

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE
CARRERA DE INGENIERIA EN AGRONOMIA TROPICAL



**Evaluación de tres métodos de fermentación y cuatro lechos de secado en el
beneficiado de *Theobroma cacao* L., *Malvaceae*, “Cacao”, en finca La
Providencia, San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez**

T.P.A SARA MARIA MAGDALENA PONCE MARTINEZ

CARNÉ: 201840738

CUI: 3232380681001

CORREO ELECTRONICO: Psara5504@gmail.com

ASESOR: M.SC. MARTIN SALVADOR SANCHEZ CRUZ

MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ, FEBRERO, DE 2024.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE**

AUTORIDADES

M.A. Walter Ramiro Mazariegos Biolis	Rector
Lic. Luis Fernando Cordón Lucero	Secretario General

**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO
UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE**

M.A. Luis Carlos Muñoz López	Director en Funciones
------------------------------	-----------------------

REPRESENTANTE DE PROFESORES

MSc. 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

AUTORIDADES DE COORDINACIÓN ACADÉMICA

MSc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar

Coordinador Académico

Dr. Álvaro Estuardo Gutierrez Gamboa

Coordinador Carrera Licenciatura en Administración de Empresas

M.A. Edín Aníbal Ortiz Lara

Coordinador Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

Dr. Nery Edgar Saquimux Canastuj

Coordinador de las Carreras de Pedagogía

MSc. Víctor Manuel Nájera Toledo

Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos

Dr. Mynor Raúl Oztzy Rosales

Coordinador Carrera Ingeniería Agronomía Tropical

MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes

Coordinadora Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local

MSc. Tania María Cabrera Ovalle

Coordinadora Carrera de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales
Abogacía y Notariado

Lic. José Felipe Martínez Domínguez

Coordinador de Área Social

CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA

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

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

DEDICATORIA

A DIOS: Me ha mandado a esforzarme y ser valiente, a no temer ni desmayar porque tú Jehová has estado conmigo en cada momento de mi vida. Gracias por todas las bendiciones derramadas en mi vida, sabiduría y misericordia así permitirme culminar satisfactoriamente esta etapa de mi vida.

A MI PADRE: Ing. Agr. Manuel Antonio Ponce Serrano, por todo su amor, apoyo incondicional, esfuerzos y sacrificios, por enseñarme los principios y el amor a la agricultura desde niña, así como enseñarme los valores de disciplina, obediencia, orden y responsabilidad, y ser mi compañero de vida y aventuras. Este logro es también de él.

A MI MADRE: Lic. Thamara Elizabeth Martínez García de Ponce por brindarme su amor y apoyo incondicional.

A MI HERMANOS: Ruth María, Juan Manuel Antonio y Dulce María por demostrarme el verdadero significado de hermandad, porque su fraterno amor siempre va más allá, porque este triunfo es de todos, que Dios los bendiga.

A MI ABUELITO: Osmundo Rey Ponce Rivera (Q.E. P.D), por todo su amor incondicional, paciencia, ternura y sabiduría. Por ser un pilar importante en mi vida, cuidarme y guiarme, este logro va dedicado a él.

A MI ABUELITA: María Magdalena Serrano Cifuentes (Q.E. P.D), por su legado.

AGRADECIMIENTOS

INSTITUTO TECNICO INDUSTRIAL “GEORG KERSCHENSTEINER” -

I.T.I.G.K: Por forjarme y darme la oportunidad de adquirir tus conocimientos, mi eterna gratitud.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA – U.S.A.C.: Tricentenaria Alma Mather de la educación superior en Guatemala.

FACULTAD DE AGRONOMÍA. Por formarme profesionalmente, te agradezco.

AL APRECIABLE DON FERNANDO SANDOVAL: Por permitirme realizar mi proyecto de investigación en Finca la Providencia y sus múltiples aportes realizados en esta investigación.

MI ASESOR ING. AGR. M.SC. MARTIN SALVADOR SANCHÉZ CRUZ: por brindarme sus conocimientos, el apoyo para la realización de este documento y la dedicación de tiempo para poder culminar esta etapa.

MIS EVALUADORES ING. AGR. MYNOR OTZOY, ING. AGR. ERICK ESPAÑA E ING. AGR. HECTOR POSADAS: por brindarme sus conocimientos en los cursos impartidos, los cuales fueron fundamentales para esta investigación y su apoyo para la realización de la misma.

A MI CLAUSTRO DE AGRONOMIA: los cuales me han brindado conocimientos fundamentales para mi formación como Ingeniera Agrónoma, por su apoyo y comprensión en cada etapa de la carrera.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS: Jackeline Berali Villalobos, Anderson Ordoñez, Por apoyarme incondicionalmente y brindarme momentos gratos a lo largo de la carrera.

A MI MEJOR AMIGA: Nincy Gento, por ser una excelente amiga y alentarme en cada momento.

INDICE

I.	INTRODUCCION.....	1
II.	JUSTIFICACION	3
III.	MARCO TEORICO	4
1.	Marco conceptual.....	4
1.1	<i>Theobroma cacao</i> L.....	4
1.2	Usos de <i>T. cacao</i>	9
1.3	Generalidades sobre <i>T. cacao</i>	9
1.4	Cosecha de cacao	12
1.5	Manejo postcosecha o beneficiado	14
1.6	Quebrado de la mazorca.....	14
1.7	Fermentación	15
1.8	Secado	25
1.9	Clon de <i>T. cacao</i> UF-667.....	29
1.10	Periodos para el secado de los granos.....	29
1.11	La calidad del cacao	31
1.12	Porcentaje de fermentación	33
1.13	Índice de grano	33
1.14	Defectos de los granos de cacao	34
1.15	Tiempo de fermentación y temperatura.....	34
1.16	Propiedades organolépticas	37
1.17	Experimento bifactorial con diseño completamente al azar	42
1.18	Experimento diseño completamente al azar	42
2.	MARCO REFERENCIAL	43
2.1	Lugar de la investigación	43
2.2	Zona de vida y clima	43
2.3	Altitud	43
2.4	Temperatura.....	43
2.5	Precipitación.....	43
2.6	Suelo	43

2.7	Cosecha del cacao	44
2.8	Manejo postcosecha o beneficiado	45
2.9	Investigaciones realizadas sobre el tema.....	47
IV.	OBJETIVOS.....	56
1.	Objetivo general	56
2.	Objetivos específicos	56
V.	HIPOTESIS.....	57
1.	Hipótesis Nula	57
2.	Hipótesis Alternativa	57
VI.	MATERIALES Y METODOS	58
1.	Localización del experimento	58
2.	Materiales y recursos.....	58
2.1	Recursos físicos.....	58
2.2	Recursos humanos	59
3.	Metodología	59
3.1	Evaluación del efecto de tres métodos de fermentación con relación al índice de fermentación en baba en el manejo pos cosecha de <i>T. cacao</i> . ..	59
3.2	Evaluación del efecto de cuatro lechos de secado por medio de las características del grano de <i>T. cacao</i> para su clasificación de calidad. ..	61
3.3	Determinación de la mejor combinación de método de fermentación y lecho de secado, con relación al índice de fermentación y rendimiento de mazorca/kg a la calidad de <i>T. cacao</i>	63
3.4	Realización del análisis económico para los tratamientos evaluados.	67
	Análisis económico.....	67
4.	Material experimental.....	68
4.1	Factores evaluados.....	68
4.2	Tratamientos evaluados.....	71
4.3	Número de repeticiones.....	71
4.4	Aleatorización de los tratamientos.....	72
5.	Manejo del experimento.....	72
6.	Manejo de la investigación	73

6.1	Cosecha.....	73
6.2	Quebrado de mazorcas	75
6.3	Obtención del cacao en baba	76
6.4	Proceso de fermentado.....	77
6.5	Secado	80
VII.	PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS	82
7.1	Evaluación del efecto de tres métodos de fermentación con relación al índice de fermentación en baba en el manejo pos cosecha de <i>T. cacao</i>	82
7.1.1	Porcentaje o Índice de fermentación en baba.....	82
7.2	Evaluación del efecto de los cuatro lechos de secado por medio de las características del grano de <i>T. cacao</i> para su clasificación de calidad. ..	85
7.3	Determinación de la mejor combinación de método de fermentación y lecho de secado, con relación al índice de fermentación y rendimiento de mazorca/kg a la calidad de <i>T. cacao</i>	91
7.3.1	Índice de fermentación de <i>T. cacao</i>	91
7.3.2	Rendimiento de mazorca/kg	95
7.4	Análisis económico para los tratamientos evaluados.....	98
VIII.	CONCLUSIONES	103
IX.	RECOMENDACIONES	105
X.	REFERENCIAS.....	107
XI.	ANEXOS.....	110

Índice de figuras

Figura	Página
1 Formas de frutos de <i>T. cacao</i>	6
2 Formas de los ápices de los frutos de <i>T. cacao</i>	7
3 Formas constricción basal en frutos de <i>T. cacao</i>	8
4 Rugosidad de la cáscara en frutos de <i>T. cacao</i>	8
5 Tipos de <i>T. cacao</i> A) Criollo. B) Forastero. C) Trinitario.....	10
6 Mazorca de <i>T. cacao</i> debidamente quebrada, para luego depositar los granos en un recipiente limpio.	15
7 Fermentación de <i>T. cacao</i> en cajones de madera.....	23
8 Fermentación de <i>T. cacao</i> en cajones de madera tipo escalera.	23
9 Fermentación de <i>T. cacao</i> en sacos	24
10 Secado de <i>T. cacao</i> al sol.	27
11 Almendras de <i>T. cacao</i> en seco	30
12 Área de secado de <i>T. cacao</i> , en tarimas acondicionadas.	30
13 Muestra de 100 almendras para determinación del índice de fermentación.	60
14 Muestra para determinación del índice de mazorca por kilogramo en <i>T. cacao</i>	65
15 Rendimiento de índice de mazorca en <i>T. cacao</i>	65
16 Mazorcas de <i>T. cacao</i> cosechadas.....	73
17 Tijeras de poda, empleadas para cosecha de <i>T. cacao</i>	74
18 Mazorca de <i>T. cacao</i> , madura.....	74
19 Traslado de la producción de <i>T. cacao</i> , para el beneficiado.	75
20 Quebrado de Mazorcas de <i>T. cacao</i> , con persona de la finca para la investigación. 75	
21 Pesaje de almendras en baba de <i>T. cacao</i> , para verterlo en el tratamiento indicado.	76
22 Semillas de <i>T. cacao</i> en el proceso de fermentación por el método de caja de madera.	78
23 Prueba de índice de fermentación en <i>T. cacao</i>	78
24 Semillas de <i>T. cacao</i> en el proceso de fermentación por método de sacos plásticos.	79
25 Semillas de cacao empezando el método de fermentación por caja de madera.	79

26 Semillas de <i>T. cacao</i> empezando el proceso de secado con lecho de secado en caja de madera.	80
27 Semillas de <i>T. cacao</i> empezando el proceso de secado con lecho de secado en nylon negro.....	80
28 Semillas de <i>T. cacao</i> empezando el proceso de secado con lecho de secado en lámina.	81
29 Semillas de <i>T. cacao</i> empezando el proceso de secado con lecho de secado en testigo (patio).....	81
30 Proceso de clasificación de los granos de <i>T. cacao</i> por forma evaluando sus características del lado izquierdo se observa clasificación B, los cuales son más pequeños que la calidad A, tiene un café-rojizo por dentro al igual que afuera y en el lado derecho clasificación A, los cuales son los más grandes, arriñonados, café oscuro por dentro y fuera y fácil de retirar la cascarilla.	85
31 Grano de <i>T. cacao</i> , evaluado como clasificación B, debido a su pigmento rojizo en el interior del grano, (color interno), arriñonados, y cascarilla quebradiza.	86
32 Proceso de clasificación de los granos de <i>T. cacao</i> por calidad, evaluando sus características del lado izquierdo se observa clasificación C, los cuales son pequeños y rojizos y cascarilla pegada y en el lado derecho clasificación Pasilla o rechazo. ..	86
33 Clasificación Pasilla o rechazo, (textura de cascarilla), los cuales son los granos arrugados y vanos.	87
34 Sección transversal para evaluación de las características internas.	87
35 Realización de la clasificación de los granos de <i>T. cacao</i>	110
36 Secado de <i>T. cacao</i> prueba piloto.....	110
37 Área de investigación en beneficiado de café antes de la investigación.....	111
38 Área de investigación en beneficiado de café.....	111
39 Boleta para clasificación de la calidad del grano seco de <i>T. cacao</i>	112

Índice de tablas

Tabla	página
1 Clasificación taxonómica de <i>T. cacao</i>	4
2 Tiempo de fermentación y temperatura máxima alcanzada aplicando diferentes métodos de fermentación de <i>T. cacao</i>	34
3 Características del grano de <i>T. cacao</i> que ha sido fermentado de manera correcta.	36
4 Descriptores de <i>T. cacao</i>	37
5 Características de sabor y aroma en los granos de <i>T. cacao</i> aplicando diferentes métodos de fermentación y secado.	38
6 Causas principales de sabores no deseados.	39
7 Métodos de fermentación y secado que utilizan los principales exportadores de <i>T.</i> <i>cacao</i>	40
8 Fórmulas utilizadas en el análisis económico	68
9 Factores evaluados en métodos de fermentación. (Objetivo 1).	68
10 Factores evaluados A: Métodos de fermentación y B: Medios de secado. (Objetivo 3)	68
11 Descripción de los tratamientos evaluados.....	71
12 Aleatorización de los tratamientos realizados.....	72
13 Medias de repeticiones de porcentaje o índice de fermentación.....	82
14 Datos transformados de porcentaje o índice de fermentación.	82
15 Análisis de la varianza para porcentaje o índice de fermentación.....	83
16 Prueba de Medias de Tukey al 5%, para porcentaje o índice de fermentación.	84
17 Medias de la clasificación de los 12 tratamientos.	88
18 Andeva para clasificación de la calidad de cacao.....	89
19 Prueba de Tukey al 5% para la clasificación A de los granos, de cada tratamiento.	90
20 Porcentaje de fermentación en los 12 tratamientos con los dos factores a evaluar.	91
21 Resultados de porcentaje de fermentación transformados por medio de $\sqrt{x}$	92
22 Análisis de varianza para porcentaje de fermentación con los dos factores a evaluar	93

23	Prueba de Tukey al 5% para porcentaje de fermentación con los dos factores a evaluar.	94
24	Resultados del rendimiento para cada uno de los tratamientos.	95
25	Análisis de varianza para rendimiento granos/kilogramo seco.	96
26	Prueba de medias de tukey al 5%, para rendimiento grano/kilogramos seco.	97
27	Costos fijos de los tratamientos a evaluar.	98
28	Costos variables de los tratamientos a evaluar.	99
29	Costos totales de los tratamientos a evaluar.	100
30	Análisis económico de los tratamientos a evaluar.	101
31	Porcentaje de fermentación convertidos para evaluación del mejor método de fermentación.	112
32	Clasificación del tratamiento 1 de la calidad de <i>T. cacao</i>	113
33	Clasificación del tratamiento 2 de la calidad de <i>T. cacao</i>	113
34	Clasificación del tratamiento 3 de la calidad de <i>T. cacao</i>	113
35	Clasificación del tratamiento 4 de la calidad de <i>T. cacao</i>	114
36	Clasificación del tratamiento 5 de la calidad de <i>T. cacao</i>	114
37	Clasificación del tratamiento 6 de la calidad de <i>T. cacao</i>	114
38	Clasificación del tratamiento 7 de la calidad de <i>T. cacao</i>	115
39	Clasificación del tratamiento 8 de la calidad de <i>T. cacao</i>	115
40	Clasificación del tratamiento 9 de la calidad de <i>T. cacao</i>	115
41	Clasificación del tratamiento 10 de la calidad de <i>T. cacao</i>	116
42	Clasificación del tratamiento 11 de la calidad de <i>T. cacao</i>	116
43	Clasificación del tratamiento 12 de la calidad de <i>T. cacao</i>	116
44	Datos de todos los tratamientos y repeticiones de rendimiento de grano / kilogramo seco.	117
45	Datos de todos los tratamientos y repeticiones de porcentaje de fermentaciones convertidas.	119

RESUMEN

En finca la Providencia, localizada en el municipio de San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez, se cultiva el *Theobroma cacao* L. *Malvaceae* “cacao”, utilizando los clones UF-12, UF-667 y UF-677, con el objetivo del procesamiento de su grano o almendra para la venta. El proceso de manejo postcosecha en la finca se realiza de manera tradicional, con fermentación en sacos de plástico y con 24 horas de fermentado, para luego realizar el secado en patios de concreto.

En la presente investigación se evaluaron tres métodos de fermentación (cajas de madera, sacos plásticos con cinco días de fermentación y sacos plásticos con 24 horas de fermentación (testigo) la variable de respuesta fue índice de fermentación en baba. Posteriormente se evaluaron cuatro lechos de secado (caja de madera, lámina, nylon negro y patio de concreto (testigo), con la variable de respuesta clasificación de los granos según su calidad finalmente estos dos factores se evaluaron por medio de un diseño experimental completamente al azar bifactorial, y las variables respuesta fueron el índice de fermentación y el rendimiento de mazorcas por kilogramo. Además del correspondiente análisis económico de los tratamientos.

Luego del análisis estadístico, el método de fermentación en caja de madera y la superficie de secado en caja de madera, (T3), presentaron el mejor porcentaje de fermentación, ambos con 81.20%. Valor adecuado para obtener un cacao de buena calidad. De igual manera el tratamiento el método de fermentación en caja de madera y la superficie de secado en caja de madera, (T3), presentó el mejor rendimiento de 610.6 granos/kilogramo seco.

Con relación al análisis económico, el método de fermentación en caja de madera y la superficie de secado en caja de madera, (T3), y el método de fermentación con sacos plásticos y la superficie de secado TESTIGO (patio), (T8), presentaron la mejor rentabilidad con 38.79% y una relación beneficio/costo de 1.3879, lo que significó que por cada quetzal invertido se obtienen Q 0.3879 de ganancia.

SUMMARY

On the Providencia farm, located in the municipality of San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez, *Theobroma cacao* L. Malvaceae “cacao” is grown using clones UF-12, UF-667 and UF-677, with the aim of processing its grain or almond for sale. The post-harvest handling process on the farm is carried out in a traditional way, with fermentation in plastic bags and 24 hours of fermentation, and then drying in concrete patios.

In the present investigation, three fermentation methods were evaluated (wooden boxes, plastic bags with five days of fermentation and plastic bags with 24 hours of fermentation (control). The response variable was slime fermentation index. Subsequently, four beds of fermentation were evaluated. drying (wooden box, sheet, black nylon and concrete patio (control), with the response variable classification of the grains according to their quality. Finally, these two factors are evaluated through a completely randomized bifactor experimental design, and the variables response were the fermentation index and the yield of ears per kilogram. In addition to the corresponding economic analysis of the treatments.

After the statistical analysis, the fermentation method in a wooden box and the drying surface in a wooden box, (T3), presented the best fermentation percentage, both with 81.20%. Adequate value to obtain good quality cocoa. Likewise, the treatment, the fermentation method in a wooden box and the drying surface in a wooden box, (T3), presents the best performance of 610.6 grains/kilograms dry.

In relation to the economic analysis, the fermentation method in a wooden box and the drying surface in a wooden box, (T3), and the fermentation method with plastic bags and

the WITNESS drying surface (patio), (T8), They present the best profitability with 38.79% and a benefit/cost ratio of 1.3879, which means that for each quetzal invested you obtain Q 0.3879 in profit.

I. INTRODUCCION

Finca La Providencia se encuentra localizada en el municipio de San Francisco Zapotitlán, departamento de Suchitepéquez, cuenta con un área total de 134.48 hectáreas, su cultivo principal es *Garcinia mangostana* L. *Clusiaceae* “mangostán”. El cultivo de *Theobroma cacao* L. *Malvaceae* “cacao” tiene un área de 3.48 hectáreas; los clones cultivados son UF-12, UF-667 y UF-677. La finca está ubicada geográficamente en las coordenadas 14°34'11" de latitud norte y 91°31'32" de longitud oeste; a una altura de 540 msnm. La altitud en la que se encuentra el cultivo de cacao varía desde 539 msnm a 545 msnm. (Ponce, 2023).

Para mejorar la calidad del grano de *T. cacao*, es necesario controlar la etapa de fermentación y secado de los granos. El beneficiado del grano de cacao permitirá mantener las características físicas de los granos de cacao en el proceso de fermentación y secado incrementando la calidad.

El proceso de beneficiado del *T. cacao* en la finca, se realiza sin mayor tecnificación, se utiliza como método de fermentación sacos plásticos y como lecho de secado el patio de café (como es la forma tradicional), esta puede variar de región en región y de finca en finca. Lo anterior fue identificado en el diagnóstico realizado en la finca. Esto motivó a la administración a requerir una investigación que tiene como objetivo mejorar y tecnificar el proceso de beneficiado, particularmente en obtener una combinación de fermentación y secado, para la obtención de un producto final de mejor calidad, para ser competitivos en el mercado.

La presente investigación tuvo por objetivos evaluar tres métodos de fermentación y cuatro lechos de secado en el beneficiado de *T. cacao*., bajo condiciones de la finca. Mediante un diseño experimental completamente al azar bifactorial, los tres métodos de fermentación (factor A) fueron en cajas de madera, en sacos plásticos, y sacos plásticos sin fermentar (Testigo). (Identificados como los métodos más utilizados a nivel mundial, según Peña Herrera González, (2021) y cuatro lechos de secado (factor B), siendo caja de madera, lámina, nylon negro y patio de concreto. Las variables respuesta fueron el

índice de fermentación y el rendimiento de granos por kilogramo. Mediante un análisis de varianza y prueba de medias de Tukey al 5% de significancia, se esperaba determinar la mejor combinación de los factores a evaluar, además del correspondiente análisis económico de los tratamientos.

II. JUSTIFICACION

El lecho de secado y la fermentación constituyen un factor a ser tomado en cuenta. Por tanto, la presente investigación de evaluación de métodos de fermentación y lechos de secado, como parte del manejo postcosecha del cacao, se justifica desde los siguientes puntos de vista:

Se requiere originar en la finca una cultura de beneficio que afiance el mercado de calidad.

Desde el punto de vista agronómico, implementar tecnología para mejorar el proceso post cosecha, proponer diferentes métodos de fermentación y lechos de secado mencionados anteriormente para mejorar el proceso de beneficiado, particularmente de la etapa de fermentación y secado así poder obtener un producto final de calidad. A la vez generar nueva información técnica relacionada con el proceso postcosecha del cacao.

Desde el punto de vista económico, se espera determinar el tratamiento que brinde una mejor rentabilidad y relación beneficio/costo que le permita a la finca la obtención de mejores precios, mejorando la comercialización del producto final.

Desde el punto de vista social, los resultados pueden ser utilizados para los productores pequeños cercanos a la finca, para tecnificar su beneficiado y así obtener un cacao de calidad.

III. MARCO TEORICO

1. Marco Conceptual

1.1 *Theobroma cacao* L.

Theobroma cacao L. es el nombre científico que recibe el árbol del cacao o cacaotero, nativo de regiones tropicales subtropicales de América del sur: América tropical, planta de hoja perenne de la familia *Malvaceae*. *Theobroma* significa, en griego, “alimento de los dioses”. Cacao móvil. (2022).

1.1.1 Origen del cultivo

El cacao es originario de América, se dice que específicamente en la zona del Alto Amazonas que comprende países como Colombia, Ecuador, Perú y Brasil donde se han encontrado la mayor diversidad de especies.

Fue descrita por Carlos Linneo que significa: Alimento de los dioses. En el reino vegetal se clasifica dentro de la Clase Dicotiledóneas y pertenece a la familia *Malvaceae*. Cacao móvil. (2022).

1.1.2 Taxonomía de *T. cacao*

La sistemática del *T. cacao*, según el Sistema de Clasificación APG, se presenta a continuación:

Tabla 1 Clasificación taxonómica de *T. cacao*

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Equisetopsida C. Agardh
Orden	Malvales Juss.
Género	<i>Theobroma</i> L.
Especie	<i>T. cacao</i> L.

Fuente: Trópicos v. 3.3.2 (2023).

1.1.3 Descripción botánica

El género *Theobroma* pertenece a la familia *Malvaceae* y subfamilia *Sterculioideae*, comprende 22 especies en seis secciones. 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 (mazorcas). 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 semi caducifolio 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 (con 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 siete a diez 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.

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 uno a tres cm de largo. Los sépalos son blancos o rosa claros, de cinco a ocho mm de largo y de uno punto cinco a dos mm de ancho, angostamente lanceoladas, persistentes y fusionados en la base. Los pétalos son un poco más largos que los sépalos, de seis a nueve 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 diez 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 dos punto cinco a tres mm de largo y están dispuestos frente a los pétalos; los estaminodios son violeta y seis punto cinco a siete punto cinco mm de largo. El ovario es de dos a tres 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 siete cm ancho, con 200 a 1000 gr de peso y con cinco a diez surcos longitudinales; en la figura uno se presentan las formas del fruto, en la figura dos las formas de los ápices, en la figura tres las formas de la construcción basal de los frutos y en la figura cuatro la rugosidad de la cáscara. El endocarpo es de cuatro a ocho mm de grosor, duro, carnoso, y leñoso. Las semillas son café-rojizas, ovadas, ligeramente comprimidas. Con medidas de 20, 30 y hasta 50 mm de largo, 12 a 16 mm de ancho y siete a 12 mm de grosor. (IICA, 2017).

El sistema radicular se compone de una raíz principal pivotante y muchas secundarias, las cuales se encuentran en los primeros 30 cm de suelo. (ANACAFE, 2004)

Los frutos de *T. cacao*, se clasifican de diferentes formas, una de estas es según su forma las cuales están presentadas en la siguiente figura, donde se puede observar el cundeamor, el criollo, el calabacillo, angoleta y amelonado, los cuales varían según su clon y grupo al cual pertenecen.

Se puede observar, las diferentes formas del fruto como se menciona anteriormente cada una.



Figura 1 Formas de frutos de *T. cacao*

Fuente: IICA (2017).

La clasificación anterior en la figura 1, es por la forma de los frutos, en la primera imagen se observa el cundeamor el cual es con un ápice alargado y tiene constricción superficie verrugosa, seguido del criollo, que se distingue por sus frutos alargados y hay: "Criollo legítimo" (la mejor calidad) de cáscara rojo-oscuro. "Criollo amarillo" de cáscara amarilla, y "Criollo mestizo" de cáscara amarillo y rojo, abajo el calabacilla, el cual el fruto es pequeño y redondo y su superficie lisa, seguido del angoleta que posee rugosidad verrugosa y por último el amelonado el cual se distingue por mazorcas de forma ovalada y de cáscara dura y lisa.

También se clasifican según los ápices del fruto, presentadas en la figura 2, y su construcción basal (figura 3), las cuales son características externas del fruto de *T. cacao*.

En la siguiente figura se muestra la clasificación de los frutos de *T. cacao*, por la forma de su ápice. Los cuales son seis: redondeado, caudado, obtuso, dentado, agudo y mamilado.



Figura 2 Formas de los ápices de los frutos de *T. cacao*

Fuente: IICA (2017).

Se muestra de primero el ápice redondeado, el cual por su nombre es redondo y sin punta, el caudado el cual tiene una base ancha pero su ápice es puntiagudo, seguido del obtuso el cual tiene forma triangular, el dentado el cual tiene un pequeño diente simulado, el agudo el cual tiene una punta sutil, y el mamilado que tiene el ápice más definido en forma de punta.

En la siguiente figura, se muestra las diferentes constricciones basales del fruto de *T. cacao*:



Figura 3 Formas constricción basal en frutos de *T. cacao*

Fuente: IICA (2017).

Se muestra la construcción basal, en la primera imagen se tiene de referencia que es ausente ya que no es pronunciada, en la segunda es más suave, luego la intermedia ya se logra observar las líneas pronunciadas y más rugosidad y en la fuerte la rugosidad es visible al igual que las líneas.

La rugosidad, también es una característica para la clasificación de los frutos en *T. cacao*, a continuación:



Figura 4 Rugosidad de la cáscara en frutos de *T. cacao*

Fuente: IICA (2017).

Se observa cómo va la escala de rugosidad desde ausente hasta áspera y sus principales características visuales.

1.2 Usos de *T. cacao*

El cacao es utilizado tanto por la industria farmacéutica como por la de alimentos. La primera extrae la theobromina para elaborar preparados comerciales diuréticos y estimulantes del sistema nervioso; también extrae la manteca de cacao de las semillas (parte grasa) para su aplicación en pomadas o supositorios. Las semillas, desecadas, y molidas constituyen el polvo de cacao, base del chocolate. Los granos, una vez molidos, tostados y desengrasados, se mezclan con leche y azúcar constituyendo el producto básico en la fabricación de chocolate. (ANACAFE, 2004)

Indica (PROCOMER, BID, s/f) que el cacao es una planta de gran valor, pues es el insumo principal de una inmensa gama de productos industriales que mueven la economía de muchos países. Tanto la industria alimenticia, como la cosmética y farmacéutica, explotan además de los granos, la manteca, el licor y el polvo de cacao en una gran variedad de productos de diferentes categorías.

El comercio y la industria diferencian las variedades de cacao según su calidad entre “cacao convencional” y “cacao fino de aroma”, que incluyen los finos exclusivos o conocidos como Premium. A pesar de que todos los cacaos tienen la habilidad de desarrollar aromas durante el tostado, por los componentes que poseen en sus cotiledones, los aromas finos son determinados por el genotipo. Estas variedades especiales, además de contar con aromas normales a cacao, se distinguen por tener componentes de aromas particulares que se expresan durante el procesamiento, lo que se conoce como especificidad aromática.

De acuerdo con la Organización Internacional de Cacao (ICCO), a pesar de existir en los mercados, una creciente demanda por los cacaos finos y de aroma, este corresponde únicamente al 5% del cacao producido a nivel mundial.

1.3 Generalidades sobre *T. cacao*

Según (IICA, 2017), el cacao se cultiva en regiones cálidas y húmedas en más de 50 países ubicados en cuatro continentes (África, América, Asia y Oceanía); 23 de esos países son de América y en ellos se produce cacao con fines comerciales, lo que

convierte el cacao en un cultivo de gran importancia económica, social, ambiental y, particularmente, cultural para los territorios en donde se produce.

La actividad cacaotera tiene impacto importante en los principales países productores, ya que representa el modo de vida de más de 150,000 agricultores y genera alrededor de 1,500,000 empleos directos en las etapas de producción, procesamiento y comercialización. La producción de cacao en América abarca una superficie superior a 1, 700,000 hectáreas y genera flujos comerciales superiores a los 900 millones de dólares de exportaciones anuales.

Es un cultivo tropical que se desarrolla en las latitudes comprendidas entre los 10°N y 10°S del ecuador. Está ampliamente extendido en África, Asia, Oceanía y América en plantaciones destinadas a producir esencialmente sus granos o almendras y que son utilizadas principalmente para la producción de chocolates y grasas por industrias alimentarias o cosmetológicas.

El sistema tradicional de clasificación que aún se emplea 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: son los denominados criollos, forasteros y trinitarios.

En la figura, se presentan fotografías de ésta clasificación.



Figura 5 Tipos de *T. cacao* A) Criollo. B) Forastero. C) Trinitario.

Fuente: IICA (2017).

En la figura, se encontraron los tres principales grupos de cacao según su ubicación los criollos los cuales son nativos, los forasteros los cuales son extranjeros y el trinitario el cual es un cruzamiento de criollo y forastero.

Los cacaos “criollos” tienen su origen en el norte de Sudamérica y Centro América. Se caracterizan por poseer un sabor suave y aromático, se encuentran principalmente en Venezuela, América Central, Nueva Guinea, Las Antillas del Caribe, Sri Lanka, Timor Oriental y Java. Dominaron el mercado internacional hasta mediados del siglo XVIII. 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 frutos alargados de punta pronunciada, doblada y aguda. La superficie de estos frutos es generalmente rugosa, delgada, de color verde con manchas en forma de salpicaduras que van desde los colores rojos a la púrpura oscura. Los frutos están marcados por unos diez 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.

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.

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.

También existen otras especies del género *Theobroma* con utilidad práctica en aspectos alimentarios, medicinales y cosméticos que, a pesar de que son poco explotados, tienen un alto potencial de desarrollo, como el *Theobroma grandiflorum*, de nombre común copoazú, copuazú o cacao blanco; o el *Theobroma bicolor*, denominado como pataxte, mocambo o balamte, entre otros.

1.4 Cosecha de cacao

Según el Manual técnico del cultivo de cacao del IICA (2017), los frutos o vainas (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)

Indica IICA (2017), que es importante no cosechar frutos inmaduros, pues los granos provenientes de las vainas 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.

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.

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 tratos 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.

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 deben separar los frutos según estado de madurez y tamaño, las mazorcas enfermas o dañadas no se cosechan junto con los frutos sanos.

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 La Providencia, para la cosecha no tienen definidas las 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 2018. 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.(Ponce, 2023).

1.5 Manejo postcosecha 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.

Garantizar un buen manejo de procesos de fermentación, secado y almacenamiento de cacaos 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)

1.6 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 se muestran la forma adecuada del quebrado de la mazorca.



Figura 6 Mazorca de *T. cacao* debidamente quebrada, para luego depositar los granos en un recipiente limpio.

Fuente: IICA (2017).

El quebrado se puede hacer con piedra, cuchillas o trozos de madera.

1.7 Fermentación

Es el proceso por medio del cual se da la calidad propia del cacao para hacer chocolate; se limpian las semillas, se mata el embrión y se da buena presentación a las almendras. 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 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; 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 liberarlos 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.

1.7.1 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 vainas. 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)

Esta 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).

1.7.2 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:

- 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 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 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. (PROCOMER, BID, s/f)

1.7.3 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 forma lineal, (sencilla, doble o triple) 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 (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. Fermentación en cajones de madera

Consiste en fermentar los granos de cacao fresco en cajas construidas de madera dulce, las cuales pueden ser colocadas en forma de escalera o bloques (Moreira, 2016). 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 (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 siete y ocho). 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. 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)

En la siguiente figura, se observa un tipo de fermentado en madera, el cual es cajón sin escalones, este corresponde a una estructura desarmable de cajón en madera. Consta de secciones separadas por tablas deslizables que permitirán realizar el traslado del grano de cacao de un espacio a otro. Son el método más utilizado para la fermentación del cacao.



Figura 7 Fermentación de *T. cacao* en cajones de madera.

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

Se presenta otro método de fermentación en madera, el cual es en escalones, este método es más fácil de utilizar, ya que tiene tres niveles en los cuales se vierten el cacao, siendo así más fácil de remover.



Figura 8 Fermentación de *T. cacao* en cajones de madera tipo escalera.

Fuente: Cacao móvil (2022).

Se observa como están colocados los tres cajones sencillos en forma de escalera con soportes fuertes de madera. Cada uno de los cajones tiene las mismas medidas que el cajón sencillo. Cuando se tienen listo los granos, se depositan en el cajón de arriba. Para voltear los granos simplemente se pasan al cajón de en medio y se concluye el volteo pasando los granos al cajón de abajo, siendo este el método más utilizado.

b. Fermentación en sacos

Consiste en colocar los granos de cacao fresco en sacos de yute, tapándolos con una lona y dejándolos fermentar por cinco o seis días (figura nueve). No hay un límite de capacidad y dimensiones Nogales (2017), citado por Peñaherrera (2021).

Este método debe 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 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)

A continuación se observa el método de fermentación en sacos plásticos:



Figura 9 Fermentación de *T. cacao* en sacos

Fuente: Teneda Llerena (2016).

Se observa la fermentación en sacos plásticos, a la intemperie esto no es recomendado, ya que factores externos podrían contaminar y afectar la fermentación como; insectos, gusanos, entre otros.

1.8 Secado

El secado del cacao es el proceso durante el cual se consigue pasar de almendras con un 55 % de humedad a 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)

1.8.1 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 (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%.

1.8.2 Métodos tradicionales de secado

a. 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 (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 fruta. 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 10), pero nunca se debe secar sobre calaminas 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 cada cierto tiempo con rastrillos de madera. (IICA, 2017).

A continuación se puede apreciar un método de secado, en cual es en el patio, directamente al sol, el cual es el más utilizado en esta industria.

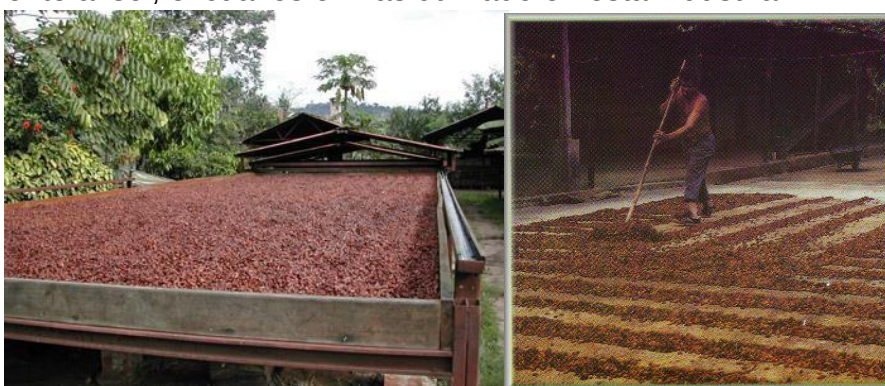


Figura 10 Secado de *T. cacao* al sol.

Fuente: ANACAFE (2004).

El patio de cemento es el método más común para secado del cacao, El volteo del cacao se hace uso de rastrillos o paletas de madera, como se observó en la figura anterior.

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)

b. Método Rohan

Consiste en colocar y extender los granos de cacao fermentados encamillas 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, la madera debe estar libre de olores, sabores y colores que se absorban en el cacao. La temperatura no debe superar los 50°C. Aguilar (2015), citado por Peñaherrera (2021).

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 (2021). Los patios de secado para el cacao no deben emplearse para secar otros productos de olores fuertes como el coco, pescados etc.

1.9 Clon de *T. cacao* UF-667

1.9.1 Características del fruto

Largo: 24.15 cm, Diámetro: 7.90 cm, Peso: 885.48 gr, Color: Rojo Forma: Angoleta C. basal: Bien Marcada Ápice: Puntigudo Rugosidad: Media Cantidad de semilla: 34.80 Índice: 20.83

1.9.2 Características de la semilla

Largo: 2.36 cm, Ancho: 1.23 cm, Grueso: 0.96 cm, Peso Húmedo gr: 2.99 Peso seco gr: 1.57 Forma: Ovada Color: Purpura/veteado % Testa: 8.16 % Mucilago: 46.86% Características Agronómicas Rendimiento Kg/Ha/año: 1,063.08 Compatibilidad: Auto compatible Respuesta a enfermedades *Moniliophthora roreri*: Tolerante

1.10 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 11) es importante considerar las variables como la humedad y 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. Una buena referencia es la figura 11. (IICA, 2017)

En la siguiente figura, se observa el grano de *T. cacao*, ya seco listo para comercializarlo.



Figura 11 Almendras de *T. cacao* en seco

Fuente: IICA (2017).

Se ve que el cacao está bien fermentado y seco ya que es de color externo café oscuro, marrón y aún carmelita. Al presionarlo con los dedos suena, por estar suficientemente seco. La cascarilla o cutícula se desprende fácilmente y es quebradiza. Tiene un sabor medianamente amargo y es agradable al paladar.

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. Es necesario que siempre se limpie la pista de secamiento, con el fin de eliminar las impurezas que quedan en cada lote. (IICA, 2017)

Seguidamente, se observa un método de secado, el cual consta de tarimas, techadas con nylon esto para crear condiciones homogéneas, y lograr un mejor secado



Figura 12 Área de secado de *T. cacao*, en tarimas acondicionadas.

Fuente: IICA (2017).

Se observó que las bandejas tienen un sedado, por debajo el cual permite que la cascarilla desprendida o los granos vanos caigan y solo se quede el cacao de buen tamaño.

1.11 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, entre otros.
- **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.

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 pos cosecha); 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)

1.12 Porcentaje de fermentación

Relief (2017) citado por Peñaherrera (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 (2021). Si se tiene un bajo porcentaje de fermentación quiere decir que no alcanzó la temperatura adecuada en la masa fermentable debido a las condiciones en que se llevó el ensayo.

1.13 Índice de grano

Al momento de realizar un eficiente manejo postcosecha 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 (2021)). La variable de índice de grano con valores experimentales obtenidos de cada tipo de fermentación y de diferentes autores, se encuentran en un rango de 1.21 y 1.36 g, sobresaliendo la fermentación en montón. Al respecto Sánchez, 2015, citado por Peñaherrera (2021) señala que se considera aceptable un índice de grano mayor a 1.00 g, considerado admisible desde el punto filogenético e industrial. Peñaherrera (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 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)

1.14 Defectos de los granos de cacao

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 (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 (2021).

1.15 Tiempo de fermentación y temperatura

Se presentan los parámetros como tiempo de fermentación en horas y temperatura máxima, los cuales indican un buen fermentado en los diferentes métodos.

Tabla 2 Tiempo de fermentación y temperatura máxima alcanzada aplicando diferentes métodos de fermentación de *T. cacao*.

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 (2021).

Nota: En esta tabla se presentan los resultados experimentales del tiempo de fermentación y la temperatura máxima alcanzada en la masa de cacao fermentable, obtenidos por varios autores aplicando diferentes métodos de fermentación.

El tiempo de fermentación del cacao y la temperatura se ven influenciados por diversos factores, entre ellos el tipo de fermentación; 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 (2021).

Por otro lado, la fermentación en fermentadores de aluminio, acero inoxidable y plástico tardan 144 horas en finalizar el proceso de fermentación, alcanzando 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 (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.

En la siguiente tabla presentada, se observa algunas de las características que sirven de parámetros para un buen fermentado:

Tabla 3 Características del grano de *T. cacao* que ha sido fermentado de manera correcta.

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,		Muy amargo

	agradable	Amargo	
--	-----------	--------	--

Fuente: Peñaherrera (2021).

Es importante mencionar que existen otros parámetros.

1.16 Propiedades organolépticas

Se evaluó los aspectos organolépticos de los granos de cacao secos y algunos derivados aplicando diferentes métodos de fermentación y secado, como se observa en las tres tablas siguientes:

En esta se encuentran los parámetros.

Tabla 4 Descriptores de *T. cacao*

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

Fuente: Peñaherrera (2021).

Según las propiedades antes observadas se puede clasificar el cacao.

En la siguiente tabla se puede observar las propiedades organolépticas del cacao aplicando diferentes métodos de fermentación y secado:

Tabla 5 Características de sabor y aroma en los granos de *T. cacao* 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 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 (2021)

Se observó que el mejor método de fermentación según las características, es en cajas de madera ya que posee mejor aroma y sabor.

En la siguiente tabla se observa algunas características no deseadas en los granos de cacao y las causas probables. Estas características son no deseadas debido a que dañan el sabor, olor y apariencia del cacao, por tanto disminuye la calidad.

Tabla 6 Causas principales de sabores no deseados.

Sabor	Causa
Moho	Fermentación prolongada Secado lento o inadecuado Almacenamiento bajo condiciones muy húmedas Los granos germinados y los granos dañados tienen tendencia a hacerse mohosos.
Ahumado	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	Fermentación en caja profunda. Remoción inapropiada. Secado demasiado rápido.
Amargo y astringencia excesiva	Materiales de siembra que aumentan la concentración de poli fenoles. Fermentación incompleta.

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

En la tabla anterior, se mostró las características no deseables en los granos de cacao y sus posibles causas, las cuales se deben de minimizar en un cacao de calidad.

En esta tabla, se observan los diferentes métodos de secados utilizados en los diferentes países exportadores de cacao, siendo el más común el piso de concreto.

Tabla 7 Métodos de fermentación y secado que utilizan los principales exportadores de *T. cacao*

País	Producción (toneladas)	Método de fermentación	Método de secado
Costa Marfil	1,448,992	En cajas de madera y bandejas tipo Rohan, durante cinco a siete días.	Natural en piso de cemento o plástico por cinco 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 un día y un día más se expone al sol; posterior se inicia la fermentación por cuatro días en cajas de madera o en los mismos sacos de yute.	Natural en bandejas tipo Rohan, piso de cemento o plástico por cinco días.
Indonesia	777,500	En sacos de yute o tinas entre cinco a siete días.	Natural en piso de cemento o plástico entre cinco a siete días y artificial un día.
Nigeria	367,000	Fermentadores de madera ya sean cajas o bandejas por seis días.	Natural en lonas de plástico entre cuatro a seis días.
Camerún	275,000	En canastas de fibra recubiertas con plástico u hojas de plátano.	Natural en piso de cemento o plástico por seis días.
Brasil	275,000	En cajas de madera tipo escalera o cuadradas.	Natural en cajas de madera, camas, tarimas, patios y marquesina o túneles.

			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 (2021).

En la tabla anterior se encuentran los métodos de secado, en el cual el más común es en piso de concreto.

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

1.17 Experimento bifactorial con diseño completamente al azar

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. (Statologos, 2022)

1.18 Experimento diseño completamente al azar

La característica esencial es que todas las posibles fuentes de variación o de influencia están controladas y sólo hay efecto del factor en estudio, El diseño completamente al azar es una prueba basada en el análisis de varianza, en donde la varianza total se descompone en la “varianza de los tratamientos” y la “varianza del error”. (Statologos, 2022)

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Lugar de la investigación

La investigación se realizó en finca La Providencia, municipio de San Francisco Zapotitlán, departamentode Suchitepéquez. La cual está ubicada geográficamente en las coordenadas 14.5806852 latitud Norte y -91.5206975 longitud Oeste.

2.2 Zona de vida y clima

Según el sistema de zona de vida de Holdridge (1,982) La Providencia se encuentra en un bosque muy húmedo pre montano tropical

2.3 Altitud

La finca se encuentra a una altura de 540 msnm

2.4 Temperatura

La temperatura máxima es de 35° C. y la mínima es 17° C. con una media de 26°C.

2.5 Precipitación

La precipitación en la finca La Providencia es de 5,465 mm/año, con una media de 455.42 mm/mes.

2.6 Suelo

Los suelos de la Finca la Providencia pertenece a la serie Chócola, son suelos Andosoles, de característica obscura formados material volcánico vítrico y aluvial, sobre material parental, con alto contenido de materia orgánica, además son suelos permeables con buena estructura, tienen una fertilidad considerable y mantienen un horizonte de hasta 1 m de profundidad, con una baja pendiente al sur del pacifico de la República de Guatemala.

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)

2.7 Cosecha del cacao

Según el Manual técnico del cultivo de cacao del IICA (2017), los frutos o vainas (pochas, 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.

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)

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.

En finca La Providencia, para la cosecha no tienen definido épocas de su realización, cosechando durante todo el año, en función de la maduración de los frutos, observado 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 eran desinfectadas hasta el momento de la investigación. (Ponce, 2023).

2.8 Manejo postcosecha o beneficiado

2.8.1 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. En finca La Providencia el quebrado de la misma se realiza con un tronco de madera firme o ya sea con navaja afilada. (Ponce, 2023).

2.8.2 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. (Arevalo Sánchez, González León, Maroto Arce, Delgado López, & Montoya López, 2017)

En finca La Providencia, el proceso de fermentación de los granos de cacao, lo realizan en botes o sacos plásticos, introducen los granos obtenidos en los sacos plásticos. El ciclo de fermentación empleado es de menos de 24 horas. (Ponce, 2023).

2.8.3 Secado

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. (Arevalo Sánchez, González León, Maroto Arce, Delgado López, & Montoya López, 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. (Arevalo Sánchez, González León, Maroto Arce, Delgado López, & Montoya López, 2017)

En finca La Providencia, el proceso de secado de los granos de cacao lo realizan en los patios de secado del café, durante un ciclo de siete a ocho días. (Ponce, 2023).

2.9 Investigaciones realizadas sobre el tema

2.9.1 Estudio de métodos de fermentación y secado del cacao

Peñaherrera (2021), de la Universidad Central del Ecuador, 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*, 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 que se obtuvieron de la investigación es que 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 analizado los estudios desarrollados por varios autores se concluye que la combinación más eficiente consiste 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 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 acero inoxidable o 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 seis a siete%, en todos los métodos de fermentación estudiados por varios autores se obtiene una humedad entre un rango de seis punto veinte y siete punto cincuenta y ocho %.

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 cinco punto veintidós, 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 dependerán 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.

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

Buelvas Salgado (2016), en Colombia, se realizó una 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)

2.9.3 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 (2016), de la Universidad de El Salvador, 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 *T. cacao*, aplicando un diseño factorial con 3 bloques, con ocho tratamientos y tres repeticiones cada uno. 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, *et al*, 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 concluyeron 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, *et al*, 2016)

2.9.4 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 (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 dos días, por el guardián de la finca o por un operario de campo designado. El proceso de fermentación dura entre seis o siete 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 dos días, pero por no llevar un control sobre el proceso de fermentación y por falta de comunicación de las personas designadas para realizar volteos, a veces se realizan los volteos 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 cuatro hasta seis 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. 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 (2014)

2.9.5 Perfiles de fermentación para contribuir con el mejoramiento de la calidad del cacao *T. cacao* de la eco región de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz.

Ruiz Cruz & Ac Pangan, (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 eco región de Lachuá, en Cobán, Alta Verapaz.

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 presento diferencias estadísticas, el promedio de terreno destinado para la producción de cacao por productor en la eco región 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% inició 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, piña 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 tres, cinco, siete y ocho 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 (cinco, ocho 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 cinco y ocho quintales mostraron incremento y disminución en la temperatura, con valores entre 46.65°C y 48.63°C.

De las revisiones de literatura anteriormente consultadas se determinó que el método de fermentación más utilizado son los cajones de madera escalonados o cajones de madera de alguna manera específica para aportar calidad y aromas al cacao, también se 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.

IV. OBJETIVOS

1. Objetivo general

Evaluar tres métodos de fermentación y cuatro lechos de secado en el beneficiado de *T. cacao*, bajo condiciones de la finca La Providencia, San Francisco, Zapotitlán, Suchitepéquez.

2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de tres métodos de fermentación con relación al índice de fermentación en baba en el manejo post cosecha de *T. cacao*.
- Evaluar el efecto de cuatro lechos de secado por medio de las características del grano de *T. cacao* para su clasificación de calidad.
- Determinar la mejor combinación de método de fermentación y lecho de secado, con relación al índice de fermentación y rendimiento de mazorca/kg a la calidad de *T. cacao*.
- Realizar el análisis económico para los tratamientos evaluados.

V. HIPOTESIS

1. Hipótesis Nula

Ho₁: Los tres métodos de fermentación evaluados producirán el mismo efecto en las variables respuesta, en relación al índice de fermentación, en el manejo pos cosecha de *T. cacao*, bajo condiciones de la finca La Providencia, San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez.

Ho₂: Los cuatro lechos de secado evaluados, producirán el mismo efecto en las características de los granos, en relación a su calidad, en el manejo pos cosecha de *T. cacao*, bajo condiciones de la finca La Providencia, San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez.

Ho₃: No existe interacción entre los métodos de fermentación y lechos de secado, en relación al índice de fermentación y al rendimiento de mazorca/kg, en el manejo pos cosecha de *T. cacao*, bajo condiciones de la finca La Providencia, San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez.

2. Hipótesis Alternativa

Ha₁: Al menos un método de fermentación evaluados producirán un efecto diferente en las variables respuesta, en relación al índice de fermentación, en el manejo pos cosecha de *T. cacao* L., bajo condiciones de la finca La Providencia, San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez.

Ha₂: Al menos un lecho de secado evaluado, producirá diferente efecto en las características de los granos, en relación a su calidad, en el manejo pos cosecha de *T. cacao*, bajo condiciones de la finca La Providencia, San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez.

Ha₃: Habrá una interacción entre los métodos de fermentación y lechos de secado, en relación al índice de fermentación y al rendimiento de mazorca/kg, en el manejo pos cosecha de *T. cacao*, bajo condiciones de la finca La Providencia, San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez.

VI. MATERIALES Y METODOS

1. Localización del experimento

La investigación se realizó en finca La Providencia, localizada en el municipio de San Francisco Zapotitlán de Suchitepéquez.

El área de localización de la investigación, fue en el beneficio de café, específicamente en el área de lavado, donde se colocó la caja de fermentación de madera y los sacos de plástico, que se utilizaron para el 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 pérdidas de temperatura).

2. Materiales y Recursos

2.1 Recursos Físicos

- ✓ 01 caja de fermentación de madera. 1*0.50*0.50
- ✓ 06 sacos plásticos
- ✓ 300 kilogramos de granos en baba.
- ✓ 02 paletas de madera para el volteo de la masa.
- ✓ 01 tronco despachador.
- ✓ 03 cubetas de plástico para la recolección de los granos en baba.
- ✓ 01 cuchilla.
- ✓ 5 pares de guantes.
- ✓ Hojas de plátano.
- ✓ Termómetro digital (escala mínima de 0 a 60 °C).
- ✓ Balanza electrónica.
- ✓ Tijeras de podar.
- ✓ Libreta de campo.
- ✓ 5 yardas de nylon negro.
- ✓ 02 láminas metálicas.
- ✓ Patio de secado.

2.2 Recursos Humanos

- ✓ 05 jornales.
- ✓ Practicante de EPS.

3. Metodología

A continuación se presentan las metodologías utilizadas, redactado por objetivo específico.

3.1 Evaluación del efecto de tres métodos de fermentación con relación al índice de fermentación en baba en el manejo pos cosecha de *T. cacao*.

Para alcanzar el objetivo específico número uno referente a evaluar el efecto de tres métodos de fermentación con relación al índice de fermentación en baba en el manejo pos cosecha de *T. cacao*, se procedió de la siguiente manera.

3.1.1 Descripción

Este objetivo tiene como meta evaluar los tres métodos de fermentación con relación al índice de fermentación, en baba, para lo cual se utilizaron cajas de madera, sacos plásticos con 5 días de fermentación y sacos plásticos con 24 horas de fermentación, se realizaron 5 repeticiones en todo el experimento, para cada repetición se utilizaron 20 kg de cacao en baba, siendo un total de 100 kg en toda la investigación.

3.1.2 Variable

- ✓ **Porcentaje o índice de fermentación en baba**

Concluida la fermentación de cada tratamiento, se tomaron 100 almendras aleatoriamente (figura 13) y se cortaron longitudinalmente con una cuchilla bien afilada. De ese total, 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, color púrpura o violeta, alvéolos bien definidos (forma arriñonada internamente en la almendra), Para el cacao de buena calidad, el porcentaje de granos fermentados en la muestra debe de ser mayor del 80 %.



Figura 13 Muestra de 100 almendras para determinación del índice de fermentación.

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

% Fermentación =

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

Para evaluar el efecto entre los métodos de fermentación, con relación a la variable respuesta evaluada (índice de fermentación), los datos se analizaron con el programa InfoStat para realizar el análisis de varianza (ANDEVA). Hay significancia en la variable respuesta, se realizó una Prueba de Medias por Tukey al 5 % de significancia.

Los datos fueron transformados por medio de la siguiente fórmula: $\sqrt{x}$

3.1.3 Análisis de la variable Diseño experimental

Diseño completamente al azar (un factor)

Para evaluar el efecto de tres métodos de fermentación con relación al índice de fermentación en baba en el manejo pos cosecha de *T. cacao*, se utilizará un diseño completamente al azar, ya que solo se tratará de un factor, todas las posibles fuentes de variación o de influencia están controladas y sólo hay efecto del factor en estudio.

Modelo estadístico

Diseño completamente al azar (un factor)

El modelo lineal de un diseño completamente al azar está dado por

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij}$$

Para $i = 1, 2, \dots, t$ $j = 1, 2, \dots, n_i$

Donde

y_{ij} = Observación correspondiente a la j -ésima unidad experimental que recibió el i -ésimo tratamiento

μ = Media general.

α_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

e_{ij} = Error aleatorio.

3.2 Evaluación del efecto de cuatro lechos de secado por medio de las características del grano de *T. cacao* para su clasificación de calidad.

Referente al objetivo específico número dos que era evaluar el efecto de cuatro lechos de secado por medio de las características del grano de *T. cacao* para su clasificación de calidad, se procedió de la siguiente manera:

3.2.1 Descripción

Para la evaluación de este objetivo que tiene como meta evaluar los lechos de secado por medio de las características del grano, se utilizaron 100 granos de cacao por tratamiento, los cuales se tomaron de los cuatro lechos diferentes de secado, esto repitiéndolo 5 veces, las cuales fueron las repeticiones para toda la investigación, luego

de esto se procedió a clasificar los granos por medio de una boleta, la clasificación de estos son: Clase A, B, C y Rechazo. Esto con el fin de determinar que lecho de secado produce granos de mejor calidad.

3.2.2 Variables

✓ Características del Grano seco de *T. cacao*

Para evaluar las características de *T. cacao*, de los granos ya secos se utilizaron métodos como el tacto y visuales, se procedió a sacar 100 almendras de cada unidad experimental, luego de las 100 almendras, se clasificaron con una boleta ver figura 39, habiendo tres tipos de clasificación A, B, C y rechazo (pasilla), esto según características tales como en la figura 39.

Para evaluar los lechos de secado, con relación a la variable respuesta granos de calidad A, los datos se analizaron con el programa InfoStat para realizar el análisis de varianza (ANDEVA). Los resultados mostraron que hay significancia en la variable respuesta, se realizó una Prueba de Medias por Tukey al 5 % de significancia.

Los datos fueron transformados por medio de la siguiente fórmula: $\sqrt{x}$

3.2.3 Análisis de las variables o variable.

Diseño experimental

Diseño completamente al azar (un factor)

Para evaluar el efecto de tres métodos de fermentación con relación al índice de fermentación en baba en el manejo pos cosecha de *T. cacao*, se utilizará un diseño completamente al azar, ya que solo se tratará de un factor, todas las posibles fuentes de variación o de influencia están controladas y sólo hay efecto del factor en estudio.

Diseño completamente al azar (un factor)

El modelo lineal de un diseño completamente al azar está dado por

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij}$$

Para $i = 1, 2, \dots, t$ $j = 1, 2, \dots, n_i$

Donde

y_{ij} = Observación correspondiente a la j -ésima unidad experimental que recibió el i -ésimo tratamiento

p = Media general.

X_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

e_{ij} = Error aleatorio.

3.3 Determinación de la mejor combinación de método de fermentación y lecho de secado, con relación al índice de fermentación y rendimiento de mazorca/kg a la calidad de *T. cacao*.

Referente al objetivo específico número tres que era determinar la mejor combinación de método de fermentación y lecho de secado, con relación al índice de fermentación y rendimiento de mazorca/kg a la calidad de *T. cacao*, se procedió de la siguiente manera.

3.3.1 Descripción

Este objetivo específico tiene como meta determinar la mejor combinación de método de fermentación y lecho de secado, para esto se utilizó 5 kg para cada tratamiento, los tratamientos fueron 12 debido a las diferentes combinaciones, en la investigación se utilizaron 5 repeticiones, que en total formaron 60 kg por cada repetición, siendo 20 kg para cada método de fermentación, para este objetivo hubo dos factores los cuales fueron: A: Método de fermentación y B: Lecho de secado.

3.3.2 Variables

✓ Porcentaje o índice de fermentación en seco

Concluida la fermentación de cada tratamiento, se tomaron 100 almendras aleatoriamente 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, no es plano y no debe ser color púrpura o violeta, alvéolos bien definidos (forma arriñonada internamente en la almendra), Para el cacao de buena calidad, el porcentaje de granos fermentados en la muestra debe de ser mayor del 80 %.

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

% Fermentación =

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

Para evaluar el efecto entre los métodos de fermentación, con relación a la variable respuesta evaluada (índice de fermentación), los datos se analizaron con el programa InfoStat para realizar el análisis de varianza (ANDEVA). Los resultados mostraron que hay significancia en la variable respuesta, se realizó una Prueba de Medias por Tukey al 5 % de significancia.

Los datos fueron transformados por medio de la siguiente fórmula: $\sqrt{x}$

✓ Índice de mazorca por kilogramo

El índice de mazorca es el número granos necesarias para obtener un kg de cacao seco.

Tomando como referencia los 5 kg de almendras en baba, se procedió a culminar el proceso de secado de esa cantidad de almendras en baba obtenidas de la fermentación, luego ya seco se procedió a contar los granos que se necesitan para obtener un kilogramo de cacao seco.

Se observa, como se clasificaron los granos y el conteo para determinar el rendimiento de granos por kilogramo seco.



Figura 14 Muestra para determinación del índice de mazorca por kilogramo en *T. cacao*.

Se pesaron los granos hasta que pesara un kilo, luego se procedió a contar cuantos granos habían ,así para los 12 tratamientos, 5 repeticiones.

En la siguiente figura, se observa cómo fueron pesados los granos de cacao, hasta que diera un kilo.



Figura 15 Rendimiento de índice de mazorca en *T. cacao*.

Para evaluar el efecto entre los métodos de fermentación y secado, con relación a la variable respuesta evaluada (índice de fermentación), los datos se analizaron con el programa InfoStat para realizar el análisis de varianza (ANDEVA). Los resultados mostraron que hay significancia en la variable respuesta, se realizó una Prueba de Medias por Tukey al 5 % de significancia.

Los datos fueron transformados por medio de la siguiente fórmula: $\sqrt{x}$

Incidencia de la temperatura en el proceso de fermentación del cacao

El tiempo de fermentación del cacao y la temperatura se ven influenciados por diversos factores, entre ellos, la fermentación en cajas de madera, tardan 120 horas (cinco días) en dar por terminado el proceso de fermentación, llegando a temperaturas máximas en un rango de 39. °C a 40 °C. Al ser la temperatura uno de los factores que determinan la calidad en el proceso de fermentación, ya que es donde las propiedades organolépticas se presentan además de matar el embrión, se registraron los datos de temperatura para todos los tratamientos, a los cinco días de fermentados.

3.3.3 Análisis de las variables o variable.

Diseño completamente al azar Bifactorial

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.

Se utilizó un Diseño completamente al azar Bifactorial, porque los factores evaluados (métodos de fermentación y lechos de secado) no permiten ninguna gradiente de variabilidad, por lo tanto, las unidades experimentales fueron homogéneas.

Modelo estadístico

Diseño completamente al azar (un factor)

El modelo lineal de un diseño completamente al azar está dado por

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Para $i = 1, 2, \dots, t$ $j = 1, 2, \dots, n_i$

Donde

y_{ij} = Observación correspondiente a la j -ésima unidad experimental que recibió el i -ésimo tratamiento

p = Media general.

X_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

e_{ij} = Error aleatorio.

3.4 Realización del análisis económico para los tratamientos evaluados.

Referente al objetivo específico número tres que era realizar el análisis económico para los tratamientos evaluados., se procedió de la siguiente manera.

3.4.1 Descripción

Para este último objetivo se tuvo como meta realizar un análisis económico para cada tratamiento, determinándose los costos en la investigación siendo estos los principales costos fijos y variables, para determinar que tratamiento obtiene mejor beneficio costo.

3.4.2 Análisis de las variables o variable.

Análisis económico

Primero se determinaron los costos totales de los mismos por medio de costos fijos y costos variables. Para la variable costos, se determinaron los costos totales (C.T.), los cuales se dividen en, costos fijos y costos variables. Los costos fijos (C.F.) fueron aquellos que se utilizaron en la investigación, comunes para todos los tratamientos; mientras que los costos variables (C.V.) fueron aquellos específicos para cada uno de los tratamientos.

Habiendo determinado los costos de cada tratamiento, se procedió a realizar el análisis económico utilizando las fórmulas que se presentan a continuación, las cuales fueron utilizadas para la elaboración del análisis económico.

Tabla 8 Fórmulas utilizadas en el análisis económico

INDICADORES	FÓRMULAS
Costo Total de Producción	$CT = CF + CV$
Volumen de Producción	$VP = \text{Rendimiento (libras)}$
Costo Unitario Promedio	$CU = CT / \text{Rendimiento o VP}$
Margen de Utilidad Unitaria	$MU = 30 \text{ a } 40 \% \text{ de } CU$
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	$Rel. B/C = VBP / CT$

En la tabla anterior, se observan los diferentes indicadores para obtener la relación beneficio/costo.

4. Material experimental

El material experimental evaluado fue la semilla el clon de cacao UF 667, que es el cultivar sembrado en finca La providencia. De los frutos maduros de éste clon, se obtuvieron los granos para la evaluación del proceso de fermentación.

4.1 Factores evaluados

En la siguiente tabla se presentan los factores evaluados en la presente investigación.

Tabla 9 Factores evaluados en métodos de fermentación. (Objetivo 1).

Factor
1: caja de madera
2: Sacos plásticos con cinco días de fermentación.
3: Sacos plásticos sin fermentación.

En la siguiente tabla se observa los dos factores los cuales son: A y B, par A, son tres niveles, mientras para B, son cuatro niveles.

Tabla 10 Factores evaluados A: Métodos de fermentación y B: Medios de secado. (Objetivo 3).

Factor A: Métodos de fermentación	Factor B: Medios de secado
A1. En caja de madera	B1. Nylon negro

A2. Sacos de plástico	B2. Lámina de metal
A3: Sacos de plástico (menos de 24 horas de fermento). (TESTIGO).	B3. Caja de madera
	B4: Patio de concreto (TESTIGO).

En la tabla anterior se tiene Como Factor A de los distintos métodos de fermentación, consistiendo en realizar el proceso de fermentación en cajas de madera, en sacos de plástico y sacos de plástico con menos de 24 horas de fermentación (Testigo).

Como Factor B de los lechos de secado que son: nylon negro, lámina, caja de madera y patio de concreto (Testigo).

Factor A: Métodos de fermentación

En caja de madera

Tienen dimensiones de 0.5 m de alto y 1.00 m de ancho y 0.50 con capacidad de 50 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 20 kg de cacao en baba, por cada repetición, colocado a una altura mínima de 0.10 m y máxima de 0.40 m, para conservar el calor generado en el proceso. Con cinco días de fermentación.

Sacos plásticos con fermentación

Para realizar este proceso, se colocaron los granos frescos o masa en dos sacos de plástico. Por cada saco se colocó a fermentar entre 10 kg de cacao, por cada repetición, En este tipo de fermentado no es necesario compactar la masa. Luego, se procedió a amarrar los sacos. Con cinco días de fermentación.

Sacos plásticos sin fermentación

Para realizar este proceso, se colocaron en dos sacos de plástico. Por cada saco se pudo fermentar entre 10 kg de *T. cacao*, por cada repetición, Su realización es igual que la

anterior difiriéndose en que después se amarran los sacos y se sacan de inmediato al otro día de despochado, siendo este el método que se utiliza en la finca.

Factor B: Medios de secado

Nylon negro

El secado en nylon negro, consistió en la colocación los granos de *T. cacao* fermentados sobre un nylon negro y colocarlos al sol. Se colocan 20 kg de *T. cacao* en total 5 Kg por cada tratamiento.

Lámina de metal

Consistió en la colocación de los granos de *T. cacao* fermentados sobre una lámina metálica. Se colocaron 20 kg de *T. cacao* en total 5 Kg por cada tratamiento.

En caja de madera

Consistió en la colocación los granos de *T. cacao* fermentados sobre una caja de madera con medidas de 1.5 * 1 * 0.75. Se colocaron 20 kg de *T. cacao* en total 5 Kg por cada tratamiento.

Patio de concreto

Consistió en la colocación los granos de *T. cacao* fermentados en patios de cemento. 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.

4.2 Tratamientos evaluados

Tratamientos evaluados en la investigación.

Tabla 11 Descripción de los tratamientos evaluados.

		Factor A: Métodos de fermentación)	Factor B: Medios de secado
T1	A1B1	A1. En caja de madera	B1. Nylon Negro
T2	A1B2	A1. En caja de madera	B2. Lamina de metal
T3	A1B3	A1. En caja de madera	B3. Caja de madera
T4	A1B4	A1. En caja de madera	B4. Patio de concreto (TESTIGO)
T5	A2B1	A2. Sacos de plástico	B1. Nylon Negro
T6	A2B2	A2. Sacos de plástico	B2. Lamina de metal
T7	A2B3	A2. Sacos de plástico	B3. Caja de madera
T8	A2B4	A2. Sacos de plástico	B4. Patio de concreto (TESTIGO)
T9	A3B1	A3. Sacos plásticos (24 horas)(TESTIGO)	B1. Nylon Negro
T10	A3B2	A3. Sacos plásticos (24 horas)(TESTIGO)	B2. Lamina de metal
T11	A3B3	A3. Sacos plásticos (24 horas)(TESTIGO)	B3. Caja de madera
T12	A3B4 (TR)	A3. Sacos plásticos (24 horas)(TESTIGO)	B4. Patio de concreto (TESTIGO)

El testigo relativo fue el tratamiento T12 correspondiente al método de fermentación en sacos de plástico con menos de 24 horas (A1) con secado en patio de concreto (B1), siendo lo utilizado en finca La Providencia.

4.3 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:

$$G. L. \text{ error } B = a(b - 1)(r - 1) = 3(4 - 1)(5 - 1) = 36$$

Donde:

G. L. = Grados de libertad.

a = Factor A, métodos de fermentación.

b = Factor B, lechos de secado.

r = Repeticiones

Las repeticiones del experimento en cada tratamiento serán cinco (05), dando como resultado 60 unidades experimentales.

4.4 Aleatorización de los tratamientos

En la tabla, se observa la aleatorización de los tratamientos, la cual fue completamente al azar.

Tabla 12 Aleatorización de los tratamientos realizados.

A1. En caja de madera				A2. Sacos de plástico				A3. Sacos plásticos (24 horas)(TESTIGO)			
B1	B4	B3	B2	B3	B1	B4	B2	B1	B4	B2	B3
T1	T4	T3	T2	T7	T5	T8	T6	T9	T12	T10	T11

Para esta aleatorización no se debe seguir un orden específico, ya que es completamente al azar.

5. Manejo del experimento

El total de unidades experimentales fue de 60, tomando en cuenta los 12 tratamientos y las cinco repeticiones evaluadas. El primer factor (Factor A), siendo ellos, la caja de madera, sacos de plástico y sacos de plástico con menos de 24 horas de fermento. De cada uno de ellos se obtuvieron las muestras de cacao de acuerdo a los lechos de secado (Factor B), siendo ellos, nylon negro, lámina metálica, caja de madera y patio de concreto (Testigo).

Los datos evaluados se tomaron de la repetición, que consistió en la cantidad (cinco kilogramos) de granos de cacao en baba; se colocaron 20 kg en cada método de fermentación, luego se procedió a dividirlo en 5 kg en cada lecho de secado evaluado (cuatro lechos). Como son cinco repeticiones de 12 tratamientos, son 60 unidades experimentales de 5 kg cada una, haciendo así un total de 60 kg de granos en baba en cada repetición, considerando que son cinco repeticiones esto implicó un total de 300 kg de granos en baba de cacao.

6. Manejo de la investigación

El clon de cacao evaluado, en finca La Providencia, es UF-667.

6.1 Cosecha

Las mazorcas de cacao fueron cosechadas en su grado de madurez adecuado y velando de que sean frutos sanos y de tamaño uniforme como se muestra en la figura 16, utilizando tijeras de podar (figura 17), y su desinfectante correspondiente. Al cosechar los frutos, éstos se colocaron en costales de nylon para su traslado del campo al área de la investigación.

En la siguiente figura, se observan los frutos de cacao, ya maduros, los cuales fueron cosechados para la investigación.



Figura 16 Mazorcas de *T. cacao* cosechadas.

Se muestra los frutos cosechados que presenten un nivel de madurez adecuado para su beneficiado.

A continuación se muestra la tijera de poda, la cual se utiliza en finca la Providencia para la cosecha de *T. cacao*



Figura 17 Tijeras de poda, empleadas para cosecha de *T. cacao*

La tijera debe ser previamente desinfectada y lavada, así queda limpia para evitar contaminación.

Seguidamente se observa un fruto de cacao, listo para ser cosechado:



Figura 18 Mazorca de *T. cacao*, madura.

Se muestra ahora como es transportado el cacao del campo, hacia el lugar del beneficiado.



Figura 19 Traslado de la producción de *T. cacao*, para el beneficiado.

6.2 Quebrado de mazorcas

Teniendo los frutos maduros en el sitio, con la ayuda de un tronco, se procedió a la quiebra (rotura) de las mazorcas para la extracción de los granos (almendras), evitando que se dañen, que se contaminen los mismos y con cuidado de no arrancar la placenta de la mazorca. Se apartaron las mazorcas que en su interior tengan una almendra negra, que evidenció la presencia de enfermedad.



Figura 20 Quebrado de Mazorcas de *T. cacao*, con personal de la finca para la investigación.

6.3 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, de la masa de cacao resultante. Se buscó que quedaran con un color blanco uniforme 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. Se colectaron y pesaron 5 kg de almendra o grano en baba por cada tratamiento. 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 proveó 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 dos tipos, en caja de madera, en sacos plásticos y el fermento actual (testigo).

Se observa a continuación cómo se procedió a pesar el cacao en baba por medio de una balanza electrónica, antes de vaciarlo en cada tratamiento.

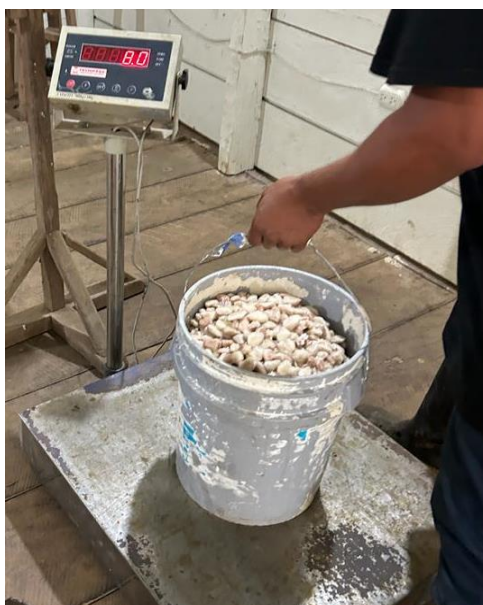


Figura 21 Pesaje de almendras en baba de *T. cacao*, para verterlo en el tratamiento indicado.

6.4 Proceso de fermentado

Introducidos los granos de cacao en los correspondientes recipientes de fermentación a evaluar (caja de madera y sacos plásticos), se debió remover o voltear 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 grumos, impedir la formación de moho sobre los granos y que la fermentación fuera homogénea. Si no se realiza de esta manera los granos se vuelven mohosos y con olor desagradable.

En las primeras 48 horas 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 para realizar el aireamiento y se tomó la primera lectura de temperatura. 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 de las 72 horas desde el inicio), aumenta la temperatura pudieron llegar hasta Los 49 °C, 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 (49 °C). A partir de ésta etapa, a cada 24 horas se realiza 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 achocolatado. Los granos toman forma arriñonada y la cascarilla que envuelve el grano se desprende fácilmente.

Se muestra como se observa el cacao en el tercer día de fermentación, antes de voltearlo, donde el cacao ya encuentra ya fermentado.



Figura 22 semillas de *T. cacao* en el proceso de fermentación por el método de caja de madera.

En la figura anterior, también se observa, como el cacao va cambiando su coloración a un marrón, luego de 72 horas fermentado.

Se observa uno de los granos de cacao en la prueba de corte de fermentación en baba:



Figura 23 Prueba de índice de fermentación en *T. cacao*

Se observa a continuación el método de fermentación de sacos plásticos, utilizando varios para que su volteo se facilitara.



Figura 24 semillas de *T. cacao* en el proceso de fermentación por de método de sacos plásticos.

En la figura anterior con el método en sacos plásticos se observa que se utilizaron varios para que su volteo fuera más fácil.

Ahora se observa el cajón de madera utilizado en la investigación.:



Figura 25 Semillas de cacao empezando el método de fermentación por caja de madera.

6.5 Secado

Al concluir los métodos de fermentado, se trasladaron las masas de fermentación directamente al proceso de secado, donde fueron evaluados tres medios de secado los cuales son: caja de madera, nylon negro, lámina metálica y el TESTIGO, en la finca se realiza en los patios de secado de café. El secado natural lo realizan en un ciclo de siete a ocho días, dándole vuelta con una pala de madera a cada dos horas.

En las siguientes figuras, se muestra el proceso de secado realizado en la presente investigación.



Figura 26 Semillas de *T. cacao* empezando el proceso de secado con lecho de secado en caja de madera.



Figura 27 Semillas de *T. cacao* empezando el proceso de secado con lecho de secado en nylon negro.



Figura 28 Semillas de *T. cacao* empezando el proceso de secado con lecho de secado en lámina.

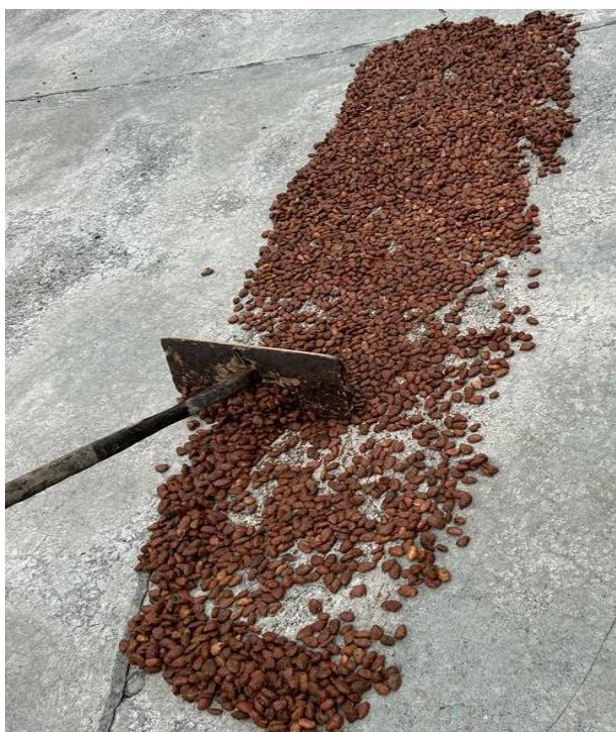


Figura 29 Semillas de *T. cacao* empezando el proceso de secado con lecho de secado en Testigo (patio).

VII. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

7.1 Evaluación del efecto de tres métodos de fermentación con relación al índice de fermentación en baba en el manejo pos cosecha de *T. cacao*

7.1.1 Porcentaje o Índice de fermentación en baba

En la siguiente tabla se observa los datos de los tres métodos de fermentación: T1, T2 y T3, en las cuales se encuentran cinco repeticiones.

Tabla 13 Medias de repeticiones de porcentaje o índice de fermentación.

TRATAMIENTO	METODO	REPETICIONES					MEDIA	MEDIAS TRANSFORMADAS
		1	2	3	4	5		
T1	Caja de Madera	80%	84%	77%	79%	81%	80%	8,95
T2	Saco plástico	72%	77%	71%	69%	79%	74%	8,6
T3	Testigo	10%	6%	4%	12%	9%	8%	2,83

Se presentan los datos en porcentajes y sus medias transformadas, las cuales se utilizaron para el análisis de varianza.

A continuación se observa las medias de las repeticiones ya transformadas.

Tabla 14 Datos transformados de porcentaje o índice de fermentación.

TRATAMIENTO	METODO	REPETICIONES					MEDIA	MEDIAS TRANSFORMADAS
		1	2	3	4	5		
T1	Caja de Madera	8,94	9,17	8,78	8,89	9	8,94	8,95
T2	Saco Plástico	8,49	8,78	8,43	8,31	8,89	8,6	8,6
T3	Testigo	3,16	2,45	2	3,46	3	2,83	2,83

Como se observa, el tratamiento con método de fermentación en caja de madera con ciclo de fermentado de cinco días (Tratamiento 1), fue el mejor con el valor de 80 % de fermentación y el tratamiento con método de fermentación en sacos plásticos con ciclo de fermentado de cinco días (Tratamiento 2) fue el siguiente con valor de 74 %. Sin embargo el Tratamiento con sacos plásticos con 24 horas de fermentado presentó solamente un 8% de índice de fermentación, esto debido a que la finca no fermenta cinco días los cuales según (IICA, 2017), es el tiempo adecuado de fermentación, ya que en este tiempo alcanza la temperatura que está en un rango de 48 a 50 °C, En general, la fermentación tarda cinco días con volteos de la masa al segundo, tercero, cuarto y quinto día, para oxigenar la masa y homogenizar la fermentación. Por tanto queda descartado como método de fermentación para la calidad del T. cacao. Estos resultados fueron transformados por medio de la $\sqrt{x}$ de cada dato (tabla 13), para realizar el análisis de varianza, el cual se presenta en la siguiente tabla.

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 la cual se debe de estar en un rango de 48 a 50 °C para que sea adecuada, para verificar que se cumpliera se midió a temperatura a todos los tratamientos.

Tabla 15 Análisis de la varianza para porcentaje o índice de fermentación.

Cuadro de Análisis de la Varianza					
F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	119,08	6	19,85	144,03	<0.0001
Tratamiento	118,48	2	59,24	429,93	<0.0001 **
Repetición	0,59	4	0,15	1,08	0,4281
Error	1,1	8	0,14		
Total	120,18	14			

El coeficiente de variación fue de **5.47%**, lo cual indica un adecuado manejo del experimento, debido a que se encuentra dentro del rango aceptable que es del 20%.

Se observa a continuación la prueba de medias de Tukey:

Tabla 16 Prueba de Medias de Tukey al 5%, para porcentaje o índice de fermentación.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.67085				significancia	
Error: 0.1378 gl: 8					
Tratamiento	Medias	n	E.E.		
T1	8,96	5	0,17	A	
T2	8,58	5	0,17	A	
T3	2,81	5	0,17		B

Como se observa la tabla anterior, existió diferencia altamente significativa en dos de los tratamientos (p-valor es menor o igual a 0.01), lo cual indicó que al menos uno de los métodos de fermentación evaluados produjeran un efecto distinto en el porcentaje de fermentación, por tanto se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa, ya que existió diferencia significativa entre los métodos de fermentación.

Con estos resultados se realizó la Prueba de Medias de Tukey al 5% de significancia, lo cual se presenta en la tabla anterior.

Medias con una letra común no fueron significativamente diferentes ($p > 0.05$) De acuerdo a la Prueba de medias de Tukey al 5%, los tratamientos T1 y T2 fueron los mejores, produciendo los mayores porcentajes de fermentación, estos tratamientos fueron estadísticamente iguales. Sin embargo el T3 (Testigo), si fue estadísticamente diferente presentando un muy bajo porcentaje de fermentación.

De acuerdo a esta prueba de medias, los mejores métodos de fermentación son T1 (Caja de madera) y T2 (sacos plásticos), ambos con un ciclo de cinco días, ya que estadísticamente son iguales, sin embargo el método de fermentación menos recomendado es el TESTIGO, el cual es usado actualmente en finca La Providencia.

7.2 Evaluación del efecto de los cuatro lechos de secado por medio de las características del grano de *T. cacao* para su clasificación de calidad.

Para evaluar las características se clasificaron en cuatro tipos de clasificación

- Forma.
- Color interno.
- Textura de la cascarilla.
- Textura del grano interno.

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). Esto se evaluó por medio de la ficha antes expuesta en metodología. (Boleta de clasificación de calidad). En el cacao se evalúan las características visuales y que son indicadores de un buen proceso de beneficiado como por ejemplo: forma, color interno y externo, cascarilla, entre otros, los indicadores para la calidad A, deben ser forma hinchada, con color café oscuro por dentro y arriñonada por dentro al igual que la cascarilla debe ser fácil de desprenderse con la yema de los dedos.

En la siguiente figura se observan los granos clasificados, de mejor calidad en cuestión de las características evaluadas.



Figura 30 Proceso de clasificación de los granos de *T. cacao* por forma evaluando sus características. Del lado izquierdo se observa clasificación B, los cuales son más pequeños que la calidad A, tiene un café-rojizo por dentro al igual que afuera y en el lado derecho clasificación A, los cuales son los más grandes, arriñonados, café oscuro por dentro y fuera y fácil de retirar la cascarilla.

En esta figura (figura 30), se encuentran granos de mejor calidad en cuestión de las características evaluadas.

En la siguiente figura, se observa el corte transversal de un grano de *T. cacao*



Figura 31 Grano de *T. cacao*, evaluado como clasificación B, debido a su pigmento rojizo en el interior del grano, (color interno), arriñonados, y cascarilla quebradiza.

Se muestra un grano rojizo, arriñonado, y con la cascarilla quebradiza, lo que corresponde a un grano de calidad B, esto evaluado según boleta anterior, como se muestra en la siguiente figura, se clasificaba los granos de calidad y eran separadas las pasillas:



Figura 32 Proceso de clasificación de los granos de *T. cacao* por calidad, evaluando sus características. Del lado izquierdo se observa clasificación C, los cuales son pequeños y rojizos y cascarilla pegada y en el lado derecho clasificación: pasilla o rechazo.

En las siguientes figuras, se observa lo que es cacao pasilla o rechazo, son granos de caca vanos y muy pequeños, los cuales se consideran no aptos para venta.



Figura 33 Clasificación Pasilla o rechazo, (textura de cascarilla), los cuales son los granos arrugados y vanos.

Los granos evaluados los cuales fueron 100 granos de muestra por tratamiento fueron evaluados visualmente con el método de sección transversal como lo muestra la figura:



Figura 34 Sección transversal para evaluación de las características internas.

Los resultados del comportamiento de las características, En la siguiente tabla se observaron las medias de la clasificación de la muestra de 100 granos por tratamiento. También se puede observar el comportamiento de la clasificación de los granos según su calidad por tratamiento en las tablas 32 a la 43.

En la siguiente tabla se presentan las medias de los porcentajes de cada calidad en los tratamientos.

Tabla 17 Medias de la clasificación de los 12 tratamientos.

TRATAMIENTO	MEDIAS DE TRATAMIENTOS			
	A	B	C	RECHAZO(PASILLA)
1	80,60%	8,00%	6,20%	2,6
2	72,20%	15,00%	7,80%	5
3	82,60%	8,40%	4,60%	4,4
4	81,80%	10,80%	4,80	2,6
5	72,20%	16,20%	7,60	4
6	69,00%	12,60%	13,00	5,4
7	75,00%	10,20%	9,40	5,4
8	78,20%	8,60%	8,80	4,4
9	13,60%	9,80%	72,60	4
10	11,00%	9,80%	75,00	4,2
11	9,80%	12,00%	72,60	5,6
12	8,40%	9,60%	74,20	7,8

Se muestra que los tratamientos con más granos de calidad A fueron; T3, T4 y T1 con 82.60 %, 81.80% y 80.60 %,respectivamente esto debido a que el método de fermentación y el lecho de secado se realizó correctamente, los tratamientos que menos presentaron esta calidad fueron: T11 y T12 con 9.80% y 8.40%, en caso de calidad B los que presentaron más esta calidad son: T5, T2 Y T6 con 16.20%, 15% y 12.60% y el que menos presentó esta calidad es T1 con 8%, en caso de la calidad C el que más presentó esta calidad es T10 con 75% y el que menos la presentó es T3 con 4.6% y el tratamiento con más pasilla fue el T12 con 7.8%.

Con esto se consideró que el tratamiento que presentó mejor calidad fue el Tratamiento 3 con: 82.60% de calidad A, 8.40% de calidad B, 4.60% de calidad C y 4.4% de RECHAZO O PASILLA, así como también el tratamiento con menor calidad fue T12 con

8.40% de calidad A, 9.60% con calidad B, 74.20% de calidad C y 7.8% de RECHAZO O PASILLA.

Los resultados de la clasificación A, la cual es de mayor importancia, fueron transformados por medio de la $\sqrt{x}$, para realizar el análisis de varianza.

Tabla 18 Andeva para clasificación de la calidad de cacao

Cuadro de Análisis de la Varianza (Calidad A).					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	58637,4	15	3909,16	393,12	<0.0001
Trat	58616,13	11	5328,74	535,88	<0.0001 **
Bloque	21,27	4	5,32	0,53	0,7109
Error	437,53	44	9,94		
Total	59074,93	59			

El coeficiente de variación fue de 5.78%, lo que indica un adecuado manejo del experimento, debido a que se encuentra dentro del rango aceptable que es del 20%.

Como se observa, hubo diferencia altamente significativa en los tratamientos (p-valor es menor o igual a 0.01), lo que indicó que al menos uno de los lechos de secado evaluados produjeron un efecto distinto en la calidad del grano, por tanto se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa, ya que existió diferencia significativa en la calidad A de cacao.

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

En la siguiente tabla se presenta la prueba de medias Tukey para la evaluación de los granos de cacao.

Tabla 19 Prueba de Tukey al 5% para la clasificación A de los granos, de cada tratamiento.

Trat	Medias	n	E.E.					
3	82,6	5	1,41	A				
4	81,8	5	1,41	A	B			
1	80,6	5	1,41	A	B			
8	78,2	5	1,41	A	B	C		
7	75	5	1,41		B	C	D	
5	72,2	5	1,41			C	D	
2	72,2	5	1,41			C	D	
6	69	5	1,41				D	
9	13,6	5	1,41					E
10	11	5	1,41					E
11	9,8	5	1,41					E
12	8,4	5	1,41					E

El mejor tratamiento fue T3, produciendo mayor cantidad de granos calidad A, luego los tratamientos 1 y 4 estos tratamientos fueron estadísticamente iguales.

7.3 Determinación de la mejor combinación de método de fermentación y lecho de secado, con relación al índice de fermentación y rendimiento de mazorca/kg a la calidad de *T. cacao*

7.3.1 Índice de fermentación de *T. cacao*

En la tabla 20 se presentan los resultados, con base en la fórmula descrita en la metodología:

Tabla 20 Porcentaje de fermentación en los 12 tratamientos con los dos factores a evaluar.

PORCENTAJE DE FERMENTACION									
TRATAMIENTOS		METODO DE FERMENTACION	MEDIO DE SECADO	REPETICIONES (PORCENTAJE DE FERMENTACION)					PROMEDIO
				R1	R2	R3	R4	R5	
T1	A1B1	A1: CAJA DE MADERA	B1: NYLON NEGRO	79	78	79	77	80	78,6
T2	A1B2	A1: CAJA DE MADERA	B2: LAMINA METALICA	77	76	79	77	79	77,6
T3	A1B3	A1: CAJA DE MADERA	B3: CAJA DE MADERA	80	81	82	80	83	81,2
T4	A1B4	A1: CAJA DE MADERA	B4: TESTIGO	79	80	80	78	81	79,6
T5	A2B1	A2: SACOS PLASTICOS	B1: NYLON NEGRO	79	77	78	77	80	78,2
T6	A2B2	A2: SACOS PLASTICOS	B2: LAMINA METALICA	77	76	74	78	77	76,4
T7	A2B3	A2: SACOS PLASTICOS	B3: CAJA DE MADERA	78	77	76	79	79	77,8
T8	A2B4	A2: SACOS PLASTICOS	B4: TESTIGO	78	77	76	79	77	77,4
T9	A3B1	A3: TESTIGO	B1: NYLON NEGRO	33	32	45	42	44	39,2
T10	A3B2	A3: TESTIGO	B2: LAMINA METALICA	42	41	51	49	48	46,2
T11	A3B3	A3: TESTIGO	B3: CAJA DE MADERA	45	47	44	41	49	45,2
T12	A3B4	A3: TESTIGO	B4: TESTIGO	44	43	44	46	45	44,4

Como se observa, el tratamiento con método de fermentación en caja de madera y de lecho de secado de caja de madera (Tratamiento 3), y el tratamiento con método de fermentación en caja de madera y lecho de secado TESTIGO (Patio) ,(Tratamiento 4), con valor de 81.20% y 79.6%. Fueron los que presentan el mejor porcentaje de fermentación, esto ya que se mantuvieron las condiciones de fermentado homogéneas y

el lecho de secado no fue brusco por tanto los granos van perdiendo adecuadamente la humedad. A estos tratamientos les sigue el evaluado con método de fermentación en caja de madera y medio de secado nylon negro (Tratamiento 1), con 78.6 % de índice de fermentación. Los tratamientos con menos porcentaje de fermentación son método de fermentación TESTIGO (24 hrs). Y medio de secado Nylon negro (Tratamiento 9), y el tratamiento con método de fermentación TESTIGO (24 hrs). Y medio de secado TESTIGO (Patio), (Tratamiento 12), con porcentaje de fermentación de 39.2% y 44.4%. Esto se debe a que no tiene un fermentado técnico.

Estos resultados fueron transformados por medio de la $\sqrt{x}$ (ver tabla 20) para realizar el análisis de varianza, el cual se presenta a continuación:

Tabla 21 resultados de porcentaje de fermentación transformados por medio de $\sqrt{x}$.

TRATAMIENTOS		METODO DE FERMENTACION	MEDIO DE SECADO	REPETICIONES				
				R1	R2	R3	R4	R5
T1	A1B1	A1: CAJA DE MADERA	B1: NYLON NEGRO	8,89	8,83	8,88	8,77	8,94
T2	A1B2	A1: CAJA DE MADERA	B2: LAMINA METALICA	8,77	8,72	8,88	8,77	8,89
T3	A1B3	A1: CAJA DE MADERA	B3: CAJA DE MADERA	8,94	9,00	9,05	8,94	9,11
T4	A1B4	A1: CAJA DE MADERA	B4: TESTIGO	8,89	8,94	8,94	8,83	9,00
T5	A2B1	A2: SACOS PLASTICOS	B1: NYLON NEGRO	8,89	8,77	8,83	8,77	8,94
T6	A2B2	A2: SACOS PLASTICOS	B2: LAMINA METALICA	8,77	8,72	8,60	8,83	8,77
T7	A2B3	A2: SACOS PLASTICOS	B3: CAJA DE MADERA	8,83	8,77	8,71	8,89	8,89
T8	A2B4	A2: SACOS PLASTICOS	B4: TESTIGO	8,83	8,77	8,7178	8,89	8,77
T9	A3B1	A3: TESTIGO	B1: NYLON NEGRO	5,74	5,66	6,7082	6,48	6,63
T10	A3B2	A3: TESTIGO	B2: LAMINA METALICA	6,48	6,40	7,1414	7,00	6,93
T11	A3B3	A3: TESTIGO	B3: CAJA DE MADERA	6,71	6,86	6,6332	6,40	7,00
T12	A3B4	A3: TESTIGO	B4: TESTIGO	6,63	6,56	6,6332	6,78	6,71

Se presenta Análisis de varianza bifactorial:

Tabla 22 análisis de varianza para porcentaje de fermentación con los dos factores a evaluar.

Cuadro de Análisis de la Varianza					
F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	68,38	11	6,22	160,4	<0.0001 **
Factor A	67,33	2	33,67	868,74	<0.0001 **
Factor B	0,32	3	0,11	2,78	0,0512 N.S
Factor A*Factor B	0,72	6	0,12	3,11	0,0118 *
Error	1,86	48	0,04		
Total	70,24	59			

El coeficiente de variación fue de 2.43%, lo que indica un adecuado manejo del experimento, debido a que se encontró dentro del rango aceptable que es del 20%.

Como se observa, hubo diferencia altamente significativa (p-valor es menor o igual a 0.01), lo cual indica que al menos uno de los métodos de fermentación (factor A) evaluados produjeron un efecto distinto en el porcentaje de fermentación. No existió diferencia significativa entre los distintos lechos de secado (factor B) evaluado, pero si existió diferencia en las interacciones, por tanto se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa. Lo cual indicó que el mejor lecho de secado depende del método de fermentación utilizado.

Con estos resultados se realizó la Prueba de Medias de Tukey al 5% de significancia, lo cual se presenta en la siguiente tabla.

En la siguiente tabla se observa porcentaje de fermentación con los dos factores a evaluar.

Tabla 23 Prueba de Tukey al 5% para porcentaje de fermentación con los dos factores a evaluar.

Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.			
A1: CAJA DE MADERA	B3: CAJA DE MADERA	9,01	5	0,09	A		
A1: CAJA DE MADERA	B4: TESTIGO	8,92	5	0,09	A		
A1: CAJA DE MADERA	B1: NYLON NEGRO	8,86	5	0,09	A		
A2: SACOS PLASTICOS	B1: NYLON NEGRO	8,84	5	0,09	A		
A2: SACOS PLASTICOS	B3: CAJA DE MADERA	8,82	5	0,09	A		
A1: CAJA DE MADERA	B2: LAMINA METALICA	8,81	5	0,09	A		
A2: SACOS PLASTICOS	B4: TESTIGO	8,8	5	0,09	A		
A2: SACOS PLASTICOS	B2: LAMINA METALICA	8,74	5	0,09	A		
A3: TESTIGO	B2: LAMINA METALICA	6,79	5	0,09		B	
A3: TESTIGO	B3: CAJA DE MADERA	6,72	5	0,09		B	
A3: TESTIGO	B4: TESTIGO	6,66	5	0,09		B	C
A3: TESTIGO	B1: NYLON NEGRO	6,24	5	0,09			C
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)							

W: 0.42752

De acuerdo a la Prueba de medias de Tukey al 5% de la interacción, los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 Y T8 fueron los mejores, produciendo los mayores porcentajes de fermentación, estos tratamientos fueron estadísticamente iguales.

De acuerdo a esta prueba de medias, si se utilizó el método de fermentación con cajas de madera, Se utilizaron los medios de secado que fueron: caja de madera o Testigo (patio). Como se demostró en los tratamientos T3 y T4 con 83% y 81% de fermentación.

7.3.2 Rendimiento de mazorca/kg

Se presenta el detalle de los resultados de campo para la variable rendimiento, granos de cacao se necesita para obtener un Kilogramo de cacao seco.

En la siguiente tabla se presentan los resultados de rendimiento para cada uno de los tratamientos, con base a la metodología.

Tabla 24 resultados del rendimiento para cada uno de los tratamientos.

RENDIMIENTO MAZROCA/KG									
TRATAMIENTOS		METODO DE FERMENTACION	MEDIO DE SECADO	REPETICIONES (GRANOS / KG SECO).					PROMEDIO
				R1	R2	R3	R4	R5	
T1	A1B1	A1: CAJA DE MADERA	B1: NYLON NEGRO	689	701	675	666	653	676,8
T2	A1B2	A1: CAJA DE MADERA	B2: LAMINA METALICA	699	712	706	702	700	703,8
T3	A1B3	A1: CAJA DE MADERA	B3: CAJA DE MADERA	615	612	606	620	600	610,6
T4	A1B4	A1: CAJA DE MADERA	B4: TESTIGO	613	612	618	633	607	616,6
T5	A2B1	A2: SACOS PLASTICOS	B1: NYLON NEGRO	701	707	689	697	683	695,4
T6	A2B2	A2: SACOS PLASTICOS	B2: LAMINA METALICA	712	720	706	731	718	717,4
T7	A2B3	A2: SACOS PLASTICOS	B3: CAJA DE MADERA	700	707	698	687	682	694,8
T8	A2B4	A2: SACOS PLASTICOS	B4: TESTIGO	701	689	677	645	656	673,6
T9	A3B1	A3: TESTIGO	B1: NYLON NEGRO	699	689	712	705	706	702,2
T10	A3B2	A3: TESTIGO	B2: LAMINA METALICA	701	700	705	712	698	703,2
T11	A3B3	A3: TESTIGO	B3: CAJA DE MADERA	701	707	715	709	711	708,6
T12 TR	A3B4	A3: TESTIGO	B4: TESTIGO	736	725	722	718	733	726,8

Como se observa, el tratamiento con método de fermentación en caja de madera y lecho de secado en caja de madera (T13), presentó el mejor rendimiento el cual fue de 610,6 granos/kilogramo. En orden de importancia, le sigue el tratamiento con método de fermentación en caja de madera y lecho de secado TESTIGO (Patio) (T4), el cual presentó un rendimiento de 616.6 granos/Kilogramo, esto debido a que en el secado de madera no pierden todo su peso, porque se van secado lentamente, al contrario de los demás lechos de secado que el secado es brusco.

Luego se procedió a realizar el análisis de varianza, el cual se presentan:

Tabla 25 Análisis de varianza para rendimiento granos/kilogramo seco.

Cuadro de Análisis de la Varianza					
F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	74708,98	11	6791,73	52,7	<0.0001
Factor A	36628,63	2	18314,32	142,11	<0.0001 **
Factor B	13822,85	3	4607,62	35,75	<0.0001 **
Factor A*Factor B	24257,5	6	4042,92	31,37	<0.0001 **
Error	6186	48	128,87		
Total	80894,98	59			

El coeficiente de variación fue de 1.66%, lo cual indica un adecuado manejo del experimento, debido a que se encuentra dentro del rango aceptable que es del 20%.

Como se observó, 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 produjeron un efecto distinto en el rendimiento de granos/Kilogramo. De similar forma, existió diferencia altamente significativa entre los distintos lechos de secado (factor B) evaluados (p-valor es menor o igual a 0.01), lo que indicó que al menos uno de estos lechos de secado produjo un efecto distinto en el rendimiento de granos/Kilogramo. También existió diferencia altamente significativa en la interacción de los dos factores por tanto se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa.

Con estos resultados se realizó la Prueba de Medias de Tukey al 5% de significancia, lo cual se presenta en la siguiente tabla.

La siguiente tabla es para rendimiento de granos/kilogramo seco con los dos factores a evaluar.

Tabla 26 Prueba de medias de tukey al 5%, para rendimiento grano/kilogramos seco.

Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.				
A3: TESTIGO	B4: TESTIGO	726,8	5	5,08	A			
A2: SACOS PLASTICOS	B2: LAMINA METALICA	717,4	5	5,08	A	B		
A3: TESTIGO	B3: CAJA DE MADERA	708,6	5	5,08	A	B		
A1: CAJA DE MADERA	B2: LAMINA METALICA	703,8	5	5,08	A	B		
A3: TESTIGO	B2: LAMINA METALICA	703,2	5	5,08	A	B		
A3: TESTIGO	B1: NYLON NEGRO	702,2	5	5,08	A	B		
A2: SACOS PLASTICOS	B1: NYLON NEGRO	695,4	5	5,08		B	C	
A2: SACOS PLASTICOS	B3: CAJA DE MADERA	694,8	5	5,08		B	C	
A1: CAJA DE MADERA	B1: NYLON NEGRO	676,8	5	5,08			C	
A2: SACOS PLASTICOS	B4: TESTIGO	673,6	5	5,08			C	
A1: CAJA DE MADERA	B4: TESTIGO	616,6	5	5,08				D
A1: CAJA DE MADERA	B3: CAJA DE MADERA	610,6	5	5,08				D
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)								

De acuerdo a la Prueba de medias de Tukey al 5% de la interacción, los tratamientos T3 y T4 fueron los mejores, produciendo mayor rendimiento de granos/Kilogramo seco, estos tratamientos son estadísticamente iguales.

7.4 Análisis económico para los tratamientos evaluados.

Se determinaron los costos totales (CT) para cada uno de los tratamientos, para lo cual se identificaron los aspectos a los costos fijos (CF) que son aquellos que se utilizaron en la investigación, comunes para todos los tratamientos, y a los costos variables (CV) que son aquellos específicos para cada tratamiento.

En los costos fijos, solamente se identificaron costos como: la mano de obra para la cosecha de las mazorcas, el despoche de las mismas, para la toma de datos del peso seco para todos los tratamientos y para la toma de datos de % de fermentación. Es importante indicar que el valor del jornal se consideró de Q 60.00, siendo lo pagado en la unidad de práctica.

En la siguiente tabla se presenta la descripción de los costos fijos de la investigación.

Tabla 27 Costos fijos de los tratamientos a evaluar.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Mano de obra				
Cosecha	JORNAL	0.5	Q60,00	Q30,00
Despoche	JORNAL	0.25	Q60,00	Q15,00
Toma de muestras (DATOS)	JORNAL	0.125	Q60,00	Q7.5,00
COSTOS FIJOS (TOTAL)				Q52.,50

Como se observa en la tabla, los costos fijos para cada uno de los tratamientos de la investigación, ascendieron a Q 52.50.

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

De los dos factores evaluados, con relación al factor A del método de fermentación, se determinaron costos variables específicos, solamente fue para el factor B de los lechos de secado, pues para los tratamientos se empleó mano de obra durante siete días para el secado de las almendras.

En relación al fermentado solo en los tratamientos T9, T10, T11 y T12, no se utilizó volteo. 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 (días laboral de ocho horas). Por tanto cinco días son 0.052 horas laborales, ya que no se utilizó ningún jornal completo.

Se presenta el detalle de los costos variables de cada tratamiento.

COSTOS VARIABLES

Fueron aquellos costos que variaron según los tratamientos, y las actividades que se realizaron en ellos.

Tabla 28 Costos variables de los tratamientos a evaluar.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
VOLTEO DE ALMENDRAS / FERMENTACION				
T1: Caja de madera y Nylon negro	JORNAL	0,052	Q.60	Q.3,12
T2: Caja de madera y lámina metálica	JORNAL	0,052	Q.60	Q.3,12
T3: caja de madera y caja de madera	JORNAL	0,052	Q.60	Q.3,12
T4: caja de madera y testigo (patio)	JORNAL	0,052	Q.60	Q.3,12
T5: sacos plásticos y Nylon negro	JORNAL	0,052	Q.60	Q.3,12
T6: Sacos plásticos y Lámina metálica	JORNAL	0,052	Q.60	Q.3,12
T7: Sacos plásticos y Caja de madera	JORNAL	0,052	Q.60	Q.3,12
T8: Sacos plásticos y Testigo (patio)	JORNAL	0,052	Q.60	Q.3,12

En la siguiente tabla, Con los costos fijos y los costos variables, se logró determinar los costos totales para cada uno de los tratamientos.

Tabla 29 Costos Totales de los tratamientos a evaluar.

TRATAMIENTO	COSTOS FIJOS	COSTOS VARIABLES	COSTO TOTAL
T1: Caja de madera, nylon negro.	Q 52.,50	Q3,12	Q55.62
T2: Caja de madera, lámina metálica.	Q 52,50	Q3,12	Q55.62
T3: Caja de madera, caja de madera	Q 52,50	Q3,12	Q55.62
T4: Caja de madera, testigo (patio).	Q 52,50	Q3,12	Q55.62
T5: Sacos plásticos, nylon negro.	Q 52,50	Q3,12	Q55.62
T6: Sacos plásticos, lámina metálica.	Q 52,50	Q3,12	Q55.62
T7: Sacos plásticos, caja de madera	Q 52,50	Q3,12	Q55.62
T8: Sacos plásticos, testigo (patio).	Q 52,50	Q3,12	Q55.62
T9: Testigo (24 horas), nylon negro.	Q 52,50	0	Q 52,50
T10: Testigo (24 horas), lámina metálica.	Q 52,50	0	Q 52,50
T11: Testigo (24 horas), caja de madera	Q 52,50	0	Q 52,50
T12: Testigo (24 horas), testigo (patio). TR	Q 52,50	0	Q 52,50

Se observa que los tratamientos con el método de fermentación (24 hrs), (T9, T10, T11 y T12) fueron los que presentaron los menores costos totales, sin embargo el cacao fue de menos calidad.

Estos resultados de los costos totales de cada tratamiento, sirvieron de base para realizar el análisis económico que se presenta a continuación, para lo cual fue importante informar que el precio de venta de la almendra seca en la finca La Providencia fue de Q1, 000.00 por quintal (45.35 Kg), equivalente a Q 22.00 por kilogramo, sin embargo el cacao que se utilizó en la investigación con excepción del testigo se vendió a Q1, 250.00 por Quintal (45.35 Kg), equivalente a Q27.57 por kilogramo.

Tabla 30 Análisis económico de los tratamientos a evaluar.

TRATAMIENTO	COSTO TOTAL	Volumen de producción kg	Precio de venta	Valor bruto de producción	Utilidad total	Índice de rentabilidad	Relación beneficio/costo
T1: Caja de madera, Nylon negro.	55,62	2,7	27,57	74,44	18,82	33,8349	1,3383
T2: Caja de madera, Lámina metálica.	55,62	2,5	27,57	68,93	13,31	23,9212	1,2392
T3: Caja de madera, Caja de madera	55,62	2,8	27,57	77,20	21,58	38,7918	1,3879
T4: Caja de madera, Testigo (patio).	55,62	2,7	27,57	74,44	18,82	33,8349	1,3383
T5: Sacos plásticos, Nylon negro.	55,62	2,6	27,57	71,68	16,06	28,8781	1,2888
T6: Sacos plásticos, Lámina metálica.	55,62	2,5	27,57	68,93	13,31	23,9212	1,2392
T7: Sacos plásticos, Caja de madera	55,62	2,6	27,57	71,68	16,06	28,8781	1,2888
T8: Sacos plásticos, Testigo (patio).	55,62	2,8	27,57	77,20	21,58	38,7918	1,3879
T9: Testigo (24 horas), Nylon negro.	55,62	2,5	22	55,00	-0,62	-1,1147	0,9889
T10: Testigo (24 horas), Lámina metálica.	55,62	2,6	22	57,20	1,58	2,8407	1,0284
T11: Testigo (24 horas), Caja de madera	55,62	2,7	22	59,40	3,78	6,7961	1,0680
T12: Testigo (24 horas), Testigo (patio). TR	55,62	2,4	22	52,80	-2,82	-5,0701	0,9493

Como se observa, el tratamiento con método de fermentación con caja de madera y medio de secado con caja de madera (T3), y el tratamiento con método de fermentación con sacos plásticos y lecho de secado testigo (patio), (T8), ambos presentaron la mejor rentabilidad con 38.7918% y una relación beneficio/costo de 1.3879, lo que significa que por cada quetzal invertido se obtienen Q 0.39 de ganancia.

En importancia le siguió el tratamiento con método de fermentación Caja de madera y lecho de secado Nylon negro. (T1) Y método de fermentación en caja de madera y lecho de secado Testigo (patio), (T4), ambos con 33.8349% de rentabilidad y relación beneficio/costo de 1.34, lo que significa que por cada quetzal invertido se obtienen Q 0.34 de ganancia.

VIII. CONCLUSIONES

Evaluación del efecto de tres métodos de fermentación con relación al índice de fermentación en baba en el manejo postcosecha de T. cacao

1. En el manejo postcosecha en Finca la Providencia, el método de fermentación en caja de madera (T1), presentó el mejor porcentaje de fermentación siendo un 80% de la muestra, seguido del tratamiento de sacos de plásticos (T2) con un 74% de fermentación, esto indicó que fue un valor adecuado para obtener un cacao de calidad aceptable.
2. Los métodos de fermentación en caja de madera (T1) con un 80% y sacos de plástico (T2) con un 74%, estadísticamente no presentaron diferencia altamente significativa, al contrario del testigo (24 horas), con un 8%, si presenta diferencia.
3. Se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa.

Evaluación del efecto de los cuatro lechos de secado por medio de las características del grano de T. cacao para su clasificación de calidad.

1. El mejor tratamiento en lecho de secado en caja de madera (T3), fue el mejor, produciendo mayor cantidad de granos calidad A, luego los tratamientos 1 y 4 estos tratamientos son estadísticamente iguales.
2. Para la calidad de los granos los tratamientos los cuales presentan granos de mayor calidad (A) son: lecho de secado en caja de madera (T3), lecho de secado en patio de concreto (T4) y lecho de secado de Nylon negro (T1) con 82.60 %, 81.80% y 80.60 %, y el tratamiento con más pasilla es el T12 con 7.8%.
3. Con esto se consideró que el tratamiento que presenta mejor calidad fue el Tratamiento 3 con: 82.60% de calidad A, 8.40% de calidad B, 4.60% de calidad C y 4.4% de RECHAZO O PASILLA. Así como también el tratamiento con menor calidad es T12 con 8.40% de calidad A, 9.60% con calidad B, 74.20% de calidad C y 7.8% de RECHAZO O PASILLA.
4. al menos uno de los lechos de secado evaluados produjeron un efecto distinto en la calidad del grano, por tanto se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa, ya que existió diferencia significativa en la calidad A de cacao.

Determinación de la mejor combinación de método de fermentación y lecho de secado, con relación al índice de fermentación y rendimiento de mazorca/kg a la calidad de T. cacao

1. Hubo diferencia altamente significativa, lo cual indicó que al menos uno de los métodos de fermentación (factor A) evaluados produjeron un efecto distinto en el porcentaje de fermentación. No existió diferencia significativa entre los distintos lechos de secado (factor B) evaluado, pero si existió diferencia en las interacciones, por tanto se rechazó la hipótesis nula.
2. El tratamiento con método de fermentación en caja de madera y lecho de secado de caja de madera (T3), y el tratamiento con método de fermentación en caja de madera y lecho de secado TESTIGO (Patio) ,(T4), son los que presentan el mejor porcentaje de fermentación, con valor de 81.20% y 79.6%.
3. Para rendimiento existe diferencia altamente significativa en la interacción de los dos factores por tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.
4. El tratamiento con método de fermentación en caja de madera y lecho de secado en caja de madera (T3), presenta el mejor rendimiento el cual es de 610,6 granos/kilogramo. Y el tratamiento con el rendimiento más bajo fue el tratamiento con método de fermentación Testigo (24 horas) y lecho de secado testigo (patio), (TESTIGO RELATIVO), con un rendimiento de 726.8 granos/kilogramos seco.

Realizar el análisis económico para los tratamientos evaluados.

1. El tratamiento con método de fermentación con caja de madera y lecho de secado con caja de madera (T3), y el tratamiento con método de fermentación con sacos plásticos y lecho de secado testigo (patio), (T8), ambos presentan la mejor rentabilidad con 38.7918% y una relación beneficio/costo de 1.3879

IX. RECOMENDACIONES

Evaluación del efecto de tres métodos de fermentación con relación al índice de fermentación en baba en el manejo pos cosecha de T. cacao

1. Bajo las condiciones de finca la providencia, para el manejo postcosecha del cacao, se recomiendan el método de fermentación en cajas de madera, con el cual se obtuvo el mejor porcentaje de fermentación para la obtención de un cacao de buena calidad.
2. Como alternativa de método de fermentación en caja de madera se puede utilizar sacos plásticos los cuales generan un porcentaje de fermentación adecuado para un cacao de calidad.
3. Se recomienda tener cuidado al voltear la masa en baba, al tercer día, hacerlo a la misma hora y que se u movimiento uniforme para que se homogenea la fermentación.

Evaluación del efecto de los cuatro lechos de secado por medio de las características del grano de T. cacao para su clasificación de calidad.

1. Para obtener un cacao con un valor de calidad mayor se recomienda utilizar como método de fermentación caja de madera y como lecho de secado caja de madera, en el cual se obtuvo una mejor fermentación y secado.
2. Como alternativa de lecho de secado se recomienda utilizar: caja de madera, patio de concreto y/o Nylon negro.
3. Se recomienda a la hora de colocar la masa en el lecho de secado hacerlo de forma lineal y esparcida, para que el movimiento del secado sea homogéneo, y realizarlo a cada 2 horas.

Determinación de la mejor combinación de método de fermentación y lecho de secado, con relación al índice de fermentación y rendimiento de mazorca/kg a la calidad de T. cacao

1. Se recomienda el método de fermentación en caja de madera y lecho de secado de caja de madera obtiene un mayor porcentaje de fermentación.

2. Se recomienda el método de fermentación en caja de madera y lecho de secado de caja de madera obtiene un mayor rendimiento de granos/kilogramo seco.

Realizar el análisis económico para los tratamientos evaluados

1. Desde el punto de vista económico se recomiendan las combinaciones de método de fermentación con caja de madera y lecho de secado con caja de madera y el método de fermentación con sacos plásticos y medio de secado patio, los cuales presentan la mejor rentabilidad y beneficio/costo.

XI. REFERENCIAS.

- ANACAFÉ. (2004). *Cultivo de Cacao. Programa de diversificación de ingresos de la empresacafetalera*. <http://portal.anacafe.org/Portal/Documents/Documents/200412/33/7/Cultivo%20de%20Cacao.pdf>
- Arévalo Sánchez, M., González León, D., Maroto Arce, S., Delgado López, T., y Montoya López, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao: prácticas latinoamericanas*. [Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura]. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>
- 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, <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/métodos-de-fermentación>
- Holdridge, L.R (1977). *Clasificación de zonas de vida y formaciones vegetales de Guatemala*. Instituto Nacional Forestal.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura. IICA. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao*. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>
- Instituto Nacional de Aprendizaje. (s/f). *Proceso de fermentación del cacao*. <https://www.inapidte.ac.cr/pluginfile.php/25905/course/section/7205/Presentacion-Bien.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*. [Tesis, Facultad de Agronomía] USAC. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/2857/1/TESIS-AGRONOMIA.pdf>

Nogales, J. (2017). *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

Peñaherrera González, N. (2021). *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-PEÑAHERRERA-NANCY.pdf>

Ponce Martínez, S. (2023). *Diagnóstico de los agroecosistemas de Garcinia mangostana L. Clusiaceae "Mangostan" y Theobroma cacao L. Malvaceae "cacao" en finca la providencia San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez*. [Ejercicio Profesional Supervisado, Carrera de Agronomía Tropical.]. Centro Universitario del Sur Occidente. USAC

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

Puentes Páramo, Y., Menjivar Flores, J., Gómez Carabalí, A., y 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. <http://www.scielo.org.col/pdf/acag/v63n2/v63n2a07.pdf>

Ruiz Cruz, E., y 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. http://cunori.edu.gt/Informe_final_fermentacin_cacao_corregido.pdf

Statologos. (2022). *¿Qué es un diseño completamente al azar?* <https://statologos.com/diseño-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. <http://ri.ues.edu.sv/id/14544/1/1.pdf>

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

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

Vo. Bo.


Lcda. Ana Teresa Cap Yes de Gonzalez

Bibliotecaria CUNSUROC



XI. ANEXOS



Figura 35 Realización de la clasificación de los granos de *T. cacao*.



Figura 36 Secado de *T. cacao* prueba piloto.



Figura 37 Área de investigación en beneficiado de café antes de la investigación.



Figura 38 Área de investigación en beneficiado de café.

Tabla 31 Porcentaje de fermentación convertidos para evaluación del mejor método de fermentación.

Tratamientos	Repetición	
T1	I	8,94
T2	I	8,48
T3	I	3,16
T1	II	9,17
T2	II	8,77
T3	II	2,45
T1	III	8,77
T2	III	8,43
T3	III	2,00
T1	IV	8,90
T2	IV	8,31
T3	IV	3,46
T1	V	9,00
T2	V	8,90
T3	V	3,00

BOLETA DE CLASIFICACION DE GRANOS SECOS EN *T. cacao*

Número	FORMA			COLOR			CONSISTENCIA			CASCARILLA			INTERIOR DEL GRANO		
	A (Hinchado)	B (algo aplanado o pacho)	C (Aplanado)	A: café oscuro	B: rojizo o amarillo	C: Blanquecino a rojizo	A: Fácil de desbaratar	B: Se desbarata con los dedos con	C: es duro como hule solo se	A: Se desprende facilmente con los	B: Difícil se arranca con las uñas	C: Pegada al grano	A: Todo quebradito	B: No preenta	C: Solido

Figura 39 Boleta para clasificación de la calidad del grano seco de *T. cacao*

Tabla 32 Clasificación del tratamiento 1 de la calidad de *T. cacao*

TRATAMIENTO 1	CLASIFICACION			
	A	B	C	RECHAZO(PASILLA)
REPTICION 1	80	12	5	3
REPTICION 2	75	14	8	3
REPTICION 3	83	4	9	4
REPTICION 4	86	4	4	6
REPTICION 5	79	6	5	10
MEDIAS	80,6	8	6,20	5,20

Tabla 33 Clasificación del tratamiento 2 de la calidad de *T. cacao*.

TRATAMIENTO 2	CLASIFICACION			
	A	B	C	RECHAZO(PASILLA)
REPTICION 1	66	25	6	3
REPTICION 2	68	22	7	3
REPTICION 3	69	10	11	10
REPTICION 4	78	12	6	4
REPTICION 5	80	6	9	5
MEDIAS	72,2	15	7,80	5,00

Tabla 34 Clasificación del tratamiento 3 de la calidad de *T. cacao*.

TRATAMIENTO 3	CLASIFICACION			
	A	B	C	RECHAZO(PASILLA)
REPTICION 1	80	14	3	3
REPTICION 2	86	10	1	3
REPTICION 3	82	6	5	7
REPTICION 4	84	6	6	4

REPTICION 5	81	6	8	5
MEDIAS	82,6	8,4	4,60	4,40

Tabla 35 Clasificación del tratamiento 4 de la calidad de *T. cacao*.

TRATAMIENTO 4	CLASIFICACION			
	A	B	C	RECHAZO(PASILLA)
REPETICION 1	83	9	5	3
REPETICION 2	84	12	3	1
REPETICION 3	81	10	4	5
REPETICION 4	80	12	6	2
REPETICION 5	81	11	6	2
MEDIAS	81,8	10,8	4,80	2,60

Tabla 36 Clasificación del tratamiento 5 de la calidad de *T. cacao*.

TRATAMIENTO 5	CLASIFICACION			
	A	B	C	RECHAZO(PASILLA)
REPETICION 1	75	16	6	3
REPETICION 2	70	14	12	4
REPETICION 3	72	18	4	6
REPETICION 4	69	20	8	3
REPETICION 5	75	13	8	4
MEDIAS	72,2	16,2	7,60	4,00

Tabla 37 Clasificación del tratamiento 6 de la calidad de *T. cacao*.

TRATAMIENTO 6	CLASIFICACION			
	A	B	C	RECHAZO(PASILLA)
REPETICION 1	69	15	8	8
REPETICION 2	71	12	15	2
REPETICION 3	68	4	16	12
REPETICION 4	67	18	12	3

REPETICION 5	70	14	14	2
MEDIAS	69	12,6	13,00	5,40

Tabla 38 Clasificación del tratamiento 7 de la calidad de *T. cacao*.

TRATAMIENTO 7	CLASIFICACION			
	A	B	C	RECHAZO(PASILLA)
REPETICION 1	76	11	7	6
REPETICION 2	75	6	15	4
REPETICION 3	69	9	12	10
REPETICION 4	78	16	2	4
REPETICION 5	77	9	11	3
MEDIAS	75	10,2	9,40	5,40

Tabla 39 Clasificación del tratamiento 8 de la calidad de *T. cacao*.

TRATAMIENTO 8	CLASIFICACION			
	A	B	C	RECHAZO(PASILLA)
REPETICION 1	78	12	7	3
REPETICION 2	77	3	18	2
REPETICION 3	75	5	16	4
REPETICION 4	82	9	1	8
REPETICION 5	79	14	2	5
MEDIAS	78,2	8,6	8,80	4,40

Tabla 40 Clasificación del tratamiento 9 de la calidad de *T. cacao*.

TRATAMIENTO 9	CLASIFICACION			
	A	B	C	RECHAZO(PASILLA)
REPETICION 1	15	9	65	11
REPETICION 2	14	8	78	0
REPETICION 3	16	12	69	3
REPETICION 4	12	11	71	6
REPETICION 5	11	9	80	0

MEDIAS	13,6	9,8	72,60	4,00
--------	-------------	------------	--------------	-------------

Tabla 41 Clasificación del tratamiento 10 de la calidad de *T. cacao*.

TRATAMIENTO 10	CLASIFICACION			
	A	B	C	RECHAZO(PASILLA)
REPETICION 1	12	9	68	11
REPETICION 2	11	8	81	0
REPETICION 3	13	12	71	4
REPETICION 4	9	11	75	5
REPETICION 5	10	9	80	1
MEDIAS	11	9,8	75,00	4,20

Tabla 42 Clasificación del tratamiento 11 de la calidad de *T. cacao*.

TRATAMIENTO 11	CLASIFICACION			
	A	B	C	RECHAZO(PASILLA)
REPETICION 1	12	12	65	11
REPETICION 2	7	13	80	0
REPETICION 3	9	15	72	4
REPETICION 4	11	11	70	8
REPETICION 5	10	9	76	5
MEDIAS	9,8	12	72,60	5,60

Tabla 43 Clasificación del tratamiento 12 de la calidad de *T. cacao*.

TRATAMIENTO 12	CLASIFICACION			
	A	B	C	RECHAZO(PASILLA)
REPETICION 1	5	10	78	7
REPETICION 2	13	8	69	10
REPETICION 3	8	11	72	9
REPETICION 4	9	7	75	9

REPETICION 5	7	12	77	4
MEDIAS	8,4	9,6	74,20	7,80

Tabla 44 Datos de todos los tratamientos y repeticiones de rendimiento de grano/kilogramo seco.

Tratamiento	Repeticiones	Factor A	Factor B	Rendimiento
T1	I	A1: CAJA DE MADERA	B1: NYLON NEGRO	689
T2	I	A1: CAJA DE MADERA	B2: LAMINA METALICA	699
T3	I	A1: CAJA DE MADERA	B3: CAJA DE MADERA	615
T4	I	A1: CAJA DE MADERA	B4: TESTIGO	613
T5	I	A2: SACOS PLASTICOS	B1: NYLON NEGRO	701
T6	I	A2: SACOS PLASTICOS	B2: LAMINA METALICA	712
T7	I	A2: SACOS PLASTICOS	B3: CAJA DE MADERA	700
T8	I	A2: SACOS PLASTICOS	B4: TESTIGO	701
T9	I	A3: TESTIGO	B1: NYLON NEGRO	699
T10	I	A3: TESTIGO	B2: LAMINA METALICA	701
T11	I	A3: TESTIGO	B3: CAJA DE MADERA	701
T12	I	A3: TESTIGO	B4: TESTIGO	736
T1	II	A1: CAJA DE MADERA	B1: NYLON NEGRO	701
T2	II	A1: CAJA DE MADERA	B2: LAMINA METALICA	712
T3	II	A1: CAJA DE MADERA	B3: CAJA DE MADERA	612
T4	II	A1: CAJA DE MADERA	B4: TESTIGO	612
T5	II	A2: SACOS PLASTICOS	B1: NYLON NEGRO	707
T6	II	A2: SACOS PLASTICOS	B2: LAMINA METALICA	720
T7	II	A2: SACOS PLASTICOS	B3: CAJA DE MADERA	707
T8	II	A2: SACOS PLASTICOS	B4: TESTIGO	689
T9	II	A3: TESTIGO	B1: NYLON NEGRO	689
T10	II	A3: TESTIGO	B2: LAMINA METALICA	700
T11	II	A3: TESTIGO	B3: CAJA DE MADERA	707
T12	II	A3: TESTIGO	B4: TESTIGO	725
T1	III	A1: CAJA DE MADERA	B1: NYLON NEGRO	675
T2	III	A1: CAJA DE MADERA	B2: LAMINA METALICA	706
T3	III	A1: CAJA DE MADERA	B3: CAJA DE MADERA	606
T4	III	A1: CAJA DE MADERA	B4: TESTIGO	618
T5	III	A2: SACOS PLASTICOS	B1: NYLON NEGRO	689
T6	III	A2: SACOS PLASTICOS	B2: LAMINA METALICA	706
T7	III	A2: SACOS PLASTICOS	B3: CAJA DE MADERA	698
T8	III	A2: SACOS PLASTICOS	B4: TESTIGO	677
T9	III	A3: TESTIGO	B1: NYLON NEGRO	712
T10	III	A3: TESTIGO	B2: LAMINA METALICA	705

T11	III	A3: TESTIGO	B3: CAJA DE MADERA	715
T12	III	A3: TESTIGO	B4: TESTIGO	722
T1	IV	A1: CAJA DE MADERA	B1: NYLON NEGRO	666
T2	IV	A1: CAJA DE MADERA	B2: LAMINA METALICA	702
T3	IV	A1: CAJA DE MADERA	B3: CAJA DE MADERA	620
T4	IV	A1: CAJA DE MADERA	B4: TESTIGO	633
T5	IV	A2: SACOS PLASTICOS	B1: NYLON NEGRO	697
T6	IV	A2: SACOS PLASTICOS	B2: LAMINA METALICA	731
T7	IV	A2: SACOS PLASTICOS	B3: CAJA DE MADERA	687
T8	IV	A2: SACOS PLASTICOS	B4: TESTIGO	645
T9	IV	A3: TESTIGO	B1: NYLON NEGRO	705
T10	IV	A3: TESTIGO	B2: LAMINA METALICA	712
T11	IV	A3: TESTIGO	B3: CAJA DE MADERA	709
T12	IV	A3: TESTIGO	B4: TESTIGO	718
T1	V	A1: CAJA DE MADERA	B1: NYLON NEGRO	653
T2	V	A1: CAJA DE MADERA	B2: LAMINA METALICA	700
T3	V	A1: CAJA DE MADERA	B3: CAJA DE MADERA	600
T4	V	A1: CAJA DE MADERA	B4: TESTIGO	607
T5	V	A2: SACOS PLASTICOS	B1: NYLON NEGRO	683
T6	V	A2: SACOS PLASTICOS	B2: LAMINA METALICA	718
T7	V	A2: SACOS PLASTICOS	B3: CAJA DE MADERA	682
T8	V	A2: SACOS PLASTICOS	B4: TESTIGO	656
T9	V	A3: TESTIGO	B1: NYLON NEGRO	706
T10	V	A3: TESTIGO	B2: LAMINA METALICA	698
T11	V	A3: TESTIGO	B3: CAJA DE MADERA	711
T12	V	A3: TESTIGO	B4: TESTIGO	733

Tabla 45 Datos de todos los tratamientos y repeticiones de porcentaje de fermentaciones convertidas.

Tratamiento	Repeticiones	Factor A	Factor B	Porcentaje de Fermentación
T1	I	A1: CAJA DE MADERA	B1: NYLON NEGRO	8,89
T2	I	A1: CAJA DE MADERA	B2: LAMINA METALICA	8,77
T3	I	A1: CAJA DE MADERA	B3: CAJA DE MADERA	8,94
T4	I	A1: CAJA DE MADERA	B4: TESTIGO	8,89
T5	I	A2: SACOS PLASTICOS	B1: NYLON NEGRO	8,89
T6	I	A2: SACOS PLASTICOS	B2: LAMINA METALICA	8,77
T7	I	A2: SACOS PLASTICOS	B3: CAJA DE MADERA	8,83
T8	I	A2: SACOS PLASTICOS	B4: TESTIGO	8,83
T9	I	A3: TESTIGO	B1: NYLON NEGRO	5,74
T10	I	A3: TESTIGO	B2: LAMINA METALICA	6,48
T11	I	A3: TESTIGO	B3: CAJA DE MADERA	6,71
T12	I	A3: TESTIGO	B4: TESTIGO	6,63
T1	II	A1: CAJA DE MADERA	B1: NYLON NEGRO	8,83
T2	II	A1: CAJA DE MADERA	B2: LAMINA METALICA	8,72
T3	II	A1: CAJA DE MADERA	B3: CAJA DE MADERA	9,00
T4	II	A1: CAJA DE MADERA	B4: TESTIGO	8,94
T5	II	A2: SACOS PLASTICOS	B1: NYLON NEGRO	8,77
T6	II	A2: SACOS PLASTICOS	B2: LAMINA METALICA	8,72
T7	II	A2: SACOS PLASTICOS	B3: CAJA DE MADERA	8,77
T8	II	A2: SACOS PLASTICOS	B4: TESTIGO	8,77
T9	II	A3: TESTIGO	B1: NYLON NEGRO	5,66
T10	II	A3: TESTIGO	B2: LAMINA METALICA	6,40
T11	II	A3: TESTIGO	B3: CAJA DE MADERA	6,86
T12	II	A3: TESTIGO	B4: TESTIGO	6,56
T1	III	A1: CAJA DE MADERA	B1: NYLON NEGRO	8,89
T2	III	A1: CAJA DE MADERA	B2: LAMINA METALICA	8,89
T3	III	A1: CAJA DE MADERA	B3: CAJA DE MADERA	9,06
T4	III	A1: CAJA DE MADERA	B4: TESTIGO	8,94
T5	III	A2: SACOS PLASTICOS	B1: NYLON NEGRO	8,83
T6	III	A2: SACOS PLASTICOS	B2: LAMINA METALICA	8,60
T7	III	A2: SACOS PLASTICOS	B3: CAJA DE MADERA	8,72

T8	III	A2: SACOS PLASTICOS	B4: TESTIGO	8,72
T9	III	A3: TESTIGO	B1: NYLON NEGRO	6,71
T10	III	A3: TESTIGO	B2: LAMINA METALICA	7,14
T11	III	A3: TESTIGO	B3: CAJA DE MADERA	6,63
T12	III	A3: TESTIGO	B4: TESTIGO	6,63
T1	IV	A1: CAJA DE MADERA	B1: NYLON NEGRO	8,77
T2	IV	A1: CAJA DE MADERA	B2: LAMINA METALICA	8,77
T3	IV	A1: CAJA DE MADERA	B3: CAJA DE MADERA	8,94
T4	IV	A1: CAJA DE MADERA	B4: TESTIGO	8,83
T5	IV	A2: SACOS PLASTICOS	B1: NYLON NEGRO	8,77
T6	IV	A2: SACOS PLASTICOS	B2: LAMINA METALICA	8,83
T7	IV	A2: SACOS PLASTICOS	B3: CAJA DE MADERA	8,89
T8	IV	A2: SACOS PLASTICOS	B4: TESTIGO	8,89
T9	IV	A3: TESTIGO	B1: NYLON NEGRO	6,48
T10	IV	A3: TESTIGO	B2: LAMINA METALICA	7,00
T11	IV	A3: TESTIGO	B3: CAJA DE MADERA	6,40
T12	IV	A3: TESTIGO	B4: TESTIGO	6,78
T1	V	A1: CAJA DE MADERA	B1: NYLON NEGRO	8,94
T2	V	A1: CAJA DE MADERA	B2: LAMINA METALICA	8,89
T3	V	A1: CAJA DE MADERA	B3: CAJA DE MADERA	9,11
T4	V	A1: CAJA DE MADERA	B4: TESTIGO	9,00
T5	V	A2: SACOS PLASTICOS	B1: NYLON NEGRO	8,94
T6	V	A2: SACOS PLASTICOS	B2: LAMINA METALICA	8,77
T7	V	A2: SACOS PLASTICOS	B3: CAJA DE MADERA	8,89
T8	V	A2: SACOS PLASTICOS	B4: TESTIGO	8,77
T9	V	A3: TESTIGO	B1: NYLON NEGRO	6,63
T10	V	A3: TESTIGO	B2: LAMINA METALICA	6,93
T11	V	A3: TESTIGO	B3: CAJA DE MADERA	7,00
T12	V	A3: TESTIGO	B4: TESTIGO	6,71

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUR OCCIDENTE

Mazatenango, 19 de octubre de 2023

Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales
Coordinador de carrera Agronomía Tropical
Centro Universitario de Sur Occidente

Estimado Dr. Otzoy:

Le saludo cordialmente deseando éxitos al frente de la coordinación de la carrera de Agronomía Tropical del CUNSUROC.

El motivo de la presente es para hacer de su conocimiento que he leído y revisado el documento de Investigación Inferencial de la estudiante Sara María Magdalena Ponce Martínez, Carné: 201840738 de la carrera de ingeniería, titulado: **Evaluación de tres métodos de fermentación y cuatro lechos de secado en el beneficiado de *Theobroma cacao* L., *Malvaceae*, "Cacao", en finca La Providencia, San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez.**

El documento fue revisado en su totalidad y cumple con los objetivos y requisitos para trabajo de graduación, por lo que en mi calidad de asesor doy dictamen de aprobación para que pueda ser sometido a revisión final por su persona.

Atentamente,



M.Sc. Martin Salvador Sánchez Cruz

Asesor de Ejercicio Profesional Supervisado

Mazatenango, 23 de Octubre de 2023.

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

Respetable Sr. Director

Con fundamento en el normativo de Trabajo de Graduación de la Carrera de Agronomía Tropical, me permito hacer de su conocimiento que la estudiante T.P.A **Sara María Magdalena Ponce Martínez, Carné: 201840738**, ha concluido su trabajo de graduación titulado: **Evaluación de tres métodos de fermentación y cuatro lechos de secado en el beneficiado de *Theobroma cacao* L., Malvaceae, "Cacao", en finca La Providencia, San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez**, 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 T.P.A Ponce Martínez, 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 de carrera





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

CUNSUROC/USAC-I-008-2024

DIRECCION DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,
Mazatenango, Suchitepéquez, veintidós de febrero 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 DE FERMENTACIÓN Y CUATRO
LECHOS DE SECADO EN EL BENEFICIADO DE *Theobroma cacao L., Malvaceae*,
“CACAO”, EN FINCA LA PROVIDENCIA, SAN FRANCISCO ZAPOTITLÁN”, de
la estudiante: TPA. Sara María Magdalena Ponce Martínez. Carné: 201840738. CUI:
3232 80681 1001 de la carrera Ingeniería en Agronomía Tropical.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

M.A. Luis Carlos Muñoz López
Director



/gris