental resultó ser casi igual a la temperatura de los tratamientos evaluados, donde la temperatura ambiental fue de 23.0°C, mientras que la temperatura del tratamiento 4 fue de 24.1°C, la del tratamiento 9 fue de 23.9°C y la del tratamiento 14 fue de 23.7°C.

La temperatura ambiental inició en 20.9 °C en el primer día, disminuyendo a 19.5 °C en el segundo día, hasta llegar a 19.2 °C en el tercer día, luego aumenta a 19.9 °C en el cuarto día, a 20.4 °C en el quinto día, hasta llegar a 21.6 °C en el sexto día; en el séptimo día disminuyó a 20.1 °C y finalmente en el séptimo día aumentó a 23.0°C.

Se observa que durante los primeros tres días, la temperatura de los tratamientos presentó un comportamiento en descenso, aumentando a partir del tercer día hasta el quinto o sexto día, en el cual la temperatura fue la mayor durante el proceso y vuelve a disminuir hasta el octavo día.

En el T4 la temperatura disminuyó de 27.8 °C en el primer día, a 25.3 °C en el segundo día, hasta llegar a 22.7 °C en el tercer día; luego aumentó a 24.0 °C en el cuarto día, hasta llegar a 28.6 °C en el quinto día; disminuyendo a 26.1 °C en el sexto, a 24.9 °C en el séptimo día hasta llegar a 24.1 °C en el octavo día. En el T9 la temperatura disminuyó de 22.8 °C en el primer día, a 22.5 °C en el segundo día, hasta llegar a 21.9 °C en el tercer día; luego aumentó a 23.3 °C en el cuarto día, a 25.5 °C en el quinto día, hasta llegar a 26.4 °C en el sexto día; disminuyendo a 24.7 °C en el séptimo día hasta llegar a 23.9 °C en el octavo día. En el T14 la temperatura disminuyó de 24.5 °C en el primer día, a 22.7 °C en el segundo día, hasta llegar a 22.0 °C en el tercer día; luego aumentó a 23.9 °C en el cuarto día hasta llegar a 28.8 °C en el quinto día; disminuyendo a 26.6 °C en el sexto día, a 25.5 °C en el séptimo día, hasta llegar a 23.7 °C en el octavo día.

Se observa que la temperatura del tratamiento con método de fermentación en caja de madera (T4) fue mayor que los otros dos tratamientos en los primeros tres días, con

valores de 27.8°C, 25.3°C y 22.7°C, respectivamente; y del tercero al octavo día fue igual al tratamiento en caja de madera tipo escalera (T14). Al final, en el octavo día del período de fermentado, la temperatura de los tres tratamientos similar a la ambiental.

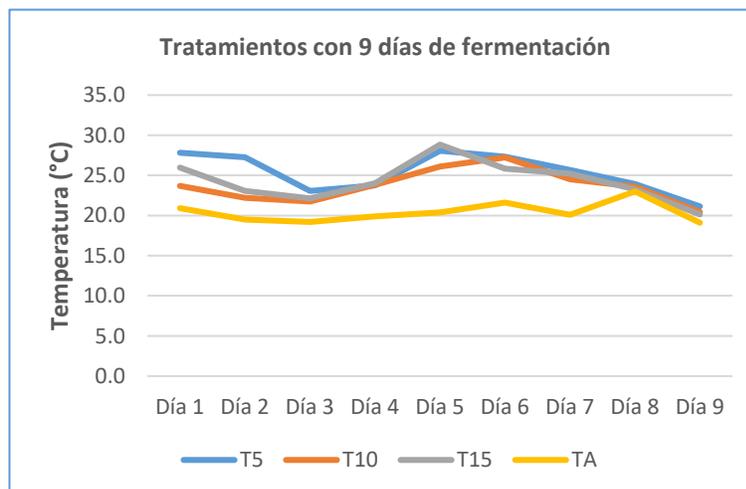


Figura 35. Comportamiento de la temperatura en los tratamientos evaluados con 9 días de fermentación.

Como se puede observar, la temperatura ambiental fue menor a la temperatura de los tratamientos durante ocho días del período de fermentado, pero al final, del octavo al noveno día, la temperatura ambiental de 19.1°C, resultó ser casi igual a la temperatura de los tratamientos, la del T5 fue de 21.1°C, la del T10 fue de 20.4°C y la del T15 fue de 20.1°C.

La temperatura ambiental inició en 20.9 °C en el primer día, disminuyendo a 19.5 °C en el segundo día, hasta llegar a 19.2 °C en el tercer día, luego aumenta a 19.9 °C en el cuarto día, a 20.4 °C en el quinto día, hasta llegar a 21.6 °C en el sexto día; en el séptimo día disminuyó a 20.1 °C, en el séptimo día aumentó a 23.0 °C y finalmente, en el octavo día disminuyó a 19.1 °C.

Se observa que durante los primeros tres días, la temperatura de los tratamientos presentó un comportamiento en descenso, aumentando a partir del tercer día hasta el quinto o sexto día, en el cual la temperatura fue la mayor durante el proceso y vuelve a disminuir hasta el noveno día.

En el T5 la temperatura disminuyó de 27.8 °C en el primer día, a 27.3 °C en el segundo día, hasta llegar a 23.1 °C en el tercer día; luego aumentó a 23.8 °C en el cuarto día, hasta llegar a 28.1 °C en el quinto día; disminuyendo a 27.3 °C en el sexto día, a 25.7 °C en el séptimo día, a 23.9 °C en el octavo día, hasta llegar a 21.1 °C en el noveno día. En el T10 la temperatura disminuyó de 23.7 °C en el primer día, a 22.2 °C en el segundo día, hasta llegar a 21.7 °C en el tercer día; luego aumentó a 23.8 °C en el cuarto día, a 26.1 °C en el quinto día, hasta llegar a 27.2 °C en el sexto día; disminuyendo a 24.5 °C en el séptimo día, a 23.6 °C en el octavo día, hasta llegar a 20.4 °C en el noveno día. En el T15 la temperatura disminuyó de 26.0 °C en el primer día, a 23.1 °C en el segundo día, hasta llegar a 22.1 °C en el tercer día; luego aumentó a 24.0 °C en el cuarto día hasta llegar a 28.8 °C en el quinto día; disminuyendo a 25.8 °C en el sexto día, a 25.2 °C en el séptimo día, a 23.2 °C en el octavo día, hasta llegar a 20.1 °C en el noveno día.

Se observa que la temperatura del tratamiento con método de fermentación en caja de madera (T5) fue mayor que los otros dos tratamientos en los primeros tres días, con valores de 27.8°C, 27.3°C y 23.1°C, respectivamente; y del tercero al noveno día fue igual a los otros dos tratamientos (T10 y T15). Al final, del octavo al noveno día del período de fermentado, la temperatura de los tres tratamientos fue casi igual y similar a la temperatura ambiental.

Como se observa en las cinco figuras anteriores, en los cinco períodos de fermentado (5, 6, 7, 8 y 9 días), el comportamiento de la temperatura fue similar, siempre fue mayor a la temperatura ambiental y tuvieron comportamiento en descenso en los primeros tres días, luego del tercer al quinto día la temperatura se incrementó, llegando a reportarse las mayores temperaturas durante todo el proceso; y seguidamente las temperaturas empezaron a disminuir hasta llegar al último día del período, particularmente en los tratamientos con 6, 7, 8 y 9 días de período de fermentando, concluyendo con valores casi iguales en cada tratamiento, incluso similares a la temperatura ambiental.

Con ello se demuestra que se diferencian las temperaturas en los tratamientos evaluados, particularmente hasta llegar al quinto día del período de fermentado, lo cual se presenta en las figuras:

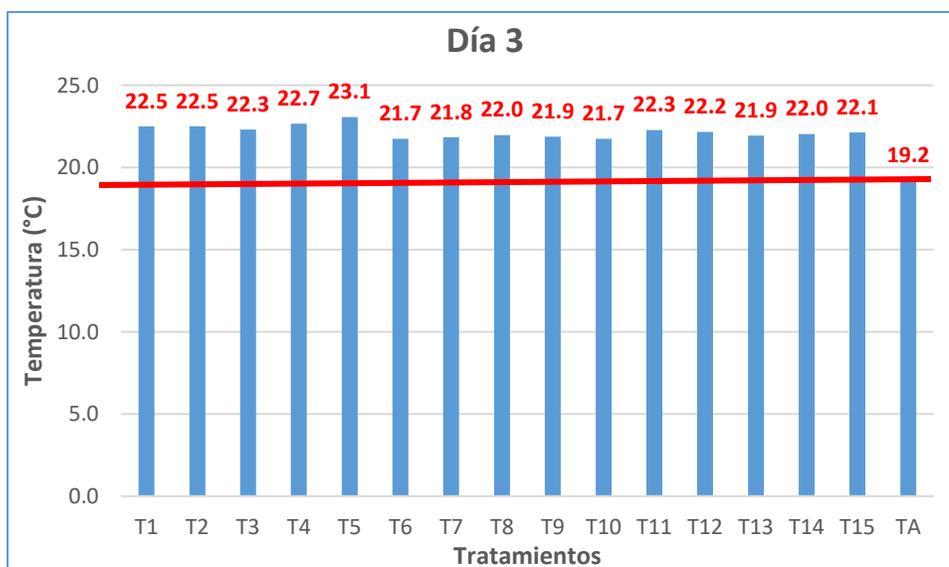


Figura 36. Comportamiento de la temperatura en los tratamientos evaluados en el día 3 del período de fermentado.

Como se puede observar, en el tercer día del período de fermentado de todos los tratamientos evaluados, cuando la temperatura disminuyó, la misma fue bastante similar en los quince tratamientos, con valores entre 21.7 °C (tratamientos 6 y 10) hasta 23.1 °C en el tratamiento cinco. La temperatura ambiental en éste día fue de 19.2 C.

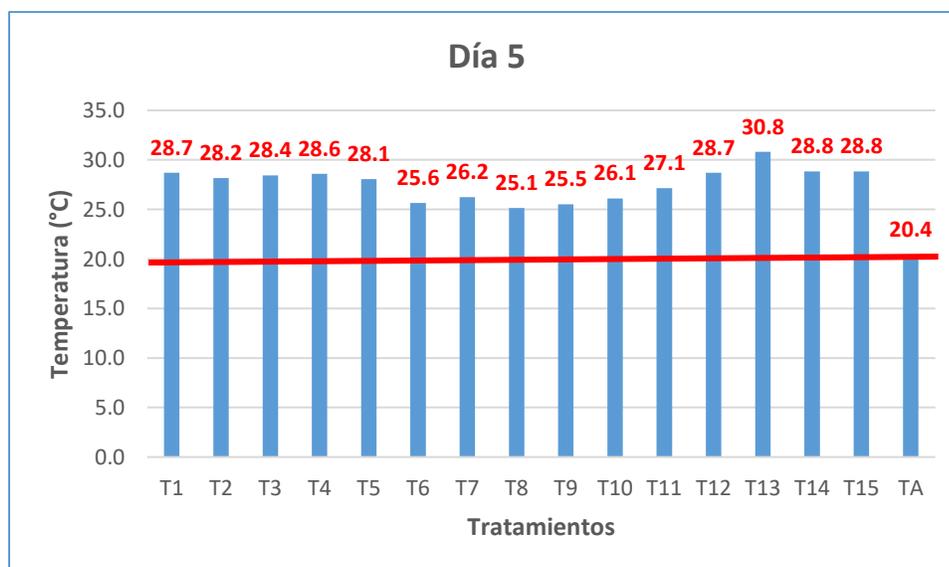


Figura 37. Comportamiento de la temperatura en los tratamientos evaluados en el día 5 del período de fermentado.

Como se puede observar, en el quinto día del período de fermentado de todos los tratamientos evaluados, momento en el cual todos reportaron el mayor incremento de la temperatura, los valores estuvieron entre 25.1 °C (tratamiento 8) hasta 30.8 °C (tratamiento 13). En éste día del período de fermentado, la temperatura ambiental fue bastante inferior, con 20.4 °C.

El proceso de fermentación depende de factores como el contenido y concentración de azúcares en la pulpa, disponibilidad de oxígeno, pH, temperatura ambiental y la acción de los diferentes microorganismos que intervienen en el proceso (PROCOMER-BID), de la temperatura que se genera al interior de la masa de semillas.

Las almendras frescas se introducen en las cajas y se les “da la vuelta” una vez al día, cuyo proceso es de gran importancia, ya que asegura el calentamiento uniforme de las mismas, permite la entrada de aire al fermento, disgrega los eventuales grumos e impide la formación de moho sobre los granos. (IICA, 2017)

Según la revisión de literatura, en general, la fermentación tarda de cinco a seis días con volteos de la masa de almendras (IICA, 2017), lo cual se demuestra con los resultados obtenidos, en donde se coincide que al quinto día es el momento de mayor incremento de la temperatura, con valores que van desde 25.1°C en el tratamiento 8, hasta 30.8°C en el tratamiento 13.

Según Rigel (2015), citado por Peñaherrera González (2021) en las primeras 24 horas, el cacao debe alcanzar temperaturas mayores de 30°C; en la presente investigación estuvieron entre 25 a 30 °C. Al segundo día, la temperatura alcanza 45°C, hasta alcanzar 50°C de calor, la temperatura ideal se debe mantener día y noche entre los 48 y 51 °C para que se desarrolle adecuadamente el proceso de fermentación y de muerte al embrión. Sin embargo, las temperaturas no fueron mayores a los 31 °C, lo cual provocó

que no se obtuviera una buena fermentación debido a que el embrión no murió y esto pudo deberse a la pequeña cantidad evaluada, que fue de 5 kilogramos de peso de las almendras húmedas en baba que se sometieron a evaluación en cada tratamiento.

Ruiz Cruz & Ac Pangan (2018), en su investigación indica que los resultados de los parámetros de fermentación en función de la localidad mostraron que la temperatura de fermentación inicial no presentó diferencias estadísticas significativas en tres localidades investigadas. Se observó un incremento diario significativo en la temperatura de fermentación desde el día 0 hasta el día 4, con temperaturas desde 28.18 hasta 47.49°C, luego no hubo una diferencia significativa en temperatura de fermentación, es decir la temperatura fue constante desde el día 5 hasta el día 8 del proceso, similar a los resultados obtenidos en la presente investigación.

4. Análisis económico de rentabilidad y relación beneficio/costo, por medio de costos totales para los tratamientos evaluados

4.1. Variable costos totales

El cuarto objetivo específico consideró evaluar dos variables de respuesta, la primera es la variable costos totales, para los tres métodos de fermentación y los cinco periodos de fermentado, según los tratamientos, en el manejo poscosecha de *T. cacao* L.

Primero se determinaron los costos totales para cada uno de los tratamientos, para lo cual se identificaron los aspectos que corresponden a los costos fijos que son aquellos que se utilizaron en la investigación, comunes para todos los tratamientos, y a los costos variables que son aquellos específicos para cada tratamiento.

En los costos fijos, solamente se identificaron costos relacionados a la mano de obra para la cosecha de las mazorcas, el despoche de las mismas y para la toma de datos del peso seco para todos los tratamientos. Es importante indicar que el valor del jornal se consideró de Q50.00, siendo lo pagado en la unidad productiva, finca El Faro.

Cuadro 23. Costos fijos de la investigación.

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
MANO DE OBRA				
Cosecha de mazorcas	Jornal	0.5	Q50.00	Q25.00
Despoché de mazorcas	Jornal	0.2	Q50.00	Q10.00
Toma de datos, peso seco	Jornal	0.125	Q50.00	Q6.25
TOTAL COSTOS FIJOS				Q41.25

En los costos variables de cada tratamiento, se determinaron dos aspectos relacionados con la mano de obra, siendo para la toma de temperatura y el volteo de las almendras en baba, y para el secado de las mismas.

De los dos factores evaluados, con relación al factor A del método de fermentación, no se determinaron costos variables específicos, solamente fue para el factor B de los períodos de fermentado, pues para los tratamientos con período de fermentado de cinco (05) días (T1, T6 y T11), durante cuatro días se realizó la toma de datos de temperatura y se realizó el volteo de las almendras en baba, así como, en estos mismos tratamientos, se empleó mano de obra durante 14 días para el secado de las almendras.

Similar fue el caso para los tratamientos con período de fermentado de seis (06) días (T2, T7 y T12), durante cinco días se realizó la toma de datos de temperatura y se realizó el volteo de las almendras en baba, así como, en estos mismos tratamientos se empleó mano de obra durante 16 días para el secado de las almendras. Para el caso para los tratamientos con período de fermentado de siete días (T3, T8 y T13), durante seis días se realizó la toma de datos de temperatura y se realizó el volteo de las almendras en baba, así como, en estos mismos tratamientos se empleó mano de obra durante 18 días para el secado de las almendras.

Para el caso para los tratamientos con período de fermentado de ocho días (T4, T9 y T14), durante siete días se realizó la toma de datos de temperatura y se realizó el volteo de las almendras en baba, así como, en estos mismos tratamientos se empleó mano de obra durante 20 días para el secado de las almendras. Y, por último, para el caso de los tratamientos con período de fermentado de nueve días (T5, T10 y T15), durante ocho días se realizó la toma de datos de temperatura y se realizó el volteo de las almendras

en baba, así como, en estos mismos tratamientos se empleó mano de obra durante 22 días para el secado de las almendras de cada tratamiento.

De las ocho (08) horas de un jornal de trabajo, para cada una de estas actividades se emplearon cinco minutos, lo cual equivale a 0.0833 horas, equivalente a la vez a 0.0104 de fracción de día laboral (día laboral de ocho horas).

En el cuadro 28 (en anexos) se presenta el detalle de los costos variables de cada tratamiento. A continuación, se presenta el cuadro 24 que contiene los costos variables de cada tratamiento evaluado:

Cuadro 24. Resumen de los costos variables de los tratamientos evaluados.

CONCEPTO	TOTAL
T1: Caja de madera y 5 días de fermentado	Q9.38
T2: Caja de madera y 6 días de fermentado	Q10.94
T3: Caja de madera y 7 días de fermentado	Q12.50
T4: Caja de madera y 8 días de fermentado	Q14.06
T5: Caja de madera y 9 días de fermentado	Q15.63
T6: Bandeja y 5 días de fermentado	Q9.38
T7: Bandeja y 6 días de fermentado	Q10.94
T8: Bandeja y 7 días de fermentado	Q12.50
T9: Bandeja y 8 días de fermentado	Q14.06
T10: Bandeja y 9 días de fermentado	Q15.63
T11: Caja tipo escalera y 5 días de fermentado	Q9.38
T12: Caja tipo escalera y 6 días de fermentado	Q10.94
T13: Caja tipo escalera y 7 días de fermentado	Q12.50
T14: Caja tipo escalera y 8 días de fermentado	Q14.06
T15: Caja tipo escalera y 9 días de fermentado	Q15.63

Con los costos fijos y los costos variables, se logró determinar los costos totales para cada uno de los tratamientos evaluados:

Cuadro 25. Resumen de costos totales de los tratamientos evaluados.

TRATAMIENTO	COSTOS FIJOS	COSTOS VARIABLES	COSTOS TOTALES
T1: Caja de madera y 5 días de fermentado	Q41.25	Q9.38	Q50.63
T2: Caja de madera y 6 días de fermentado	Q41.25	Q10.94	Q52.19
T3: Caja de madera y 7 días de fermentado	Q41.25	Q12.50	Q53.75
T4: Caja de madera y 8 días de fermentado	Q41.25	Q14.06	Q55.31
T5: Caja de madera y 9 días de fermentado	Q41.25	Q15.63	Q56.88
T6: Bandeja y 5 días de fermentado	Q41.25	Q9.38	Q50.63

T7: Bandeja y 6 días de fermentado	Q41.25	Q10.94	Q52.19
T8: Bandeja y 7 días de fermentado	Q41.25	Q12.50	Q53.75
T9: Bandeja y 8 días de fermentado	Q41.25	Q14.06	Q55.31
T10: Bandeja y 9 días de fermentado	Q41.25	Q15.63	Q56.88
T11: Caja tipo escalera y 5 días de fermentado	Q41.25	Q9.38	Q50.63
T12: Caja tipo escalera y 6 días de fermentado	Q41.25	Q10.94	Q52.19
T13: Caja tipo escalera y 7 días de fermentado	Q41.25	Q12.50	Q53.75
T14: Caja tipo escalera y 8 días de fermentado	Q41.25	Q14.06	Q55.31
T15: Caja tipo escalera y 9 días de fermentado	Q41.25	Q15.63	Q56.88

Se puede observar que los tratamientos con período de fermentado de 5 días (T1, T6 y T11) son los que presentan los menores costos totales.

4.2. Variables rentabilidad y relación beneficio/costo

El cuarto objetivo específico consideró evaluar dos variables de respuesta, la segunda corresponde a las variables de rentabilidad y relación beneficio/costo, como parte del análisis económico para los tres métodos de fermentación y los cinco periodos de fermentado, según los tratamientos, en el manejo poscosecha de *T. cacao* L.

Los resultados de los costos totales de cada tratamiento, sirvieron de base para realizar el análisis económico que se presenta a continuación en el cuadro 26, para lo cual es importante informar que el precio de venta de la almendra seca en la finca El Faro es de Q1,300.00 por quintal (45.35 Kg), equivalente a Q28.67 por kilogramo. Los ingresos son el resultado de multiplicar el rendimiento por el precio de venta.

De este análisis económico, los valores más importantes a interpretar son las variables del porcentaje de rentabilidad y el valor de la relación beneficio/costo.

Cuadro 26. Análisis económico de los tratamientos evaluados.

TRATAMIENTO	Costo Total de Producción	Volumen de Producción	Costo Unitario Promedio	Precio Promedio de Venta (q/Kg)	Valor Bruto de la Producción (Ingresos)	Utilidad Total de Producción	Índice de Rentabilidad (%)	Relación Beneficio / Costo
	CT = CF + CV	VP = Rendimiento	CU = CT / Rendimiento	PV = CU + MU	VBP = Rendimiento x PV	UT = VBP - CT	IR = (UT / CT) x 100	Rel.B/C = VBP / CT
T1: Caja de madera y 5 días de fermentado	Q50.63	2.5470	Q19.88	Q28.67	Q73.01	Q22.39	44%	1.4422
T2: Caja de madera y 6 días de fermentado	Q52.19	2.5682	Q20.32	Q28.67	Q73.62	Q21.43	41%	1.4107
T3: Caja de madera y 7 días de fermentado	Q53.75	2.5667	Q20.94	Q28.67	Q73.58	Q19.83	37%	1.3689
T4: Caja de madera y 8 días de fermentado	Q55.31	2.6303	Q21.03	Q28.67	Q75.40	Q20.09	36%	1.3632
T5: Caja de madera y 9 días de fermentado	Q56.88	2.5636	Q22.19	Q28.67	Q73.49	Q16.61	29%	1.2921
T6: Bandeja y 5 días de fermentado	Q50.63	2.7076	Q18.70	Q28.67	Q77.62	Q26.99	53%	1.5331
T7: Bandeja y 6 días de fermentado	Q52.19	2.5667	Q20.33	Q28.67	Q73.58	Q21.39	41%	1.4098
T8: Bandeja y 7 días de fermentado	Q53.75	2.6227	Q20.49	Q28.67	Q75.18	Q21.43	40%	1.3988
T9: Bandeja y 8 días de fermentado	Q55.31	2.5455	Q21.73	Q28.67	Q72.97	Q17.66	32%	1.3192
T10: Bandeja y 9 días de fermentado	Q56.88	2.5667	Q22.16	Q28.67	Q73.58	Q16.70	29%	1.2936
T11: Caja tipo escalera y 5 días de fermentado	Q50.63	2.4576	Q20.60	Q28.67	Q70.45	Q19.82	39%	1.3916
T12: Caja tipo escalera y 6 días de fermentado	Q52.19	2.6136	Q19.97	Q28.67	Q74.92	Q22.73	44%	1.4356
T13: Caja tipo escalera y 7 días de fermentado	Q53.75	2.6712	Q20.12	Q28.67	Q76.57	Q22.82	42%	1.4246
T14: Caja tipo escalera y 8 días de fermentado	Q55.31	2.5348	Q21.82	Q28.67	Q72.66	Q17.35	31%	1.3137
T15: Caja tipo escalera y 9 días de fermentado	Q56.88	2.5455	Q22.34	Q28.67	Q72.97	Q16.09	28%	1.2830

Como se puede observar en el cuadro 26, el tratamiento con bandejas tipo Rohan como método de fermentación y cinco días de período de fermentado (T6), presentó la mejor rentabilidad con 53% y una relación beneficio/costo de 1.53, lo que significa que por cada quetzal invertido se obtienen Q0.53 de ganancia.

En importancia le sigue el tratamiento con método de fermentación en caja de madera y período de fermentado de cinco días (T1, testigo relativo), con 44% de rentabilidad y relación beneficio/costo de 1.44, seguido del tratamiento con método de fermentación en caja tipo escalera y período de fermentado de seis días (T12), con 44% de rentabilidad y relación beneficio/costo de 1.43.

VII. CONCLUSIONES

1. En el manejo poscosecha del cacao en la finca El Faro, utilizando el clon CCN – 51, los métodos de fermentación en cajas de madera y en cajas de madera tipo escalera, con períodos de fermentado de cinco (5) días, tratamientos 1 (testigo relativo) y 11, presentaron el mejor porcentaje de fermentación, ambos con 79%, valor adecuado para obtener un cacao de buena calidad, con propiedades organolépticas aceptables.
2. En las condiciones de finca El Faro, el tratamiento con método de fermentación en bandeja tipo Rohan y período de fermentado de cinco (5) días (T6), presentó el mejor rendimiento de 0.5415 kilogramos de peso de almendra seca por mazorca.
3. La temperatura es un factor que incide en el proceso de fermentación del cacao. En la presente investigación se demostró que el período de fermentado de 5 días es el momento de mayor incremento de la temperatura en todos los tratamientos, con valores de 25.1 °C (tratamiento 8) hasta 30.8 °C (tratamiento 13); y el método de fermentación en cajas de madera (tratamiento 1, testigo relativo), son la mejor combinación para el manejo de la temperatura en este proceso de manejo poscosecha del cacao en finca El Faro.
4. En relación al análisis económico, el tratamiento con bandejas tipo Rohan como método de fermentación y 5 días de período de fermentado (T6), presenta la mejor rentabilidad con 53% y una relación beneficio/costo de 1.53, lo que significa que por cada quetzal invertido se obtienen Q0.53 de ganancia, seguido del tratamiento con método de fermentación en caja de madera y período de fermentado de 5 días (T1, testigo relativo), con 44% de rentabilidad y relación beneficio/costo de 1.44.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Bajo las condiciones de finca El Faro y utilizando el clon CCN – 51, para el manejo pos cosecha del cacao, se sugieren los métodos de fermentación en cajas de madera y en cajas de madera tipo escalera, con períodos de fermentado de 5 días, con los cuales obtiene el mejor porcentaje de fermentación para la obtención de un cacao de buena calidad.
2. Bajo las condiciones de finca El Faro y utilizando el clon CCN – 51, para el manejo pos cosecha del cacao, es conveniente el tratamiento con método de fermentación en bandeja tipo Rohan y período de fermentado de 5 días, con el cual se obtiene el mejor rendimiento de almendras secas por kilogramo.
3. Con relación al comportamiento de la temperatura en el proceso de fermentación del cacao, bajo condiciones de finca El Faro, se propone el período de fermentado de 5 días y el método de fermentación en cajas de madera o en cajas de madera tipo escalera.
4. Desde el punto de vista económico, es mejor el método de fermentación en bandejas tipo Rohan con período de fermentado de 5 días, que presentó la mejor rentabilidad y relación beneficio/costo.

IX. REFERENCIAS

- ANACAFÉ. (Julio de 2004). *Cultivo de Cacao. Programa de diversificación de ingresos de la empresa cafealera.*
<http://portal.anacafe.org/Portal/Documents/Documents/2004-12/33/7/Cultivo%20de%20Cacao.pdf>
- Buelvas Salgado, G. (2016). Incidencia de las prácticas de fermentación y secado sobre la calidad del grano de cacao producido en el occidente antioqueño. *SENA Sistema de Bibliotecas, Portal de Revistas*, 2(1), 102 - 112.
<http://revistas.sena.edu.co/index.php/Encuentro/article/view/2195>
- Cacao móvil. (2022). *Cosecha, fermentación y secado del cacao.*
<https://www.cacaomovil.com/site/guide/cosecha-fermentacion-y-secado-del-cacao/41/metodos-de-fermentacion>
- Cadena de cacao. (s/f). *Fermentación del cacao, aspectos generales.*
http://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/19_Fermentacion_del_Cacao.pdf
- Castañeda Cabrera, A. (2022). *Diagnóstico general del cultivo de Theobroma cacao L., Malvaceae, "Cacao", en finca El Faro, El Palmar, Quetzaltenango.* [Diagnóstico, Ejercicio Profesional Supervisado, Carrera de Ingeniería en Agronomía Tropical] USAC, CUNSUROC, Mazatenango, Suchitepéquez.
- Cedeño Amador, S. (2011). *La revolución del cacao CCN - 51 en el Ecuador.* Industria Agrícola Cañas C.A., Bahamas.
<http://appcacao.org/descargas/seminario2011/Revoluci%F3n%20del%20Cacao%20CCN-51%20en%20Ecuador%202011%20%20Marzo.pdf>
- Holdridge, L. (1977). *Clasificación de zonas de vida y formaciones vegetales de Guatemala.* Instituto Nacional Forestal.

IICA. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao*. Costa Rica: IICA.
<https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>

Instituto Nacional de Aprendizaje. (s/f). *Proceso de fermentación del cacao*.
<https://www.inapide.ac.cr/pluginfile.php/25905/course/section/7205/Presentaci%C3%B3n%203..pdf>

López Castillo, P. (2014). *Preparación y evaluación del proyecto de procesamiento de cacao para la producción de chocolate en el Centro de Agricultura Tropical Bulbuxyá CATBUL, San Miguel Panán, Suchitepéquez, Guatemala*. [Tesis, Carrera de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, USAC, Facultad de Agronomía].
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/2857/1/TESIS%20AGRONOMIA.pdf>

Minitab Statistical Software. (2021). *Diseños de parcelas divididas en el diseño de experimentos*. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/statistical-modeling/doe/supporting-topics/factorial-and-screening-designs/split-plot-designs-in-design-of-experiments/#:~:text=de%20parcelas%20divididas,%C2%BFQu%C3%A9%20es%20un%20dise%C3%B1o%20de%20parcelas%20divididas>

Nogales, J. (s/f). *Métodos de secado de cacao*.
<https://poscosechacacao.blogspot.com/2017/08/metodos-de-secado-de-cacao.html>

NTE INEN 176. (2018). *Norma Técnica Ecuatoriana. Granos de cacao. Requisitos*. Servicio Ecuatoriano de Normalización, Ecuador.
https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_176-5.pdf

PDG. (19 de julio de 2019). *Variedad CCN - 51: ¿una amenaza para la industria del cacao?* (P. D. Español, Editor) <https://perfectdailygrind.com/es/2019/07/19/variedad-ccn-51-una-amenaza-para-la-industria-del-cacao/>

Peñaherrera González, N. (20

21). *Estudio de métodos de fermentación y secado del cacao*. Universidad Central del Ecuador, Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/24717/1/UCE-FCQ-CQA-PE%C3%91AHERRERA%20NANCY.pdf>

PROCOMER, BID. (s/f). *Manual técnico: Poscosecha de cacao fino y de aroma*. <https://www.procomer.com/wp-content/uploads/Manual-poscosecha-de-cacao-fino-y-de-aroma.pdf>

Puentes-Páramo, Y., Menjivar-Flores, J., Gómez-Carabalí, A., & Aranzazu-Hernández, F. (2013). *Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento*. Universidad Nacional de Colombia, Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia, Colombia. <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v63n2/v63n2a07.pdf>

Quintana Fuentes, L., & Gómez Castelblanco, S. (2011). *Perfil del sabor del clon CCN51 del cacao (Theobroma cacao L.) producido en tres finca del municipio de San Vicente de Chucurí*. Colombia. <file:///C:/Users/HP14CK007LA/Downloads/Administrador,+perfil+del+sabor+del+clon+ccn51+del+cacao.pdf>

Ruiz Cruz, E., & Ac Pangan, M. (2018). *Perfiles de fermentación para contribuir con el mejoramiento de la calidad del cacao (Theobroma cacao) de la ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz*. Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria -CRIA NORTE, Cadena de Cacao, IICA, USAC, Guatemala. http://cunori.edu.gt/descargas/Informe_final_fermentacin_cacao_corregido.pdf

SCORAL. (s/f). *Innovación en el sector cacaotero: un modulo fermentador trapezoidal de cacao revoluciona el mercado peruano*. <https://nscoral.pe/innovacion-en-el-sector-cacaotero-un-modulo-fermentador-trapezoidal-de-cacao-revoluciona-el-mercado-peruano/>

Statologos. (2022). *¿Qué es un diseño de parcela dividida?*
<https://statologos.com/disenio-de-parcela-dividida/>

Streinau-Dueñas, I., González-Rosales, S., & Castañeda-de Abrego, V. (2016). *Evaluación de la incidencia de la fermentación en la calidad del grano de cacao trinitario en Caluco, Sonsonate, El Salvador*. Universidad de El Salvador, El Salvador. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/14544/1/1.pdf>

Teneda Llerena, W. (2016). *Mejoramiento del proceso de fermentación del cacao*. (Universidad Internacional de Andalucía, Productor)
<https://docplayer.es/52144889-Mejoramiento-del-proceso-de-fermentacion-del-cacao.html>

Trópicos v3.3.2. (2022). *Theobroma cacao* L. (J. B. Missouri, Editor)
<http://legacy.tropicos.org/Name/30400642>

Vo.Bo.



Licda. Ana Teresa de González
Bibliotecaria CUNSUROC



X. ANEXOS

Cuadro 27. Datos de campo transformados, para las variables fermentación (%) y rendimiento (kg) de los tratamientos evaluados.

TRATAMIENTOS		% FERMENTACIÓN				RENDIMIENTO					
		# Almendras fermentadas	# Almendras de muestreo	% Ferm	Dato Transformado (v(x))	Peso seco en libras de 5 kg (11.02 lbs húmedo)	Peso almendras húmedas en baba (kg)	Peso de almendras secas (kg)	Rendimiento	Dato transformado (v(x))	
R1	A1-T1	CAJAS DE MADERA + 5 DIAS F	78	100	78	8.83	5.55	5	2.52	1.98	1.41
	A1-T2	CAJAS DE MADERA + 6 DIAS F	80	100	80	8.94	5.60	5	2.55	1.96	1.40
	A1-T3	CAJAS DE MADERA + 7 DIAS F	72	100	72	8.49	5.60	5	2.55	1.96	1.40
	A1-T4	CAJAS DE MADERA + 8 DIAS F	66	100	66	8.12	6.00	5	2.73	1.83	1.35
	A1-T5	CAJAS DE MADERA + 9 DIAS F	69	100	69	8.31	5.60	5	2.55	1.96	1.40
R2	A1-T1	CAJAS DE MADERA + 5 DIAS F	80	100	80	8.94	5.60	5	2.55	1.96	1.40
	A1-T2	CAJAS DE MADERA + 6 DIAS F	73	100	73	8.54	5.67	5	2.58	1.94	1.39
	A1-T3	CAJAS DEMADERA + 7 DIAS F	77	100	77	8.77	5.67	5	2.58	1.94	1.39
	A1-T4	CAJAS DE MADERA + 8 DIAS F	69	100	69	8.31	5.67	5	2.58	1.94	1.39
	A1-T5	CAJAS DE MADERA + 9 DIAS F	71	100	71	8.43	5.67	5	2.58	1.94	1.39
R3	A1-T1	CAJAS DE MADERA + 5 DIAS F	79	100	79	8.89	5.66	5	2.57	1.94	1.39
	A1-T2	CAJAS DE MADERA + 6 DIAS F	83	100	83	9.11	5.68	5	2.58	1.94	1.39
	A1-T3	CAJAS DEMADERA + 7 DIAS F	75	100	75	8.66	5.67	5	2.58	1.94	1.39
	A1-T4	CAJAS DE MADERA + 8 DIAS F	69	100	69	8.31	5.69	5	2.59	1.93	1.39
	A1-T5	CAJAS DE MADERA + 9 DIAS F	70	100	70	8.37	5.65	5	2.57	1.95	1.40
R1	A2-T6	BANDEJA + 5 DIAS F	69	100	69	8.31	5.67	5	2.58	1.94	1.39
	A2-T7	BANDEJA + 6 DIAS F	72	100	72	8.49	5.60	5	2.55	1.96	1.40
	A2-T8	BANDEJA + 7 DIAS F	68	100	68	8.25	6.00	5	2.73	1.83	1.35
	A2-T9	BANDEJA + 8 DIAS F	67	100	67	8.19	5.60	5	2.55	1.96	1.40
	A2-T10	BANDEJA + 9 DIAS F	63	100	63	7.94	5.60	5	2.55	1.96	1.40
R2	A2-T6	BANDEJA + 5 DIAS F	67	100	67	8.19	6.00	5	2.73	1.83	1.35
	A2-T7	BANDEJA + 6 DIAS F	73	100	73	8.54	5.67	5	2.58	1.94	1.39
	A2-T8	BANDEJA + 7 DIAS F	65	100	65	8.06	5.67	5	2.58	1.94	1.39
	A2-T9	BANDEJA + 8 DIAS F	62	100	62	7.87	5.60	5	2.55	1.96	1.40
	A2-T10	BANDEJA + 9 DIAS F	59	100	59	7.68	5.67	5	2.58	1.94	1.39
R3	A2-T6	BANDEJA + 5 DIAS F	72	100	72	8.49	6.20	5	2.82	1.77	1.33
	A2-T7	BANDEJA + 6 DIAS F	71	100	71	8.43	5.67	5	2.58	1.94	1.39
	A2-T8	BANDEJA + 7 DIAS F	67	100	67	8.19	5.64	5	2.56	1.95	1.40
	A2-T9	BANDEJA + 8 DIAS F	62	100	62	7.87	5.60	5	2.55	1.96	1.40
	A2-T10	BANDEJA + 9 DIAS F	59	100	59	7.68	5.67	5	2.58	1.94	1.39
R1	A3-T11	ESCALERA + 5 DIAS F	78	100	78	8.83	5.00	5	2.27	2.20	1.48
	A3-T12	ESCALERA + 6 DIAS F	74	100	74	8.60	6.00	5	2.73	1.83	1.35
	A3-T13	ESCALERA + 7 DIAS F	75	100	75	8.66	5.51	5	2.50	2.00	1.41
	A3-T14	ESCALERA + 8 DIAS F	67	100	67	8.19	5.51	5	2.50	2.00	1.41
	A3-T15	ESCALERA + 9 DIAS F	61	100	61	7.81	5.60	5	2.55	1.96	1.40
R2	A3-T11	ESCALERA + 5 DIAS F	82	100	82	9.06	5.60	5	2.55	1.96	1.40
	A3-T12	ESCALERA + 6 DIAS F	80	100	80	8.94	5.60	5	2.55	1.96	1.40
	A3-T13	ESCALERA + 7 DIAS F	74	100	74	8.60	6.00	5	2.73	1.83	1.35
	A3-T14	ESCALERA + 8 DIAS F	73	100	73	8.54	5.60	5	2.55	1.96	1.40
	A3-T15	ESCALERA + 9 DIAS F	65	100	65	8.06	5.60	5	2.55	1.96	1.40
R3	A3-T11	ESCALERA + 5 DIAS F	77	100	77	8.77	5.62	5	2.55	1.96	1.40
	A3-T12	ESCALERA + 6 DIAS F	79	100	79	8.89	5.65	5	2.57	1.95	1.40
	A3-T13	ESCALERA + 7 DIAS F	64	100	64	8.00	6.12	5	2.78	1.80	1.34
	A3-T14	ESCALERA + 8 DIAS F	69	100	69	8.31	5.62	5	2.55	1.96	1.40
	A3-T15	ESCALERA + 9 DIAS F	57	100	57	7.55	5.60	5	2.55	1.96	1.40

Cuadro 28. Detalle de los costos variables de los tratamientos evaluados.

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL / EXPERIMENTO
MANO DE OBRA PARA TOMA DE TEMPERATURA Y VOLTEO DE ALMENDRAS EN BABA *				
T1: 4 días	Jornal	0.042	Q50.00	Q2.08
T2: 5 días	Jornal	0.052	Q50.00	Q2.60
T3: 6 días	Jornal	0.063	Q50.00	Q3.13
T4: 7 días	Jornal	0.073	Q50.00	Q3.65
T5: 8 días	Jornal	0.083	Q50.00	Q4.17
T6: 4 días	Jornal	0.042	Q50.00	Q2.08
T7: 5 días	Jornal	0.052	Q50.00	Q2.60
T8: 6 días	Jornal	0.063	Q50.00	Q3.13
T9: 7 días	Jornal	0.073	Q50.00	Q3.65
T10: 8 días	Jornal	0.083	Q50.00	Q4.17
T11: 4 días	Jornal	0.042	Q50.00	Q2.08
T12: 5 días	Jornal	0.052	Q50.00	Q2.60
T13: 6 días	Jornal	0.063	Q50.00	Q3.13
T14: 7 días	Jornal	0.073	Q50.00	Q3.65
T15: 8 días	Jornal	0.083	Q50.00	Q4.17
MANO DE OBRA PARA SECADO DE ALMENDRAS *				
T1: 14 días	Jornal	0.146	Q50.00	Q7.29
T2: 16 días	Jornal	0.167	Q50.00	Q8.33
T3: 18 días	Jornal	0.188	Q50.00	Q9.38
T4: 20 días	Jornal	0.208	Q50.00	Q10.42
T5: 22 días	Jornal	0.229	Q50.00	Q11.46
T6: 14 días	Jornal	0.146	Q50.00	Q7.29
T7: 16 días	Jornal	0.167	Q50.00	Q8.33
T8: 18 días	Jornal	0.188	Q50.00	Q9.38
T9: 20 días	Jornal	0.208	Q50.00	Q10.42
T10: 22 días	Jornal	0.229	Q50.00	Q11.46
T11: 14 días	Jornal	0.146	Q50.00	Q7.29
T12: 16 días	Jornal	0.167	Q50.00	Q8.33
T13: 18 días	Jornal	0.188	Q50.00	Q9.38
T14: 20 días	Jornal	0.208	Q50.00	Q10.42
T15: 22 días	Jornal	0.229	Q50.00	Q11.46
TOTAL COSTOS VARIABLES				
T1: Caja de madera y 5 días de fermentado				Q9.38
T2: Caja de madera y 6 días de fermentado				Q10.94
T3: Caja de madera y 7 días de fermentado				Q12.50
T4: Caja de madera y 8 días de fermentado				Q14.06
T5: Caja de madera y 9 días de fermentado				Q15.63
T6: Bandeja y 5 días de fermentado				Q9.38
T7: Bandeja y 6 días de fermentado				Q10.94
T8: Bandeja y 7 días de fermentado				Q12.50
T9: Bandeja y 8 días de fermentado				Q14.06
T10: Bandeja y 9 días de fermentado				Q15.63
T11: Caja tipo escalera y 5 días de fermentado				Q9.38
T12: Caja tipo escalera y 6 días de fermentado				Q10.94
T13: Caja tipo escalera y 7 días de fermentado				Q12.50
T14: Caja tipo escalera y 8 días de fermentado				Q14.06
T15: Caja tipo escalera y 9 días de fermentado				Q15.63



Figura 38. Regiones geográficas productoras de cacao en el mundo.

Fuente: IICA (2017).

Cuadro 29. Principales tipos de secadores artificiales utilizados en el beneficiado del cacao.

Tipos de secadores	Características
Secadores de cabina o bandeja	Secador de anaqueles, compartimentos o gabinete. Cuenta con un ventilador y una serie de resistencias eléctricas que generan aire caliente. El aire caliente fluye a través de las bandejas.
Secadores rotatorios	Secador tipo cilindro rotatorio. El aire caliente fluye y se dispersa a lo largo del cilindro rotando en forma paralela.
Secador de túnel	El cacao instalado en carretas se traslada por un túnel en contacto con gases calientes.
Secador de tambor	Es un cilindro metálico rotatorio. Se calienta intrínsecamente con gas. Se produce una transferencia de calor muy eficaz desde la pared de la carcasa caliente hasta el producto sólido.

Fuente: Peñaherrera González (2021).

Cuadro 30. Ventajas y desventajas de los métodos de secado del cacao.

Método	Fuente	Ventajas	Desventajas
Secado natural	Luz solar	Permite una temperatura moderada y uniforme. Se obtiene un cacao de mejor calidad, de aroma más fino, y con un color más claro. Económico en presupuesto de maquinaria.	Este tipo de secado depende del clima. Si es demasiado lento el sabor de los granos de cacao es muy ácido. Se contamina fácilmente por materias extrañas como tierra, hojas, piedras, entre otras.
Secado artificial	Equipos y dispositivos mecánicos	No depende del clima. Es económico en tiempo y espacio. No tiene problemas de moho. No se contamina con materias extrañas como tierra, basuras.	Secado muy rápido, ocasiona que las enzimas del interior de los granos de cacao se inactiven antes de que se hayan completado los cambios químicos.

Fuente: Peñaherrera González (2021).

Mazatenango, 22 de enero de 2024.

Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales
COORDINADOR
Carrera de Ingeniería en Agronomía Tropical
Centro Universitario del Suroccidente
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetable Doctor Otzoy:

Por este medio me dirijo a usted, deseando éxitos en la coordinación de la Carrera.

El motivo de la presente es para informar que luego de haber asesorado y revisado el Trabajo de Graduación titulado: **“Evaluación de tres métodos y cinco períodos de fermentación de las semillas de *Theobroma cacao* L., Malvaceae, “Cacao”, en finca El Faro, El Palmar, Quetzaltenango”**; presentado por el estudiante **T.P.A Adán Castañeda Cabrera**, quien se identifica con número de carné **201443779** de la carrera de Ingeniería en Agronomía Tropical, y de conformidad con lo establecido en el Reglamento de Trabajo de Graduación, doy **visto bueno y aprobación**, para que la estudiante pueda continuar con el trámite correspondiente.

Agradeciendo de antemano la atención prestada a la presente y sin otro particular me suscribo.

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Agr. M.Sc. Martín Salvador Sánchez Cruz
Profesor Asesor y Supervisor

Mazatenango, 10 de mayo de 2024.

Lic. Luis Carlos Muñoz López
Director en Funciones
Centro Universitario del Suroccidente
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetable Señor Director:

Por este medio me dirijo a usted, deseando éxitos en la administración del Centro Universitario.

Con fundamento en el Normativo de Trabajo de Graduación de la Carrera de Agronomía Tropical, me permito hacer de su conocimiento que el estudiante **T.P.A Adán Castañeda Cabrera**, quien se identifica con número de carné **201443779**, ha concluido su Trabajo de Graduación titulado: **"Evaluación de tres métodos y cinco períodos de fermentación de las semillas de *Theobroma cacao* L., Malvaceae, "Cacao", en finca El Faro, El Palmar, Quetzaltenango"**, el cual fue asesorado por el Ing. Agr. Martín Salvador Sánchez Cruz, lo que se evidencia con la nota adjunta que he revisado previamente.

Como Coordinador de la Carrera de Agronomía Tropical, hago constar que el estudiante TPA. Castañeda Cabrera, ha cumplido con lo normado, razón por la que someto a su consideración el documento adjunto, para que continúe con el trámite correspondiente para su graduación.

Sin otro particular, esperando haber cumplido satisfactoriamente con la responsabilidad inherente al caso, le reitero las muestras de mi consideración y estima.

Deferentemente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales
COORDINADOR
Carrera de Ingeniería en Agronomía Tropical
Centro Universitario de Sur Occidente
Universidad de San Carlos de Guatemala



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ
DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO

CUNSUROC/USAC-I-100-2024

DIRECCION DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE, Mazatenango,
Suchitepéquez, diez de septiembre de dos mil veinticuatro-----

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del asesor y revisor, SE AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO: "EVALUACIÓN DE TRES MÉTODOS Y CINCO PERÍODOS` DE FERMENTACIÓN DE LAS SEMILLAS DE *Theobroma cacao* L., Malvaceae, "CACAO" EN FINCA EL FARO, EL PALMAR, QUETZALTENANGO", del estudiante: Adán Castañeda Cabrera. Carné: 201443779 CUI: 2974 41272 1010 de la carrera Ingeniería en Agronomía Tropical.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

M.A. Luis Carlos Muñoz López
Director

/gris