

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UN SISTEMA ROTATIVO
PARA MEJORAR EL PROCESO DE FERMENTACIÓN DE CACAO**



DEIMER ORTIZ CHARRIS

Director

GONZALO GUILLERMO MORENO

PhD Ingeniería Mecánica

Co-Director

ALBERT MIYER SUAREZ CASTRILLÓN

PhD Ingeniería Mecánico

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECATRÓNICA
E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, 20/06/2022**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UN SISTEMA ROTATIVO
PARA MEJORAR EL PROCESO DE FERMENTACIÓN DE CACAO**

DEIMER ORTIZ CHARRIS

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

Director: GONZALO GUILLERMO MORENO

PhD Ing. Mecánico

Email: gmoren@unipamplona.edu.co

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECATRÓNICA
E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS**

PAMPLONA, 20/06/2022

DEDICATORIA

A Dios, que siempre me motivo a seguir adelante y cumplir mis sueños, a mi hermano quien me ofreció su apoyo incondicional.

A mi esposa Yimena maría Cardoza sierra y amigos cercanos, que de alguna u otra forma hicieron partícipes de este logro a mis docentes y compañeros de universidad, los cuales mediante sus interacciones y aprendizaje me permitieron formarme como profesional y ser humano integral.

Y a todas las personas que creyeron u apoyaron este sueño, el cual se logró por la fe y la esperanza de éxito que cada uno de ellos depositó en mí.

AGRADECIMIENTOS

A los docentes que participaron en esta investigación con tanta amabilidad y disposición, y que hicieron posible este estudio.

A mis profesores que me acompañaron en mi proceso de formación universitaria como ingeniero mecánico, los cuales me aportaron todo el conocimiento y las herramientas para direccionar mi proyecto de vida y poder desarrollar todas las competencias profesionales como ingeniero mecánico en el quehacer diario.

Especialmente a mi director y codirector de investigación, Dr. Gonzalo Guillermo Moreno, y Dr. Albert Miyer Suarez Castrillón; quienes me guiaron en este trabajo, se preocuparon y orientaron esta investigación con tanta calidez y siempre estuvieron motivándome para llegar a la meta. También, a mi familia por su apoyo incondicional y motivación constante. Finalmente, a todos los que de una manera u otra contribuyeron para que logré culminar esta etapa de mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	11
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
3.	OBJETIVOS	16
3.1	Objetivo general	16
3.2	Objetivos específicos	16
4.	JUSTIFICACIÓN.....	17
5.	ESTADO ACTUAL.	19
5.1	Investigaciones internacionales	19
5.2	Investigaciones nacionales.	21
5.3	Proceso de fermentación utilizado por los cultivadores de cacao de majagual - sucre. 22	
5.4	Finca seleccionada para la investigación.	25
6.	MARCO TEORICO	26
6.1	Aspectos generales del cacao	26
6.2	Fermentación del cacao.....	27
6.3	Métodos fermentación.....	27
6.4	Secado	29
6.5	Norma Icontec 1252 última versión 17/03/2021	30
6.6	Construcción del prototipo de sistema de fermentación	31
6.6.1	Construcción de la estructura y elementos del sistema rotativo.....	31
6.6.2	Construcción del recipiente de fermentación	32
6.6.3	Filtro protector de fique	33
6.6.4	Sistema rotativo.	33
7.	METODOLOGIA	35
7.1	Metodología de investigación.....	35
7.1.1	Identificación de la características y factores de fermentación.	35
7.2	Estrategia planteada en las fermentaciones de la finca Villa Sary	36
7.2.1	Configuración de producción de la finca Villa Sary	36
7.2.2	Pruebas	37
7.2.3	Configuración de producción en el sistema rotativo	41
7.2.4	Despulpado.....	42
7.2.5	Pruebas	43
7.2.5.1	Toma y registro de temperatura.....	43
7.2.5.2	Termómetro clock / Humidity HTC-2.	44
7.2.6	Fermentación del cacao.....	45

7.2.7	Humedad.	47
7.2.8	Toma y Registro de acidez	47
7.2.9	Volteos de la masa de cacao	48
7.2.10	Secado.	49
7.2.11	Prueba de corte	50
8.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	54
8.1	Análisis de las pruebas de temperatura, acidez, humedad.	54
8.1.1	Temperatura ambiente	54
8.1.2	Promedios de temperaturas interna del recipiente de fermentación	55
8.1.3	Porcentaje de humedad	57
8.1.4	Porcentaje de acidez.....	58
8.1.5	Peso de las almendras secas y reducción de peso.....	60
8.2	Análisis de la prueba de calidad	61
8.2.1	Gráfica del promedio de la prueba de corte	61
8.2.2	Comparación de los Sistema rotativo Grupo (4) vs Grupo (2) finca Villa Sary ..	63
8.3	Los puntos óptimos del del funcionamiento del sistema rotativo	64
9.	CONCLUSIONES	65
10.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	67
	Manual de fermentación aplicando el uso del sistema rotativo.	68
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
12.	ANEXOS	72

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Configuración de los ensayos finca Villa Sary	39
Tabla 2 Porcentaje de reducción de las almendras fermentadas	40
Tabla 3 Resultado de la prueba de corte de la finca Villa Sary.....	40
Tabla 4 Kilogramo de la masa de cacao en cada test.....	43
Tabla 5 Tiempo de fermentación aplicado al test del sistema rotativo.....	46
Tabla 6 Número de volteos por test	48
Tabla 7 Tiempo de fermentación aplicado en el sistema rotativo	49
Tabla 8 Características de los grupos.....	51
Tabla 9 Promedios de las pruebas de corte del Sistema Rotativo	52
Tabla 10 Promedios de las pruebas de corte del Sistema Rotativo	53
Tabla 11 Punto óptimo del funcionamiento del equipo.	64
Tabla 12 Calendario de fermentación finca Villa sary	73
Tabla 13 Planilla para registro de la temperatura termómetro T300	73
Tabla 14 Planilla para registro de temperatura termómetro clock / humidity htc-2.	74
Tabla 15 Planilla de recolección de humedad	75
Tabla 16 Planilla de recolección de acidez	75
Tabla 17 Promedios de las variables analizadas Grupo Villa Sary	76
Tabla 18 Tabla promedios de temperatura ambiente de la finca Villa Sary.	77
Tabla 19 Planilla de descripción de pruebas de cortes	77
Tabla 20 Promedios de las pruebas de corte de cada grupo 1 de la finca Villa Sary	78
Tabla 21 Calendario de fermentación del Sistema Rotativo Grupo 1	79
Tabla 22 Calendario de fermentación del Sistema Rotativo Grupo 2	80
Tabla 23 Calendario de fermentación del Sistema Rotativo Grupo 3	80

TABLA DE IMÁGENES

Imagen 1 Diagrama de post cosecha.....	13
Imagen 2 Técnica actual de volteo aplicada por los agricultores.	14
Imagen 3 Mucilago con deterioro por aplicación del método de palas.	15
Imagen 4 Sistema rotativo.....	15
Imagen 5 Recipiente de utilizado para fermentar por los cultivadores.....	23
Imagen 6 Tapa del recipiente de fermentación.....	23
Imagen 7 Lugar de reposo del cacao durante la fermentación.	24
Imagen 8 Embalse utilizado para el secado.....	25
Imagen 9 Empacado del cacao.	25
Imagen 10 Finca Villa Sary.....	25
Imagen 11 Fermentación en cajón de madera de nivel.	28
Imagen 12 Fermentación tipo escalera.....	28
Imagen 13 Fermentación en saco.....	29
Imagen 14 Norma Icontec	30
Imagen 15 Estructura soporte.....	31
Imagen 16 Eje y Chumacera izquierda.....	31
Imagen 17 Sistema biela manivela y Chumacera derecha.	32
Imagen 18 Recipiente fermentador del Sistema rotativo.....	33
Imagen 19 Recipiente fermentador del Sistema rotativo.....	33
Imagen 20 Filtro de fique.	33
Imagen 21 Sistema rotativo.	34
Imagen 22 Metodología del diseño planteado.....	35
Imagen 23 Diagrama de producción aplicado en la finca Villa Sary.	37
Imagen 24 Toma de temperatura ambiente	38
Imagen 25 Puntos de medición.....	38
Imagen 26 Niveles de medición	38
Imagen 27 Volteos de la finca Villa Sary	39
Imagen 28 Esquema del proceso de fermentación	41
Imagen 29 Conformación de las fermentaciones del sistema rotativo	42
Imagen 30 Corte de la mazorca.	43
Imagen 31 Despulpado de forma manual.....	43
Imagen 32 Vista de planta de los puntos de toma de temperatura.....	44
Imagen 33 Vista frontal de los planos temperatura	44
Imagen 34 Registro de toma de temperatura superficial método manual	44
Imagen 35 Vista de planta de los puntos de temperatura.....	45
Imagen 36 Vista frontal de los planos temperatura.....	45
Imagen 37 Ubicación de la sonda en el centro de la masa de cacao.....	45
Imagen 38 Ubicación de la sonda cerca de las paredes del recipiente de fermentación.....	45
Imagen 39 Fruta de cacao recién despulpada.....	46

Imagen 40 Cacao con un día de fermentación.....	46
Imagen 41 Fruta de cacao en periodo de fermentación.....	46
Imagen 42 Punto de medición de la humedad.....	47
Imagen 43 Humedad relativa mínima.....	47
Imagen 44 Medición de la acidez en Brix.....	48
Imagen 45 Toma de muestra de acidez.	48
Imagen 46 Nivel de acidez del cacao.....	48
Imagen 47 Pasos para aplicar el volteo utilizando el sistema rotativo.....	49
Imagen 48 Secado natural de las almendras.....	50
Imagen 49 Prueba de corte del sistema rotativo.	51
Imagen 50 Corte transversal de las almendras.	51
Imagen 51 Grupo 4	51
Imagen 52 Grupo Villa Sary.....	51
Imagen 53 Vista Isométrica.....	72

TABLA DE FIGURAS

Figura 1	Promedios de temperatura ambiente Villa Sary	54
Figura 2	Promedios de temperatura ambiente del Sistema Rotativo	55
Figura 3	Promedios de temperaturas del recipiente de fermentación	56
Figura 4	Promedios de temperaturas del recipiente de fermentación del sistema rotativo	56
Figura 5	Promedios de humedad de la Finca Villa Sary	57
Figura 6	Promedios de humedad del Sistema Rotativo	58
Figura 7	Promedios de Acidez de la Finca Villa Sary	59
Figura 8	Promedios de acidez del Sistema Rotativo.....	59
Figura 9	Peso de almendras secas Villa Sary	60
Figura 10	Peso de almendras secas Sistema Rotativo	60
Figura 11	Promedios de prueba de corte Sistema Rotativo.....	62
Figura 12	Grupos con mayores almendras bien fermentadas.....	63

1. INTRODUCCIÓN

El cacao en colombiano, en la actualidad es reconocido mundialmente, por su sabor y aroma, y por el progreso que viene presentado en cuanto la calidad (Álvarez, 2007).

La producción de cacao en el 2021 logro récord histórico en exportación, al registrar una cifra de 68.040 toneladas de granos secos, lo que representa un crecimiento de 4.9% del producto, esto debido a la implementación de nuevos programas de renovación de cultivos y técnicas de innovación en los procesos de fermentación por los cacao cultores (Fedecacao, 2022).

Los procesos de fermentación del cacao se llevan a cabo en un periodo de 5 a 6 días a través de la transformación azúcares de la fruta en ácido lácticos, ácido acético y etanol, garantizando así la muerte del embrión, asegurando a la almendra de cacao tener una textura arriñonada, durante el proceso es necesario voltear y airear la masa diariamente a la misma hora, para dar uniformidad en la fermentación las almendras. (Morales, 2020), un cacao fino de sabor y aroma se desarrolla teniendo en cuenta, la implementación de un método apropiado de fermentación y el control de los variables que afecta la calidad.

Los sistemas de fermentación comúnmente usados son, las cajas de madera, donde se realizan el proceso de fermentación, asimismo encontramos los cajones tipo escalera donde se aprovecha la gravedad en para llevar a cabo el proceso curado, también encontramos la fermentación en montones, la cual consiste en amontonar las frutas en un dental de caña, hasta su fermentación. Estos sistemas de fermentación anteriores mencionados utilizan palas plásticas para el volteo durante la fermentación, lo cual produce daños al mucilago.

Con base en lo anterior, las variables que pueden afectan la calidad de la fermentación del cacao, el volteo, el mezclado, el tiempo de fermentación, la variación de la temperatura, la acidez, el color y secado. En el presente trabajo se diseñó un prototipo de sistema rotativo que facilite en el proceso de fermentación del cacao con el objetivo de mejorar el proceso de fermentación de cacao, por los cacao cultores de Majagual Sucre, desarrollado con los siguientes capítulos: en el primero, se especifica el marco teórico donde se abordan los aspectos generales, características del proceso de fermentación del cacao.

Continuando con esta línea, en el capítulo de metodología se describe la configuración de la fermentación de la finca Villa Sary, del sistema rotativo, y las estrategias planteadas en la fermentación y prueba de calidad durante la investigación, los resultados de los ensayos y pruebas de corte fueron comparadas entre las dos configuraciones.

Finalmente, las conclusiones, la implementación del Sistema rotativo para realizar los volteos del cacao en el proceso de fermentación, género mejoras a la calidad de las almendras de cacao, en comparación con la calidad de las almendras obtenidas por el método tradicional, cabe destacar

que, el sistema rotativo, se puede aplicar con un mayor grado de confiabilidad en la fermentación, si se fermenta cacao trinitario y criollo.

Con base en esto, se desarrolló un manual de funcionamiento del Sistema rotativo, para las cooperativas de cacao de Majagual – Sucre.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cacao, a nivel mundial, es un producto utilizado por empresas del ramo alimenticio y cosmético, para lo cual se necesita que el producto cumpla con los parámetros organolépticos, olor, color, sabor y unas excelentes condiciones de calidad, por consiguiente, para los productores es de gran importancia enfocarse en realizar un excelente proceso de postcosecha del cacao.

Como se indica en la Imagen 1, el proceso de postcosecha se procede de manera manual y secuencial, iniciando con la recolección del fruto, quebrado de la corteza de cada mazorca madura, obtención, la masa de cacao, fermentación” reposó de las almendras” Remoción y Aireación de las almendras con palas plásticas”, finalmente se realiza el secado, selección y empaque del producto final.

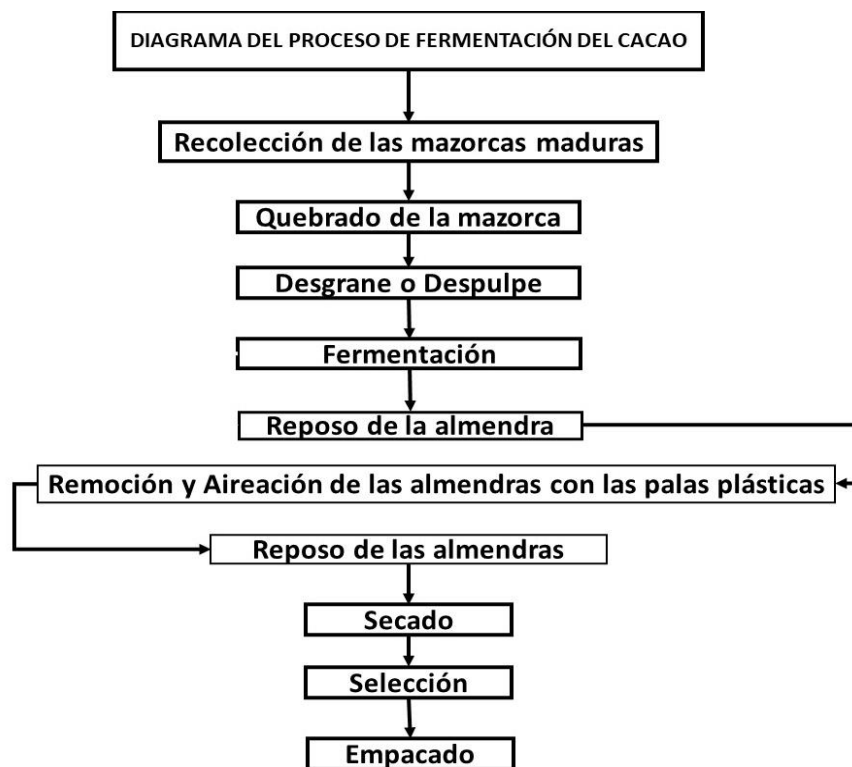


Imagen 1 Diagrama de post cosecha.

Fuente Autor

Del proceso descrito del cacao se sabe que, una parte fundamental de la calidad de este, se da en la fase de fermentación, en la cual se deben dar dos condiciones indispensables:

- La primera es la reacción anaeróbica: proceso mediante el cual se dejar en reposo los granos de cacao en el cajón sin presencia de aire, lo que produce la liberación de calor, esto eleva la

temperatura de la masa de cacao, afectando el embrión de la semilla para lograr evitar la germinación de la almendra, esto garantiza que el cacao cumpla con los estándares de inocuidad, sabor y olor requeridos por el mercado.

- La segunda reacción es aeróbica: para que se efectúe este proceso se requiere del ingreso controlado de oxígeno en la masa de cacao, lo cual permite la formación de alcohol, ácido láctico y ácido acético que impermeabilizan la testa o membrana que cubre los granos. Durante esta reacción se aplica una técnica coloquialmente conocida entre los agricultores como “volteo” de la materia prima (cacao), donde se realiza la rotación del cacao para mover todas las almendras, logrando así una rotación de las semillas en el cajón.

El proceso de volteo, se debe realizar inicialmente a las 24 horas de iniciado el proceso, y posteriormente cada 24 horas, hasta completar un tiempo que varía de entre cuatro y seis días, dependiendo la calidad de la fermentación y las condiciones climáticas. Este proceso se hace de forma manual (ver Imagen 2), para lo cual se utilizan palas de madera para poder pasar la masa de cacao de un cajón a otro, lo cual daña las almendras y no permite que el proceso sea completamente homogéneo, esto se ve reflejado en la producción y calidad del producto.



Imagen 2 Técnica actual de volteo aplicada por los agricultores.

Fuente Autor

Debido a que el proceso muchas veces no es el adecuado, las semillas presentan partes blancas o moho, como resultado de una mala aeración y fermentación, como se puede observar en la (ver Imagen 3).

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, en este proyecto se plantea el desarrollo de un sistema rotativo, el cual permita tener mayor control del proceso de fermentación del cacao y por consiguiente mejorar su producción y calidad. En este sentido, en la Imagen 4 se visualiza el sistema rotativo propuesto, el cual consta de un recipiente de fermentación y de un recipiente contenedor que permitirá el volteo adecuado de la masa, sin causar daños en esta.



Imagen 3 Mucilago con deterioro por aplicación del método de palas.
Fuente Autor

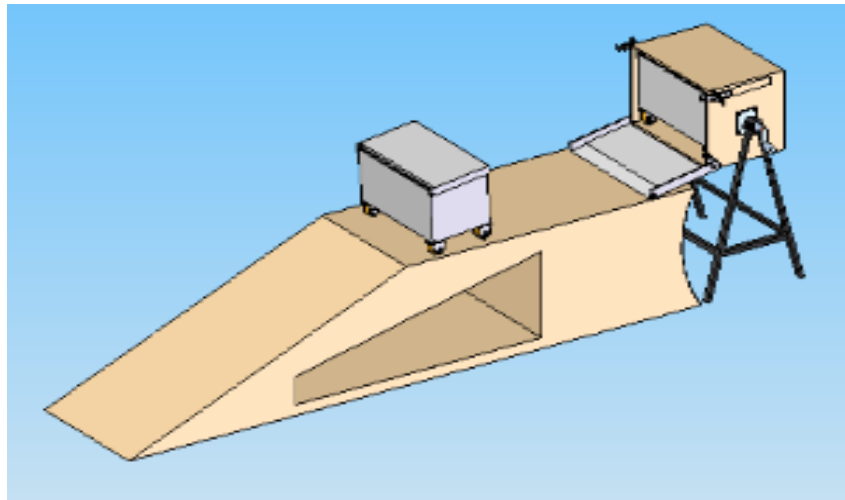


Imagen 4 Sistema rotativo.
Fuente Autor

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema rotativo que facilite en el proceso de fermentación del cacao con el objetivo de mejorar el proceso de fermentación de cacao.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características y fases a tener en cuenta en el proceso de fermentación del cacao.
- Diseñar y construir un prototipo de sistema rotativo para realizar las pruebas de fermentación.
- Realizar diferentes pruebas de fermentación para determinar los puntos óptimos de funcionamiento del prototipo propuesto.
- Estandarizar el proceso de fermentación de tal forma que se pueda hacer a mayor escala, y posteriormente ser presentarlo a las Cooperativas de Majagual (Sucre).
- Desarrollar un manual de uso del prototipo.

4. JUSTIFICACIÓN

Implementar el sistema rotativo en la fermentación del cacao, ya que genera una mejor calidad en las almendras, al reducir el deterioro prematuro del mucilago en el momento de realizar la remoción (volteos) y aireación del cacao. Así pues, durante el proceso de fermentación se produce en el cacao la pérdida del mucilago y la muerte del embrión, también en este tratamiento suceden otros cambios bioquímicos y físicos que determinan la calidad final del cacao, inicialmente los azúcares que contiene la pulpa sufren una transformación por parte de bacterias convirtiéndolas en alcohol; cuando el cacao está en reposo en los cajones sin presencia de aire. La liberación de calor eleva la temperatura de la masa afectando el embrión de la semilla. Para así; evitar su germinación, luego ocurre la transformación del alcohol en ácido acético, el cual penetra los cotiledones ayudando a la muerte del embrión.

Debido esto, los granos en el cajón van tomando a lo largo de la fermentación una tonalidad café o marrón claro, con una hinchazón en la almendra. Para poder determinar el tiempo de la fermentación se debe tener en cuenta las condiciones climáticas de la finca, el material genético del fruto y la infraestructura usada “Recipiente de fermentación”. Esto es importante, ya que, si las condiciones climáticas son muy variantes, la temperatura también presentará variación, por lo tanto, no se podrá tener una condición de temperatura ideal para la fermentación.

Para conocer el punto óptimo de fermentación del cacao es necesario, es de vital importancia realizar el monitoreo de la temperatura de la masa de cacao, la cual oscila entre los 45 °C y los 50 °C. Así mismo proteger el producto de las condiciones climáticas adversas como las heladas que ocurren frecuentemente en las horas de la madrugada; además deben controlar los volteos o mezclado. es decir, estar atento a realizar los volteos en el tiempo determinado por el caco cultor, Se puede lograr obtener una fermentación del cacao uniforme y así un producto de excelente calidad, aroma y sabor, como prometen los agricultores a mediano plazo.

El presente proyecto se plantea pensando en generar beneficios al agricultor, dado que el cultivo de cacao en las regiones va tomando fuerza año tras año. A futuro se espera que la producción del sector aumente significativamente en el mediano plazo, ya que Colombia cuenta con una cantidad considerable de hectáreas sembradas con cultivos de cacao. Esto debido las buenas condiciones de microclima, suelos y por su puesto la vocación laboriosa de la gran familia de agricultores de los departamentos de Santander, Arauca, Antioquia, Huila, Norte de Santander, córdoba, Bolívar y Sucre.

Por estas razones, en el municipio de Majagual (Sucre), el cacao es producido en su gran mayoría por pequeños productores, los cuales realizan todos los procesos de forma manual, tal cual como les enseñaron sus ancestros, en muchos casos no obteniendo todos los beneficios que este fruto

aporta, debido al inadecuado manejo del proceso de remoción y aireación, “por contaminantes o desprendimiento del grano de cacao” durante la realización del proceso de mezclado.

Por consiguiente, la presente propuesta es diseñar y construir un prototipo que ayude a mejorar el proceso de fermentación para el cacao, y permita al productor beneficiar sé aprovechando las propiedades que se obtienen del cacao. Al mejorar el proceso de fermentación y obtener un producto (chocolate) de mejor calidad y sabor.

5. ESTADO ACTUAL.

En este apartado se darán a conocer algunas investigaciones a nivel internacional, nacional que aportan al proceso de investigación, ofreciendo una mirada holística de las metodologías y pasos a seguir durante la investigación.

5.1 INVESTIGACIONES INTERNACIONALES

De acuerdo con Sosa (2018) en la cadena productiva del cacao se distinguen dos eslabones, el primero corresponde a la producción del cacao, en el cual se encuentra el proceso de fermentación y secado, y el segundo eslabón corresponde a los conglomerados industriales, los cuales compran, transforman y comercializan el producto. En este sentido, cabe resaltar a países como Costa de marfil, Ghana e Indonesia, los cuales se destacan por su producción, y países como Ecuador, Costa rica, Perú, Brasil, México y Cuba, los cuales se destacan como transformadores a nivel mundial.

Por otro lado, dentro del proceso de producción se distinguen dos tipos de cacaos, el básico y el de fino aroma, siendo este último el de mayor valor agregado, debido a sus condiciones de aroma y sabor (Lastra, 2004). Es precisamente en este proceso, donde se encuentra la fase de fermentación, la cual depende del agricultor. ya que, él determina la técnica a utilizar para mejorar su proceso, y así incrementar su producción y la alta calidad del producto final.

En la configuración de la fermentación espontánea, se realizan procesos que determinan los productos finales y la variable de calidad debido a factores externos como la contaminación ambiental microbiana de la masa de pulpa de cacao en granos y las prácticas agrícolas aplicadas. En concordancia, De Vuyst & Weckx (2016) en su revisión ofrecen una actualización de la microbiología y bioquímica del proceso de fermentación del grano de cacao, en particular teniendo en cuenta los estudios moleculares de estos aspectos durante la última década y el impacto de los nuevos datos de este proceso. Por ende, los estudios multifásicos de varios procesos han revelado que las buenas prácticas agrícolas y operativas de la finca conducen a una diversidad de especies restringida y un proceso exitoso de fermentación del grano de cacao (con respecto a la dinámica de la comunidad y la producción de metabolitos).

Hablando de este proceso de fermentación, surgen una serie de problemáticas en las que se destacan las contaminaciones ambientales causadas por el suelo, el aire, el polvo y los insectos circundantes, así como por las mazorcas de cacao (cuyas superficies se supone que son la fuente de inoculación más importante), las hojas de banano y plátano utilizadas para construir los montones y cubrir las cajas utensilios y equipos utilizados. De este aspecto, la investigación de Hatmi et al. (2015) muestra la puesta a pruebas de tres cajones de fermentación, cada uno con un diseño y características, diferentes ensayados entre tres y cinco días, para medir el nivel de hongos producidos por los cajones durante el tiempo de fermentación pudiendo encontrar que, el cajón menor nivel de hongos es la caja individual diseño de manivela ofrece material y espacio más

eficiente y temperatura óptima $>400\text{ C}$ y produce el nivel de hongos de (1.33%) en cinco días de fermentación.

De esta investigación igualmente se destaca que un cacao bien fermentado es fácil de identificar incluso sin la experiencia requerida. De conformidad, Castro et al. (2019) en su revisión donde analiza la producción de precursores aromáticos del cacao criollo y forastero mediante el estudio de cinética de la fermentación espontánea y el papel de los cultivos iniciadores, utilizó modelos matemáticos para predecir estas concentraciones en un tiempo determinado y los resultados esperados, teniendo en cuenta el origen y factores (Agranel o fino), siendo estos los responsables del sabor y aroma del cacao al origen genético y a las pirazinas que son los compuestos predominantes según la genética de esta. “linalol” a quien se le atribuye el fino aroma del cacao, por ende, al cacao fino se le atribuye mayor cantidad de linalol.

En el estudio, el análisis de componentes principales, se utilizó para determinar los efectos del periodo de fermentación y secado sobre la composición de compuestos volátiles en los granos de cacao. Estos experimentos mostraron algunos compuestos, en los que se especifica el desarrollo del sabor y los procesos de pardeamiento y la reducción de la astringencia; el amargor y la acidez en un tiempo específico para que no ocurra una sobre fermentación de 6 días, para esto, se establecen unas temperaturas de secado al sol $70\text{ -}80\text{ C}$ siendo este el mejor método para obtener el máximo desarrollo del sabor y evitar la producción de sabor extraño del cacao, de aquí se destaca la importancia del contenido de humedad de los granos siendo esta inferior al 8% de acuerdo a Rodríguez et al. (2012).

En el proceso de fermentación, las horas son aproximadamente de 72 a 120 horas, iniciando desde el momento que ingresa la masa de cacao al recipiente. Cinco días de fermentación dan un nivel de hongos más bajo que tres días de fermentación Hatmi et al. (2015), esto dependerá de la clase de cacao que se esté fermentado y de las condiciones ambientales y climática del lugar. Bajo esto, Ipanaqué et al. (2017) expone en su investigación que dentro de estas las variables involucradas en el proceso de fermentación se encuentra el recipiente de curado, con el que propone dos prototipos de caja; madera y acero, una vez definida, se realizan tomas de temperaturas y un análisis en diferentes periodos de tiempo las 24 horas del día.

Entre tanto, para determinar una buena fermentación de los granos se utilizan las siguientes características, forma color del grano cascarrilla, consistencia del grano, el grano por dentro, color del grano por dentro, olor. Cada 24 horas iniciando a las 8:00 a.m. con el tratamiento uno hasta finalizar con el tratamiento ocho, se midieron los siguientes factores: Tiempo, Temperatura ambiente y humedad relativa con un termo higrómetro. De conformidad con lo dicho, es importante tomar en cuenta todo este tipo de especificaciones una vez se inicie el proceso de fermentación para evitar, en mayor medida cambios en la estructura y sabor del cacao.

5.2 INVESTIGACIONES NACIONALES.

Actualmente, se adelantan una serie de proyectos liderados la Federación Nacional de Cacaoteros con recursos del Fondo Nacional del Cacao y según lo planteado por Gómez et al. (2017) directivos de la Federación Nacional de Cacaoteros, que incluyen a los cacos cultores y diferentes asociaciones que han querido incursionar en la comercialización del cacao con fines de exportación; presentando nuevas oportunidades para el mercado de cacao en Colombia de participar activamente no solo en el mercado de grano, sino también en la transformación de productos como el chocolate de mesa o las barras de chocolate con altos contenido de cacao.

Así mismo, se adelanta el proyecto de apoyo a la comercialización y promoción del cacao colombiano en el mundo; esto motivado por los reconocimientos que el cacao colombiano ha tenido en los últimos años en el salón del chocolate en París; lo que ha permitido que importantes chocolateros hayan puesto su mirada en el cacao del territorio y por supuesto en los procesos de fabricación del mismo, haciendo mucho más relevante un proceso de mejoramiento que permita la obtención de un producto con mejor calidad. De ahí que, se ponga especial atención a la fermentación de la materia prima, en busca de poder incursionar nuevos procesos y facilitarle así al agricultor, técnicas de mejoramiento.

La demanda del mercado del cacao en grano en el mundo está enfocada hacia dos tipos principales de cacao; el fino de sabor y aroma y el ordinario o corriente, los primeros generalmente provenientes de variedades criollas o trinitarios, y los segundos provenientes de cacao tipo amazónico que son los que están más propagados en el mundo. Sin embargo, la producción del cacao fino rodea el 5% de la producción mundial, aproximadamente 200.000 toneladas.

Colombia es uno de los países que posee una amplia variabilidad genética, en la que se encuentran algunos reductos de cacao criollos y amazónicos; en tal sentido, Colombia cuenta con la oportunidad de ingresar a los mercados más selectos de cacao mundial, sin embargo, se debe aunar esfuerzos para garantizar una calidad uniforme en el tiempo y el espacio y poder entregar al mundo un producto estable y de calidad. Ante esto, nace la necesidad de apuntar al mejoramiento de las técnicas de fabricación, comenzando por el proceso de fermentación con el fin de optimar la estimulación y perfeccionar este método que durante mucho tiempo se hace de forma similar y convencional Gómez et al. (2017).

En cuanto a los procesos de fermentación en el país, se trae a colación la investigación de Cardona (2016), sobre la influencia del proceso de fermentación y las características de calidad del grano de cacao, cuyo objetivo fue evaluar los efectos de los diferentes procesos de fermentación durante la postcosecha del grano de cacao, y su relación con la calidad, aplicando el sistema de fermentación en cajón de madera y sistema giratorio en diferentes lugares geográficos, evaluando el perfil sensorial y fisicoquímica de los granos y la influencia de los volteos para calidad cacao;

pudiendo encontrar que, los volteos se deben realizar cada 12 o 24 horas mejoran los atributos físicos de la calidad del cacao.

Siguiendo esta misma línea, se menciona la investigación de Salcedo y Martínez (2016), quienes exponen el diagnóstico del estado actual del proceso de fermentación artesanal del cacao, las características fisicoquímicas, fenoles y la capacidad antioxidante utilizada por los productores de cacao en las zonas altas del Sinú y los montes de maría. Su estudio propone unos clones para el análisis del comportamiento en las diferentes regiones, ICS-39 para Alto Sinú y el clon ICS-95 para Los montes de maría. De acuerdo a esto, los resultados en lo Alto del Sinú con el clon ICS-39 fueron más alentadores, ya que presentaron mayor cantidad de grasas y un proceso de producción tecnificada y más productivo, igualmente que, el clon ICS-95 contiene es más rico fisicoquímicamente, mayor contenido de fibra y mayor porcentaje de mucilago.

Igualmente, la investigación de Rosero (2021), quien expone la Optimización de la fermentación de cacao (*theobroma cacao*) de especies cultivadas en los departamentos de Meta y Guaviare Colombia, evaluando teóricamente la optimización del proceso en microorganismos nativos bajo condiciones controladas, así como la importancia del monitoreo de variables para aumentar las propiedades organolépticas, pudiendo desvelar como en el proceso de fermentación dentro de las primeras horas, predominan las lavaduras, y naturalmente se localizan bacteria ácido lácticas y ácido acéticas, durante el proceso de fermentación, de ahí la importancia de monitorear las variables como temperaturas, acides, pH y el Brix, ya que ayudan al desarrollo de microorganismo y a una fermentación de calidad.

Ante lo dicho con anterioridad, la mejora en todos los procesos de fermentación de cacao es importante tener en cuenta aspectos como la confianza entre proveedores y clientes en cuanto a los productos de calidad a través de la transferencia de tecnologías y conocimiento a los pequeños productores, garantizando un buen cacao en grano para el mercado gourmet, con un precio competitivo que permita la justa distribución en los eslabones de la cadena de valor. Por ello, Cuenca (2018), expone tres procesos cruciales para dar valor agregado a la almendra de cacao, el descocotado, fermentación y secado, y presenta los métodos de fermentación y los problemas regularmente se dan en estos métodos de fermentación, así como el estado actual de la fermentación en Colombia, asimismo, propone un trabajo de campo en las regiones de Tame y Saravena, para mejorar las prácticas de fermentación con la creación de una empresa MARYOLI que perfeccionar el sabor del cacao.

5.3 PROCESO DE FERMENTACIÓN UTILIZADO POR LOS CULTIVADORES DE CACAO DE MAJAGUAL - SUCRE.

En las cooperativas de Majagual - Sucre, regularmente cultivan el cacao en sus parcelas o fincas, y luego transportan las mazorcas maduras al pueblo, para iniciar el proceso de fermentación.

Los Cacos cultores no cuentan con una configuración para la fermentación espontánea de cacao, carecen de espacios idóneos, equipos mecánicos o eléctricos o de proceso estandarizado para realización de fermentación de cacao.

Encontramos en algunas fincas, recipiente de fermentación elaborados de forma artesanal de madera blanca, sacos de fique. Como lo muestra en la imagen 5 el recipiente tiene espacios entre las tablas que lo conforman, la masa cacao está expuesta a agentes contaminantes al estar cerca del suelo y sin poder controlar el ingreso de aire, se originando que los procesos aeróbico y anaeróbico se realice de manera incorrecta, en la imagen 6 se observa un saco de fique y tapa de madera utilizada para evitar el ingreso de contaminantes como insectos, animales etc. por la parte superior del recipiente.



Imagen 5 Recipiente de utilizado para fermentar por los cultivadores.

Fuente Autor



Imagen 6 Tapa del recipiente de fermentación.

Fuente Autor

El sitio de reposo de la masa de cacao durante la fermentación en la mayoría de los casos son lugares aislados sin vigilancia o supervisión, en la imagen 7 se visualiza que las casas no cuentan con paredes, los techos son de paja. En algunos casos para realizar el volteo o mezclado utilizan las manos u otros elementos, como palas plásticas o de madera. El periodo de fermentación no es controlado o dirigido por algún dispositivo.

El tiempo de fermentación de la masa de cacao es de suma importancia dentro del proceso, depende del criterio o experiencias del cultivador y varía de 5 a 6 días, los cacaos cultores carecen de espacios idóneos para realizar el proceso de fermentación de forma eficiente y de cálida.



Imagen 7 Lugar de reposo del cacao durante la fermentación.

Fuente Autor

Por otro lado, el secado se lleva a cabo utilizando la energía solar, y al aire libre en pequeños embalses improvisados de madera. Después de permanecer en los embalses durante un periodo de (4-5 días) según sea el mes de años y el clima.

Las rotaciones durante el secado de las almendras se llevan a cabo con el uso de rastrillos, como se visualiza en la (ver imagen 8) elaborado en madera, por métodos artesanales, no cuentan con un patrón en sus rendijas, por lo que carece de veras funcionalidad en la aplicación del volteo o remisión de cacao durante el secado.

Por tal, el embalse es cubierto durante las noches y las madrugadas para evitar cambios de temperaturas y humedad del cacao en proceso de secado. Pues, los niveles de humedad de las almendras no son evaluados o analizados antes o después del de terminar el proceso de secado. Es decir, es una variable que no es controlada por los cacao cultores. En cambio, el proceso de selección es llevado a cabo mediante la revisión visual del agricultor. No usan métodos o equipos para la toma del peso de los granos de cacao seco, zaranda y no se aplican pruebas con guillotina.

Finalmente, en la imagen 9 se observa el cacao empacado en sacos de fique, estos son guardados durante un periodo de tiempo, hasta tener una cantidad considerable de kilos de cacao en los sacos, la cantidad acumulada es según el criterio del cultivador; luego es vendido a posibles compradores que lleguen en busca del producto. En algunos casos los cultivadores procesan y venden este producto elaborado, como bolas de cacao para chocolate de mesa, entre otros.



Imagen 8 Embalse utilizado para el secado.

Fuente Autor



Imagen 9 Empacado del cacao.

Fuente Autor

5.4 FINCA SELECCIONADA PARA LA INVESTIGACIÓN.

La finca Villa Sary (ver Imagen10) está ubicada en la vereda Montes Negros, jurisdicción del municipio de Majagual (Sucre), su plantación de cacao entre trinitario y criollo es de seis hectáreas, cuenta una producción aproximadamente de 1000 de cacao, recolectado durante los dos semestres del año, un 70% de la producción de mazorcas de cacao es vendida al mejor postor, el otro 30% de la producción es fermentado para la comercialización como almendras fermentadas.



Imagen 10 Finca Villa Sary

Fuente Autor

6. MARCO TEORICO

6.1 Aspectos generales del cacao

El cacao es una fruta ovalada o esférica que mide entre 25-30 centímetro de largo por 10-15 centímetros de grosor, puede pesar entre 250-300 gramos, en algunas ocasiones su color es amarillo, pardo rojizo con rayas longitudinales, esto varía según la clase o el origen de la variedad del cacao, esté fruto está lleno de granos con una cobertura blanca llamada (mucilago), también es conocida en América latina como (baba de cacao). Por otra parte, La semilla se encuentra dentro del fruto (mazorca). El número de las almendras o semillas varían según las especies desde 24 a 30 granos, en algunos casos 70 granos, entre otros.

Seguido a esto, se encuentra por lo menos diez variedades de cacao reconocidas (y probablemente muchas más), entre ellos se encuentra el cacao criollo dulce, esté cacao se caracteriza por tener una mazorca de color verde y rojizo en estado inmaduro, tirando amarilla y naranjado rojizos en su maduración. Se caracteriza por tener semillas grandes, cilíndricas y aromáticas, es decir, sus pepas son de excelente calidad es apetecido por el mundo por su sabor a nueces y frutas (María Gabriela Bustamante & Alexander Rene Ramírez, 2010). Este producto es cultivado principalmente en México, Guatemala y en Nicaragua en pequeñas cantidades.

De la misma forma se encuentra el cacao forastero, se trata del cacao mundial, es proveniente de África y de la región bahías de Brasil, su grano tiene una cáscara gruesa, y carece de resistencia. Su tonalidad es púrpura con alta astringencia, bajo contenido de grasa, el cacao forastero tiene un sabor potente y menos aromático, a veces puede ser amargo o ácido, este cacao lo mezclan con otros, para dar cuerpo y amplitud a los chocolates.

Finalmente, tenemos el cacao híbrido o trinitario, seda por el cruce de árboles diferentes (criollo y forastero) se cruzan perfectamente, este se selecciona teniendo en cuenta las características y necesidades que se desea el agricultor. Así producen un cacao de calidad, el color de la mazorca puede variar en algunas ocasiones, puede ser verde o rojiza. Las semillas son de color blanco, crema o violeta pálido y pueden encontrarse en la misma mazorca una combinación de estos colores, a su vez sus características en sabor y aroma dependerán del Cruce y las propiedades físicas del área o territorio donde esté el cultivo.

El cacao brinda una versatilidad como planta y como fruto, para aprovechar estas se debe conocer con claridad a qué tipo de mercado se busca llegar con el producto, seleccionar con cuidado el tipo y clase de cultivo de cacao e implementar y posteriormente que transformación que se debe aplicar a la semilla.

6.2 Fermentación del cacao

En cuanto al proceso de fermentación, es un proceso controlado y parejo que puede dar un cacao de alta calidad, cuando no se logra una adecuada fermentación puede ser por varios factores, entre ellos semillas germinadas, semillas inmaduras, semillas sobre maduras y semillas enfermas, es decir. Son semillas donde el mucilago puede estar seco o con daños y no se logre la fermentación alcohólica y acética.

De esta forma, el proceso de fermentación es un proceso de reacciones químicas, donde los azúcares que cubre el cacao (pulpa) se transforma en ácido acético u otras sustancias, como microorganismos que son de carácter anaeróbico garantizando así la muerte del embrión asegurando a la almendra de cacao tener una textura arriñonada, el proceso de fermentación debe ser entre 5 a 6 días, es necesario voltear la masa diariamente a la misma hora para permitir el proceso de liberación del CO₂. El tiempo y la temperatura son algunas de las variables determinantes, para el desarrollo de los colaboradores, como levaduras, bacterias de ácidos lácticos, bacterias ácido acéticas y enzimas, es decir. Que contribuyen a la formación de los precursores del sabor, estos agentes requieren de unas condiciones y un paulatino aumento de oxígeno para su desarrollo. En total son tres incrementos de forma graduada, que se debe realizar a la masa de cacao conforme al tiempo para que se lleve a cabo una correcta fermentación. (MORALES, 2020).

Por consiguiente, los volteos logran que la masa de cacao tenga ese incremento en oxígeno, de manera uniforme entre los granos, garantizando un producto con aroma, color y sabor a chocolate. Una de la razón clara por la cual se debe fermentar cacao, es que durante el periodo (4-6 días) ocurren todos los cambios. Reacciones químicas y físicas que se producen sobre la almendra de cacao, dando como resultado el sabor amargo de este, “sin fermentación el cacao no tendría ningún sabor. (Cadby, 2019).

Por ende, la fermentación es un proceso donde participan muchos factores que son determinantes para la obtención de una fermentación de calidad, y al no ser controlados o vigilados correctamente los resultados esperados de esta, pueden no alcanzar los efectos previstos, por lo contrario, pueden resultar sabores defectuosos y distorsionados que no aportan ningún valor agregado a la almendra de cacao.

6.3 Métodos fermentación.

Los métodos de fermentación de cacao varían según la necesidad del caco cultor o la producción de la finca.

El primer método de fermentación es el recipiente de madera de un nivel, como se aprecia imagen 11, donde el cacao es fermentado en uno de los cajones y para realizar en volteo, se mueve la masa de cacao hacia el otro cajón, con palas plásticas o de madera.

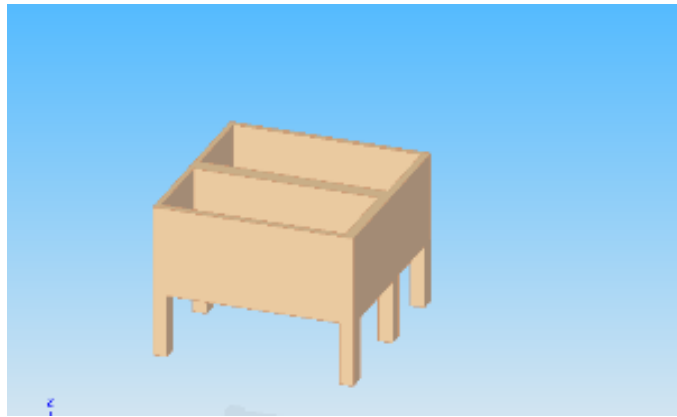


Imagen 11 Fermentación en cajón de madera de nivel.
Fuente Autor

El segundo método es el cajón tipo escalera, éste ofrece mayor facilidad al momento de realizar el volteo cada 48 horas, y como tal una buena fermentación en la imagen 12 se visualiza la fermentación tipo escalera, la fermentación inicia en el cajón de mayor altura del suelo, después de un periodo de tiempo se abren las compuertas y con ayuda de una pala se mueve la semilla hacia la compuerta tipo guillotina, se deja caer la masa de cacao al cajón inferior, esta acción se realiza de manera secuencial con los demás cajones, este método aprovechar la gravedad para realizar los volteos a la masa de cacao, los dos métodos son excelentes porque en ellos se pueden fermentar una gran cantidad de almendras de cacao. Las dimensiones de los cajones pueden variar según la necesidad del agricultor, estos métodos son utilizados por pequeños productores de cacao, ya que ofrecen mejores resultados en cuanto la calidad del cacao.

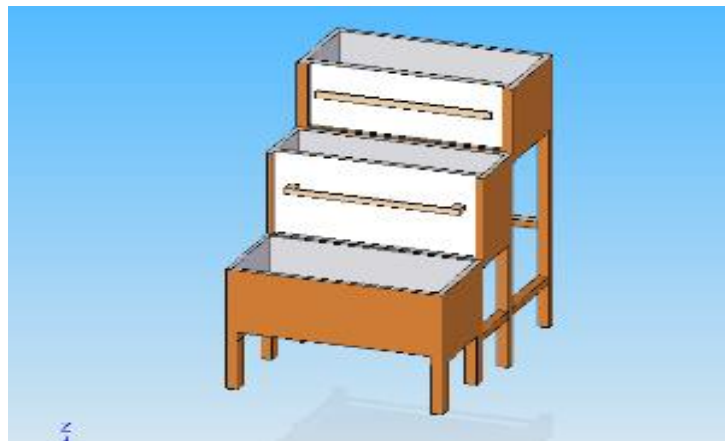


Imagen 12 Fermentación tipo escalera.
Fuente Autor

El Tercer método es la fermentación montones, la cual consiste en amontonar el cacao en baba sobre un dental de caña, madera, cemento o sobre hojas de plátano, donde se drena la baba de este. Se cubre con hojas de plátano para mantener en calor y evitar que este se fugue, después de las 48

horas se voltea para después cubrirlos nuevamente. Vale decir, este método solo fermenta bien la parte superficial “Debido a la aireación inadecuada de la masa de cacao”.

Por otro lado, existe el método de fermentación en saco (ver imagen 13), Este sistema consiste en tener sacos polietileno u yute y llenarlo con fruta fresca de cacao, luego colgarlo en un lugar solo durante (5-7 días) dando tiempo a la fermentación. Frecuentemente, este método produce mala fermentación con granos violetas y pizarrosos, como se aprecia en la imagen 12 algunas de las almendras no al casarón en nivel de fermentación deseado.

Por consiguiente, seleccionar celosamente el método fermentación apropiado, promete un excelente curado de las almendras, asegurando al caco cultor un producto con los estándares requeridos por la agroindustria.



Imagen 13 Fermentación en saco.

Fuente Autor

6.4 Secado

El proceso de secado al igual que la fermentación es muy importante, El secado es una etapa de aprovechamiento del cacao en el que se elimina el exceso de humedad de los granos de cacao por el calentamiento, y se completa la formación del aroma y sabor del chocolate. Ya que, al finalizar la fermentación de la masa de cacao, el grano queda con un contenido de humedad casi de 60%, que debe reducirse a un 9% para evitar el desarrollo del moho. El secado excesivo, fragilidad, la cascarás produciendo granos que se desboronan fácilmente, y si el cacao queda húmedo existe la probabilidad que desarrolle moho durante el almacenamiento de este. Produciendo deterioro en la calidad del grano, esta práctica evita el daño o pudrición del grano de cacao y al igual disminuir su peso, para su posterior comercialización.

Por otro lado, un secado violento produce una interrupción en las hidrólisis enzimáticas, causando un secado no uniforme y la generación de almendras púrpuras, desplegando un sabor astringente en la masa de cacao. (Valdivia, 2021)

Finalmente, el secado facilita el almacenamiento, transporte y manejo del cacao. Es decir, la calidad del chocolate depende de la fermentación y del secado siendo, ambos procesos definitivos para el logro de un buen producto final.

6.5 NORMA ICONTEC 1252 ÚLTIMA VERSIÓN 17/03/2021

Los requisitos que debe cumplir el cacao en grano, destinado a la industrialización para el consumo humano.

A nivel nacional se establecen criterios para determinar la calidad del grano de cacao, sustentadas en el uso de las normas técnicas como Icontec 1252 Cacao en grano, la clasificación y los requisitos que debe cumplir el cacao en grano, destinado a la Industrialización para consumo humano Icontec 1252 última versión 17/03/2021. Aplicada a la compra de cacao en grano a fin de lograr una clasificación mínima que satisfaga la demanda del mismo, presentada. En la imagen 14 podemos apreciar los requerimientos contemplados en la norma.

Características	Ilustración	Características	Ilustración
Granos bien fermentados		Granos mohosos (moho interno o externo)	
Causas: cacao en grano cuyo proceso de fermentación ha sido completo		Causas: Granos proveniente de mazorcas de cacao enfermas o secas.	
características:		Almacenamiento prolongado	
Almendras de cacao color marrón o chocolate		Deficiencia en el volteo durante el secado y capa de cacao muy gruesas.	
Alvéolos bien definidos (forma arriñonada internamente)		Almacenamiento del caco en grano húmedo	
La cáscara se desprende fácilmente al presionarla con los dedos		Características: presencia de hongos externo e internos cuando se realiza la prueba de corte.	
Consecuencias: Olor agradable a cacao		Consecuencias: El moho interno puede generar efectos nocivos en la salud humana	
Grano insuficientemente fermentado			
Causas: Insuficientemente tiempo de fermentación			
Características: Almendras de color violeta o marrón.			
Consecuencias: Genera sabores amargos y astringencia		Olor y sabor desagradable	

Imagen 14 Norma Icontec
Fuente (INCONTEC,2021)

6.6 Construcción del prototipo de sistema de fermentación

6.6.1 Construcción de la estructura y elementos del sistema rotativo

La estructura del sistema rotativo está construida en ángulo 3/16 pulgada en acero estructural estándar, en la imagen 15 se aprecia dos laterales triangulares con dos agujeros pasantes en la sección achatada de la estructura para sujetar las chumaceras, se encuentra unida mediante soldadura SMAW con electrodo 6013 un cuadrado en acero en su parte inferior.



Imagen 15 Estructura soporte.

Fuente Autor

El eje izquierdo fue construido con tubo hueco en acero de tres cuartos de pulgada, en la imagen 16 se visualiza el eje soldado a una platina de acero de un cuarto de pulgada sujeta al recipiente de fermentación.



Imagen 16 Eje y Chumacera izquierda.

Fuente Autor

La chumacera izquierda construida en acero, tal como se observa en la (ver Imagen 16), permite dar la movilidad al eje, La chumacera derecha es de similares características a la izquierda, además

cuenta con la extensión de un tornillo o pasador con rosca que facilita graduar en diferentes grados el recipiente contenedor, cuando se requiere (ver Imagen 17).

El Sistema Biela Manivela construido en acero estructural con tubo hueco 3/4 de pulgada (ver Imagen 17) se observa el eje del Sistema Biela Manivela soldada a una platina en acero, la platina está sujeta mediante tornillos al recipiente contenedor.



Imagen 17 Sistema biela manivela y Chumacera derecha.

Fuente Autor

6.6.2 Construcción del recipiente de fermentación

El prototipo consta de un recipiente de fermentación de madera con una capacidad de 10 kg de cacao en baba, cabe aclarar que debe existir un espacio libre de 7 cm, desde la tapa del recipiente, hasta la masa de cacao, que permita la remoción de las almendras en su interior del recipiente, el material para la fabricación es en madera blanca, al poseer la característica de no cederle olor a las almendras de cacao durante la fermentación. Así como su bajo costo y abundancia en el entorno natural.

El recipiente de fermentación está compuesto de una tapa y bisagras que permiten asegurar la tapa, a su vez el recipiente tiene perforaciones de un centímetro de diámetro en el fondo separado a diez y quince centímetros para propiciar el escurrimiento de la baba de cacao en la imagen 18 y 19 se observa el recipiente con su tapa y los orificios en el fondo.



Imagen 18 Recipiente fermentador del Sistema rotativo.
Fuente Autor



Imagen 19 Recipiente fermentador del Sistema rotativo.
Fuente Autor

6.6.3 Filtro protector de fique

El filtro en madera y fique (ver Imagen 20), este dispositivo se ubica en la parte superior del recipiente fermentador, esto permite controlar la temperatura superficial de la masa de cacao.



Imagen 20 Filtro de fique.
Fuente Autor

6.6.4 Sistema rotativo.

La estructura está construida en ángulo de acero estructural, con una altura de 70 cm, cuenta con instalado un recipiente contenedor, el proceso de volteo de la masa. Este recipiente cuenta con un sistema de manivela para facilitar el proceso de volteo, como se observa en la imagen 21, el diseño del prototipo, se aprecia en Anexos A.



Imagen 21 Sistema rotativo.

Fuente Autor

7. METODOLOGIA

7.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

En esta investigación la metodología implementada permite organizar, seccionar y desarrollar el proyecto según el orden de importancia, En la imagen 22 se aprecia la ilustración de los pasos de la metodología a implementar, los cuales son descritos a continuación.

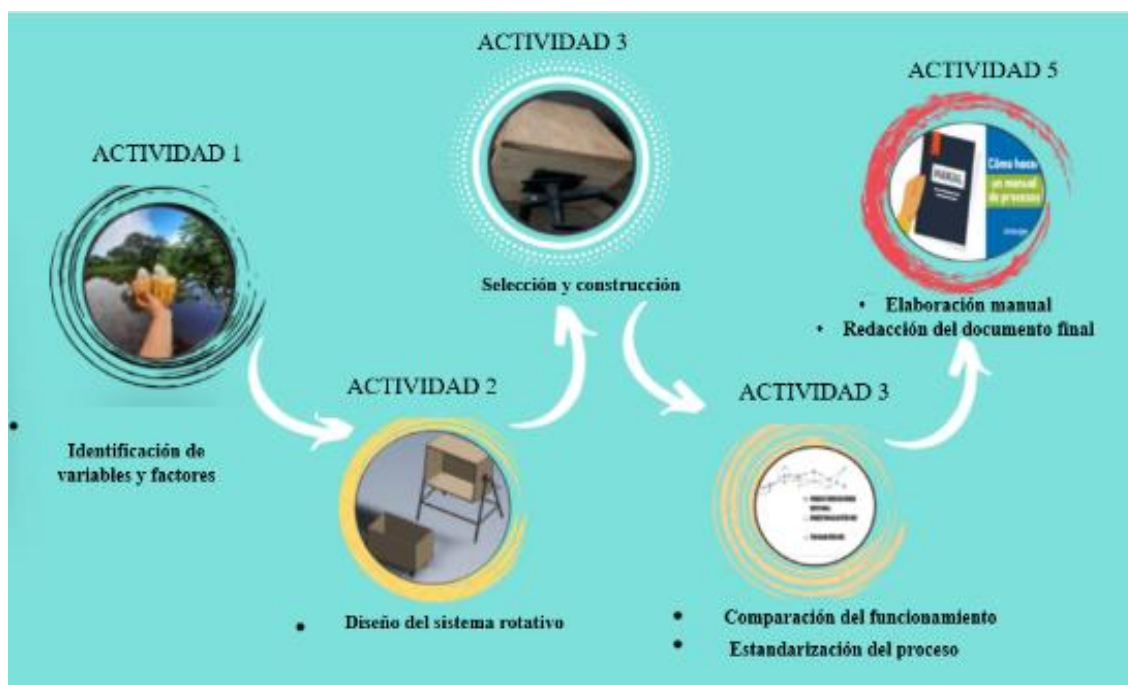


Imagen 22 Metodología del diseño planteado.

Fuente Autor

7.1.1 Identificación de la características y factores de fermentación.

Durante este período de la investigación se llevó a cabo una revisión literaria y selección de información sobre los diferentes estudios actuales de las variables que interviene en el proceso: temperatura, volteos o mezclado, humedad, acidez, color, secado. Involucrada en el proceso de fermentación del cacao.

En este sentido, De Vuyst & Weckx (2016) expone cuales son los iniciadores en una fermentación espontánea exitosa en cuatro días y sus características de poseer actividad microbiana, levaduras, bacterias del ácido láctico (LAB) y bacterias del ácido acético (AAB), lo que da como resultado unas almendras de cacao totalmente fermentadas. Las fermentaciones están determinadas por las bacterias ácidas, ácido acético etc. indiferentemente de la región productora y el método de fermentación.

Rodríguez-Campos et al., (2012) en su investigación identificó los compuestos volátiles responsables del aroma del cacao, como ésteres 20, alcoholes 12, ácidos 11, aldehídos y cetonas 8, pirazinas 4 y otros compuestos 3, para un total de 58 compuestos, se determinó que el tiempo óptimo de fermentación fue el seis, para presentar notas aromáticas el cacao, secado al sol de 70°C. Esta información fue crucial para la selección de cuantos días máximo se debería fermentar el cacao para obtener aroma a cacao fermentado.

Asimismo, Castillo (2019) diseñó un fermentador en acero con aletas incorporadas para realizar el movimiento del cacao, evaluando variables como temperatura, acidez, hidrogeno y humedad fue fundamental durante la investigación. Los datos obtenidos en el fermentador de acero se compararon con ensayos realizados en cajones de madera. Las temperaturas se tomaron mediante la forma manual y monitoreo constante, para la acidez, hidrogeno y humedad se utilizó equipos electrónicos, los resultados se compararon con unos obtenidos en otras investigaciones. El documento aporta una excelente descripción de las técnicas a tener en cuenta para una correcta evaluación de las variables involucradas en la fermentación de cacao.

Por otro lado, Rivera (2011) uso cuatro fermentadores, saco de yute, montón, caja de madera y tina plástica, con una capacidad de 60 kilogramos de cacao y tiempo de fermentación de 2 a 5 días, las variables a tomar en cuenta fueron acidez, calidad del cacao. Los datos analizados mediante el método de varianza, se encontraron cambios en las variables químicas estudiadas al quinto días, se concluyó que la caja de madera fue la más adecuada para la fermentación.

7.2 ESTRATEGIA PLANTEADA EN LAS FERMENTACIONES DE LA FINCA VILLA SARY

La estrategia consistió en realizar un test, compuesto de tres grupos con cinco fermentaciones, con la finalidad de determinar las características de la producción de la finca Villa Sary, en las fermentaciones se variaron, los kilogramos de cacao, tiempo de fermentación, volteos durante la fermentación, tiempo de secado y volteos durante el secado, en los grupos las variables analizadas fueron temperaturas, volteos en la fermentación, humedad, acidez y pruebas de calidad.

7.2.1 Configuración de producción de la finca Villa Sary

El método de producción aplicado en la finca Villa Sary es detallado a continuación (Imagen 23).



Imagen 23 Diagrama de producción aplicado en la finca Villa Sary.
Fuente Autor

- Quiebre de la mazorca: el quebrado de la mazorca se realiza con un mazo o madero, y consiste en golpear la mazorca madura hasta romper su corteza y dejar al descubierto las frutas de cacao.
- Despulpado: se hace de forma manual, y radica en tomar la mazorca quebrada y extraer la fruta de cacao.
- Fermentación: este proceso tiene una duración de 5 días y se realiza en baldes de plástico, según el encargado de la finca, los volteos aplicados a la masa de cacao (ver Imagen 23).
 - Secado: Él cacao cultor de la finca Villa Sary, menciona que el proceso inicia después de terminada la fermentación, al vaciar kilogramos de cacao fermentado, en un saco de fique y dejarlo al aire libre expuesto al sol, el agricultor considera que 3, 4 o 7 días, son suficiente esos días para realizar un buen secado.

7.2.2 Pruebas

Tomas de temperaturas, Volteos, Humedad y Acidez de la finca Villa Sary

- ✓ La temperatura ambiente de la finca Villa Sary se realizaron con el termómetro T300, identificar tres puntos diferentes a 3 metros de distancia del recipiente de fermentación, luego

se dejaba estabilizar el termómetro por 5 segundos y se registraba la temperatura, las tomas de temperatura se efectuaron en el mes de abril a julio del año dos mil veinte uno (ver imagen 24).

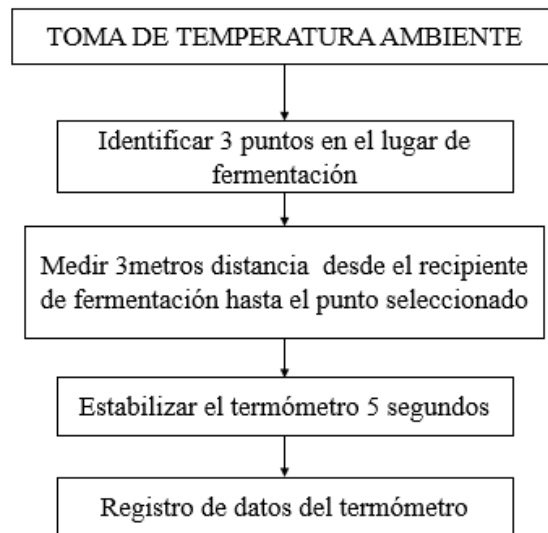


Imagen 24 Toma de temperatura ambiente
Fuente Autor

✓ Las tomas de temperatura en el recipiente plástico, se aplicaron en 2 puntos distintos de la masa de cacao (ver imagen 25), así mismo en tres niveles “superficial (1), medio (2), y fondo (3)” (ver imagen 26) cada nivel se registraron 2 tomas, los datos recolectados se promediaron para obtener un valor promedio de la temperatura del recipiente.

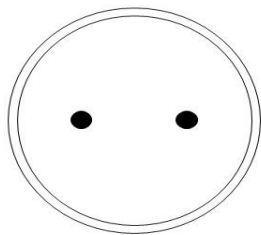


Imagen 25 Puntos de medición
Fuente Autor

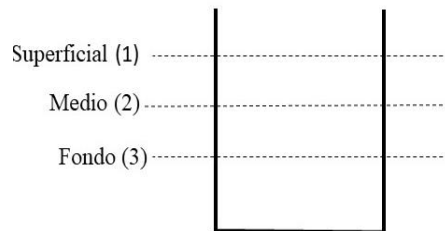


Imagen 26 Niveles de medición
Fuente Autor

✓ Volteos: los volteos de la finca Villa Sary, se realizan con palas plásticas, la cantidad de volteos aplicados son 5, 7 y 10 volteos cada (12) horas respectivamente (ver imagen 27), el cultivador se apoya en su experiencia adquirida en por los años, para reconocer según las características del clima cuantos volteos debe aplicar en la fermentación.

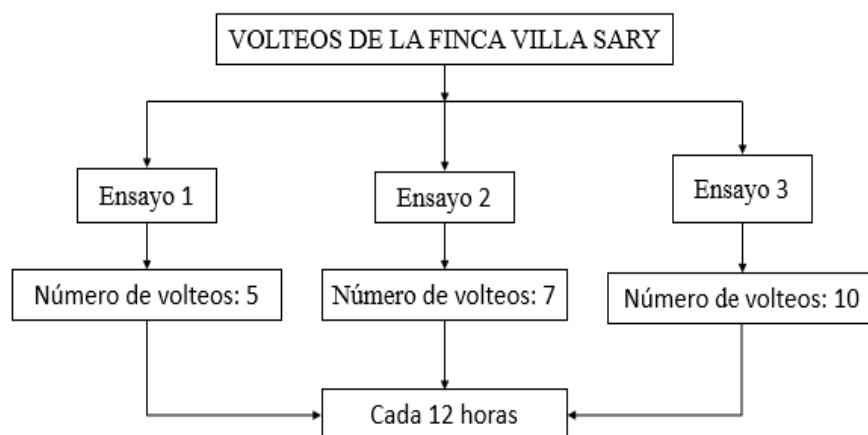


Imagen 27 Volteos de la finca Villa Sary
Fuente Autor

- ✓ Toma de humedad: La toma de humedad fue realizada cada 24 horas después de iniciada la fermentación, el termómetro humidificador se ubicó en la masa de cacao y se dejaba por unos segundos y se registraba el valor mostrado por el equipo.
- ✓ Toma de acidez: Las pruebas se aplicaban a las 24 horas de iniciado la fermentación, se recolectaba una muestra del jugo de la masa de cacao en fermentación y se analizaba en el refractómetro, esto se repitió todos los días que duro de la fermentación.

Las fechas de los ensayos del test finca Villa sary, se muestran en Anexos B Tabla 16 Calendario de fermentación finca Villa Sary.

Los datos recolectados de las diferentes variables se registraron en las tablas de planilla para el registro de temperaturas y planilla de recolección humedad y acidez, se muestra en Anexos C, D, E, F.

Punto de inicio del proyecto de investigación

Los resultados promedios obtenidos en los ensayos de fermentaciones se visualizan en la Tabla 1, los cuales fueron tomados como punto de partida para la estandarización del sistema rotativo.

Tabla 1 Configuración de los ensayos finca Villa Sary

Grupos	Tiempo fermentación	Kilogramos	Temperatura de fermentación	Volteos en la fermentación	Tiempo secado	Promedios Humedad	Promedios Acidez	Promedios peso almendras secas
1	5 días	10Kg	27,51	5	3días	81%	20%	7,38Kg
2	5 días	10Kg	30,32	7	4 días	89%	17%	7,66Kg
3	5 días	10Kg	35,32	10	7 días	82%	18%	7,77Kg

La caracterización de los test de la finca Villa Sary se muestran en Anexos G, tabla 21 promedios de las variables analizadas del Test Villa Sary.

La masa de cacao al iniciar la fermentación tiene un peso de 10 kilogramos, al terminar la fermentación alcanza un peso de 9 kilogramos, ya que, durante este proceso, la masa pierde densidad, por la descomposición de la fruta en forma de líquido, de igual manera al finalizar el secado la masa queda promedio 7.6 kilogramos, el peso del producto final, pueden variar según las condiciones climáticas del lugar de fermentación, y el tiempo del secado de las almendras. Los promedios de la temperatura ambiente, se observan en Anexos H, tabla promedios de temperatura ambiente de la finca Villa Sary.

El promedio del peso final de la almendra después de secado, se muestra en la tabla 2.

Tabla 2 Porcentaje de reducción de las almendras fermentadas

Grupos	Almendras despulpadas (fermentadas)	Promedios del peso de las almendras secas
1	10Kg	7,38
2	10Kg	7,66
3	10Kg	7,775

Prueba de calidad finca Villa Sary

La prueba de corte se realizó con la finalidad, conocer la calidad de las almendras fermentadas en la finca Villa Sary, por tal se tomaron 100 almendras fermentadas y se hicieron cortes y longitudinalmente a lo ancho de la almendra, se analizaron de color, aroma, sabor y alveolos en el interior del grano.

El conteo se inició evaluando las siguientes especificaciones en las almendras, moho exterior, moho interior, bien fermentadas, insuficientemente fermentadas y granos pizarrosos, estos datos se registraron en la tabla 23 planilla de descripción de pruebas de cortes, (Anexos I) para luego obtener unos promedios de cada una de las especificaciones de las almendras evaluadas.

En la tabla 3, se pueden observar los porcentajes de las pruebas de corte del test Villa Sary, podemos apreciar que el grupo (2) presenta mayor porcentaje de almendras bien fermentadas y menores porcentajes de almendras con moho exterior e interior, en comparación los grupos (1) y (3), de igual manera, el porcentaje de almendras insuficientemente fermentadas y granos pizarrosos para los tres grupos, no varía en mayor cantidad, por tal se seleccionó el grupo (2) del Test Villa Sary, al presentar mejores índices de calidad en la fermentación, para compararlo con el mejor Test del Sistema rotativo.

Tabla 3 Resultado de la prueba de corte de la finca Villa Sary

Promedios de Almendras Evaluadas	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
----------------------------------	---------	---------	---------

Promedios de almendras con moho externo	32%	25%	31%
Promedios de almendras con moho interno	35%	24%	20%
Promedios de almendras bien fermentadas	10%	16%	10%
Promedios de almendras insuficientemente fermentada	10%	20%	18%
Promedios de almendras con granos pizarroso	12%	15%	22%

Los promedios de la prueba de corte para cada ensayo de la finca Villa Sary, se muestran en Anexos J, en la tabla 24 promedios de la prueba de corte de la finca Villa Sary.

7.2.3 Configuración de producción en el sistema rotativo

La planeación para llevar a cabo los grupos de fermentación del sistema rotativo se compone de cuatro fases, iniciando con el despulpado, fermentación, el secado y pruebas de calidad, (ver Imagen 28) podemos apreciar cada una de las fases.

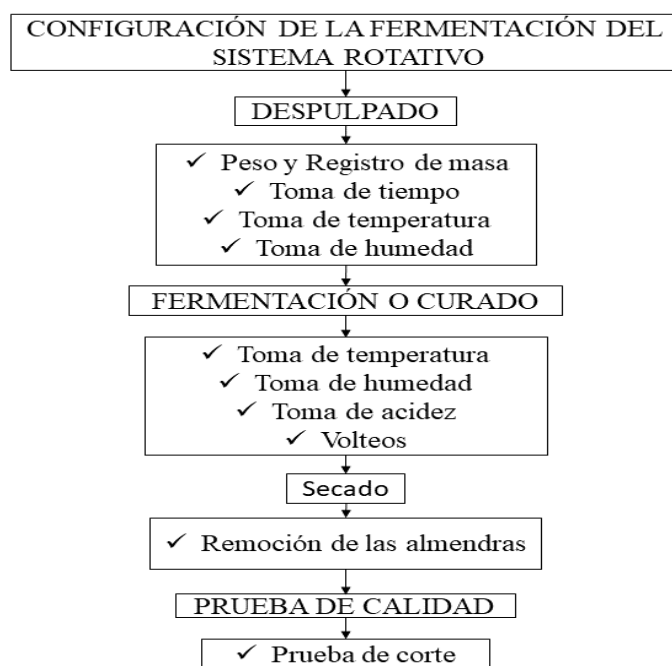


Imagen 28 Esquema del proceso de fermentación
Fuente Autor

Conformación de los test del Sistema rotativo

El cacao tiene como variable primaria, el tiempo es determinante dentro del proceso de fermentación y varía según las condiciones climáticas del lugar, cabe decir que los agricultores de Majagual (Sucre) no tienen estandarizado el tiempo de fermentación de cacao, pero es de conocimiento que el cacao se fermenta entre (1-6) días, por lo tanto en la investigación se estructuró de

la siguiente manera, que se pudiera identificar en cuál de los 6 días el cacao presenta mejor fermentación, con la finalidad de hallar, el punto óptimo de funcionamiento del prototipo en cada grupo de fermentación, soportado en el análisis de las variables, tiempo, humedad, acidez, reducción de peso, apoyados en los resultados de la prueba de calidad ver (Imagen 29,30 y 31).

En dieciocho grupos, donde se variaron, el tiempo de fermentación entre (1-6), cabe mencionar que los parámetros volteos, masa de cacao en baba, tiempo de secado y volteos en el secado, permanecieron constante dentro de cada grupo.

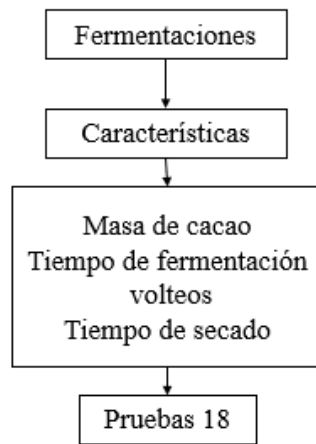


Imagen 29 Conformación de las fermentaciones del sistema rotativo
Fuente Autor

El total de grupos fueron de (18), y se efectuaron entre abril y octubre en el 2021, el calendario de fermentación de cada grupo del sistema rotativo se encuentra en Anexos k, en las tablas 28,29,30.

7.2.4 Despulpado

El despulpado se inició con el quebrado de la mazorca, posteriormente se extrae de manera manual las almendras y se recolectan en un recipiente plástico (ver Imágenes 32 y 33).

El total de la masa de cacao despulpado por cada grupo del sistema rotativo se observa en la tabla 4. Donde se visualiza que en el grupo 3 se despulpó mayor cantidad de mazorcas, y la menor cantidad de mazorcas despulpadas son en el grupo 1, cabe decir que el recipiente de fermentación tiene una capacidad máxima de 10 kilogramos de cacao en baba.



Imagen 30 Corte de la mazorca.
Fuente Autor



Imagen 31 Despulpado de forma manual.
Fuente Autor

En este proyecto de investigación se utilizó cacaos trinitarios, criollos y en algunos no identifico su clasificación taxonómica.

Tabla 4 Kilogramo de la masa de cacao en cada test

Número de grupos	Kilogramos de masa de cacao despulpado	Total, de kilogramos de cacao despulpado (Grupo)
Grupo (1-6)	3Kg	90Kg
Grupo (7-12)	4Kg	120Kg
Grupo (13-18)	5Kg	150Kg

El total de kilogramos de cacao despulpado se sacó multiplicado el número de ensayo de cada grupo, multiplicado por los kilogramos de masa de cacao despulpado de cada fermentación.

7.2.5 Pruebas

7.2.5.1 Toma y registro de temperatura.

Temperatura Ambiente: los primeros datos se recolectaron al iniciar, el curado de la masa de cacao, las temperaturas se registraron en la tabla 17 Planilla para registro de la temperatura termómetro T300, se encuentra en Anexos C.

La temperatura del lugar donde se efectuaron las fermentaciones se capturó con el termómetro T300, Se colocó el termómetro en cuatro puntos diferentes del sitio hasta que se estabilizara por unos segundos, las tomas de temperatura se realizaron durante los meses de abril a octubre del año 2021.

Las tomas se aplicaron en tres niveles diferentes de la masa de cacao “superficial (1), medio (2), y fondo (3)” cada nivel se registraron 5 tomas, como se observa en la imagen 34 desde el centro del recipiente de fermentación y terminado en su parte cercana a las paredes, este procedimiento se repite en los tres niveles (ver Imagen 35); asimismo en la imagen 36 se visualiza el proceso de

toma de temperatura en el área de la superficie exterior, que consiste en introducir el termómetro en el filtro que está ubicado dentro recipiente de fermentación, este permite la entrada de la punta del termómetro a la masa de cacao, hasta el nivel de la superficie en los puntos 1,2,3.



Imagen 32 Vista de planta de los puntos de toma de temperatura
Fuente Autor



Imagen 33 Vista frontal de los planos temperatura
Fuente Autor



Imagen 34 Registro de toma de temperatura superficial método manual

Fuente Autor

7.2.5.2 Termómetro clock / Humidity HTC-2.

Los primeros datos se recolectaron pasadas las 12 horas de iniciado, el curado de la masa de cacao, y registro en la tabla 18 planilla de temperaturas con el termómetro clock/Humidity HTC, se encuentra en Anexo D.

Las tomas se aplicaron en el punto (1) y (2) y “superficial (1), medio (2), y fondo (3)”, tal como se observa en la imagen 37 desde el centro del recipiente de fermentación y terminado en su parte cercana a las paredes, este procedimiento se repite en los tres niveles (Imagen 38).

En la imagen 39 se visualiza el proceso de toma de temperatura en el área de la superficie exterior en el punto (1), que consiste en introducir la sonda del termómetro en el filtro y posicionarla en el centro del recipiente de fermentación, en la imagen 40 se visualiza el proceso de toma de temperatura en el área de la superficie exterior en el punto (2) que consiste en introducir la sonda y ubicarla cerca de las paredes, pero no debe tocar las paredes.

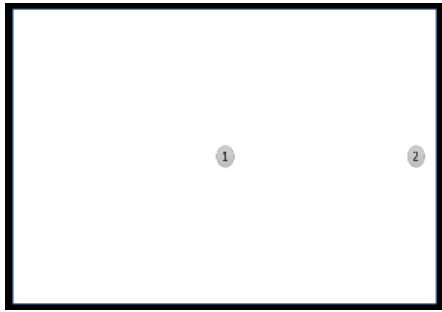


Imagen 35 Vista de planta de los puntos de temperatura.

Fuente Autor



Imagen 36 Vista frontal de los planos de temperatura.

Fuente Autor



Imagen 37 Ubicación de la sonda en el centro de la masa de cacao.

Fuente Autor



Imagen 38 Ubicación de la sonda cerca de las paredes del recipiente de fermentación.

Fuente Autor

7.2.6 Fermentación del cacao

Las se dividió en dieciocho grupos, conformadas por cinco fermentaciones.

La fermentación inicia con el registro del tiempo y las temperaturas, después de (12) horas, se toman las temperaturas, humedad, la acidez y finalmente los volteos del cacao, este ciclo se repitió cada (12) horas, los días que duró cada fermentación.

El tiempo aplicado a los diez y ocho grupos efectuados en el sistema rotativo se aprecian en la tabla 5.

Tabla 5 Tiempo de fermentación aplicado al test del sistema rotativo

# Grupos	Tiempo de fermentación					
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
Grupo (1-6)	1 día	2día	3dias	4días	5días	6días
Grupo (7-12)	1 día	2día	3dias	4días	5días	6días
Grupo (13-18)	1 día	2día	3dias	4días	5días	6días

En la imagen 41 se visualiza unas almendras recién despulpadas, estas presentan buenas características al mostrar un mucilago con una coloración totalmente blanca, al transcurrir de (2 a 3) días las semillas empieza a tomar una tonalidad parda (ver Imagen 42), al transcurrir los días el color pardo se intensifica hasta alcanzar un color almendrado, en la (ver Imagen 43) se aprecia una fermentación de 144 horas, las almendras presentan indicios de mala fermentación en algunas de las semillas al no enseñan hinchazón y tener sobre coloración marrón diferente a las demás.



Imagen 39 Fruta de cacao recién despulpada.
Fuente Autor



Imagen 40 Cacao con un día de fermentación.
Fuente Autor



Imagen 41 Fruta de cacao en periodo de fermentación.
Fuente Autor

7.2.7 Humedad.

Los primeros datos se recolectaron pasadas las (12) horas de iniciada la fermentación de la masa de cacao, se registraron tres datos, humedad relativa.

Los valores obtenidos en los promedios de humedad durante las fermentaciones del sistema rotativo se encuentran en la tabla 15 Promedio de humedad visitar Anexos E.

La medición de la humedad requiere de un buen de posicionamiento del termómetro a espaldas a la masa de cacao, el punto de medición se visualiza en imagen 44, donde se aparece la vista superior del recipiente punto (1), (ver Imagen 45) se aprecia la ubicación del termo humidificador delante del filtro para evitar daños por mojadura del equipo de medición.

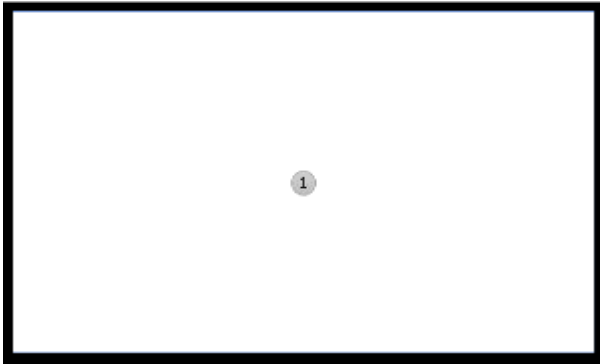


Imagen 42 Punto de medición de la humedad.
Fuente Autor



Imagen 43 Humedad relativa mínima.
Fuente Autor

7.2.8 Toma y Registro de acidez

Las pruebas de cacao inicio las (24) horas de iniciada la fermentación, inicialmente se recolectaba con un dosificador el jugo producto de la fermentación en bolsas de cierre hermético rotulada, para posteriormente ser analizadas por un refractómetro Pal-bx acid181, en la imagen 46 se detalla proceso.

Los datos recolectados se muestran tabla 16 registros de las tomas de acidez, se encuentra en Anexos F.

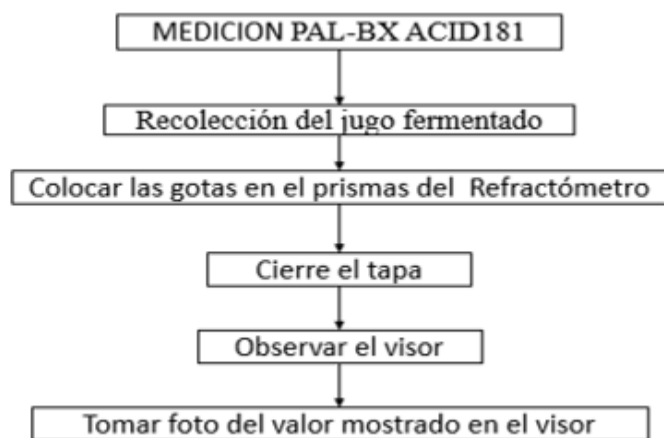


Imagen 44 Medición de la acidez en Brix
Fuente Autor

En la imagen 47 se aprecia una muestra del líquido o jugo que era recolectada de la masa de cacao para su análisis, (ver Imagen 48) el valor de la acidez es la franja que se visualiza de color blanco.

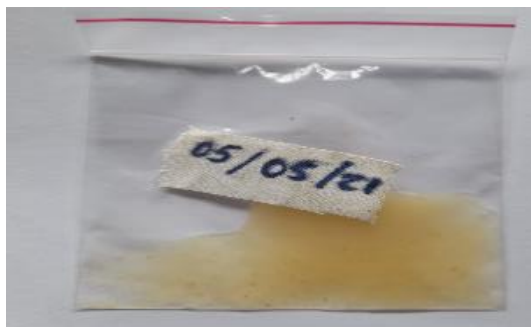


Imagen 45 Toma de muestra de acidez.
Fuente Autor



Imagen 46 Nivel de acidez del cacao.
Fuente Autor

7.2.9 Volteos de la masa de cacao

Sistema rotativo: los volteos o vueltas ejecutadas con el sistema para cada ensayo (ver tabla 6), cada (12) horas después de iniciada la fermentación, En la tabla 4 se muestra la configuración utilizada para los volteos del sistema rotativo.

Tabla 6 Número de volteos por test

Número grupos	Volteos
Grupo (1-6)	20
Grupo (7-12)	30
Grupo (13-18)	40

En imagen 49 se aprecia los pasos detallados para implementar los volteos del sistema rotativo, inicialmente el recipiente de fermentación se desliza por la rampa, se hacen ajusta al seguro del sistema biela manivela, se alinea y se acopla en el recipiente, inmediatamente se aplica el seguro de la tapa, se aplican los volteos, finalmente se desacoplan los recipientes y retira el recipiente contenedor, para ingresar otro recipiente de fermentación nuevamente.

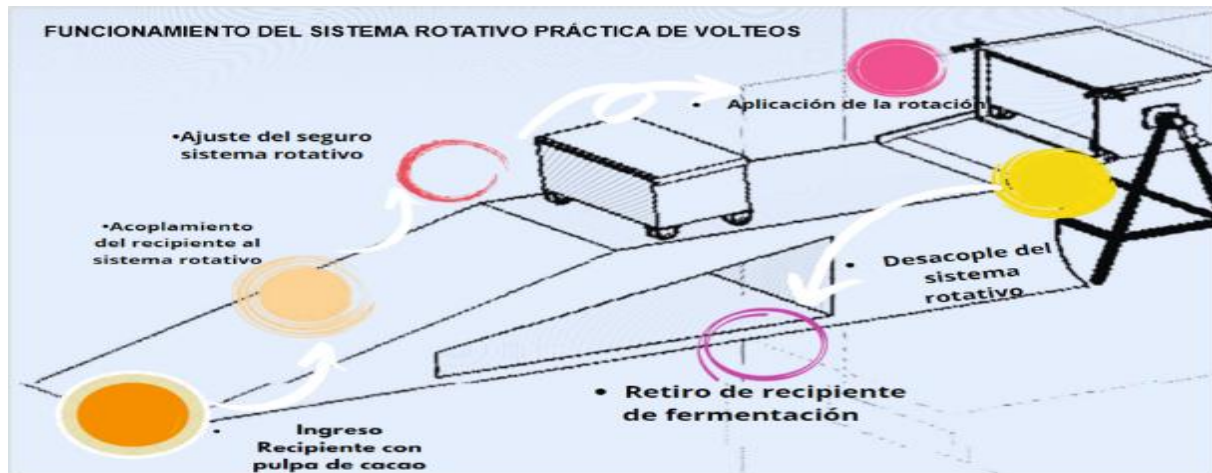


Imagen 47 Pasos para aplicar el volteo utilizando el sistema rotativo.

Fuente Autor

7.2.10 Secado.

El proceso de secado inicia una hora después de terminado el periodo de fermentación, la masa fermentada es vaciada en un saco fique, para luego ser colocada al sol durante 8 horas (ver Imagen 50), el proceso iniciaba a las 8:00 de la mañana y finalizaba a las 4:00 de la tarde, en el transcurso del secado la masa de cacao fue removida cada (4) horas para obtener un secado uniforme de las almendras, el proceso se repitió a todos los ensayos realizados en el sistema rotativo, el tiempo dependía de los cambios climáticos que se presentaban entre semana.

En la tabla 7, se visualiza el tiempo de secado aplicado en el test realizadas en el sistema rotativo.

Tabla 7 Tiempo de fermentación aplicado en el sistema rotativo

Número de Grupo	Tiempo del secado
Grupo (1-6)	4 días
Grupo (7-12)	5 días
Grupo (13-18)	7 días



Imagen 48 Secado natural de las almendras.

Fuente Autor

7.2.11 Prueba de corte

En la investigación se recolectaron 100 especímenes tomados del sistema rotativo, el procedimiento consistió en hacer cortes longitudinalmente a lo ancho de las almendras, para dejar expuesto interior de la semilla de cacao y exponer el área interna máxima de los cotiledones para realizar un análisis organoléptico de color, aroma, sabor y alveolos, y determinar el estado del grano, por consiguiente, la prueba de corte sirve para determinar la calidad de las almendras fermentadas (ver imagen 51).

En la imagen 52 se observa el corte de las almendras longitudinalmente, con un bisturí de hoja número 20 para posteriormente realizar el registro fotográfico de la superficie interna de las almendras.

En la imagen 52 se visualiza el corte transversal realizado a una almendra de la prueba 12 del sistema rotativo, donde evidencia una semilla con alveolos definidos y tonalidad café.

En la imagen 53, el grupo (6), se evidencia una semilla sana, sin presencia de moho interno con alveolos definidos, un olor agradable.

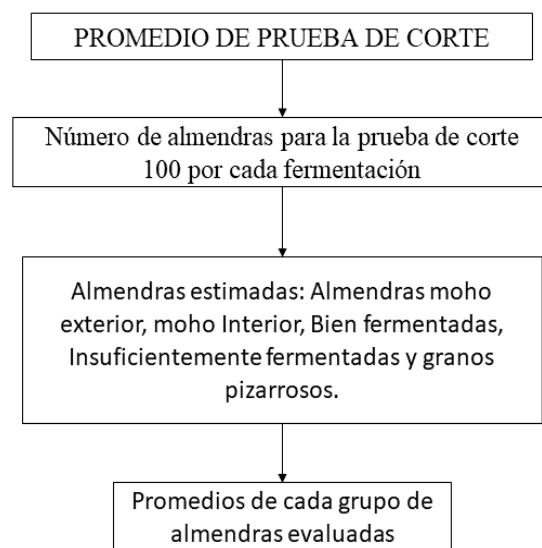


Imagen 49 Prueba de corte del sistema rotativo.

Fuente Autor



Imagen 50 Corte transversal de las almendras.

Fuente Autor



Imagen 51 Grupo 4

Fuente Autor



Imagen 52 Grupo Villa Sary

Fuente Autor

En la imagen 52 grupo 1 de la finca Villa Sary se observa la presencia de moho interno en la almendra y presenta olor desagradable, en la tabla 8 se muestra la caracterización del grupo 1 del Sistema rotativo y el test Villa Sary.

Tabla 8 Características de los grupos

Descripción de la prueba	Sistema rotativo	Villa Sary
Fechas de las fermentaciones	16/04/2021	21/04/2021

Grupo	4	3
Masa de cacao	4kg	5 kg
Temperatura ambiente	33,35	34,128
Tiempo de fermentación	4 días	5 días
Número de Volteos en la fermentación	30	10
Tiempo de secado	5 días	7 días
Número de volteos en el secado	2	0
Acidez	13,26%	18%
Humedad	76%	82%

Los datos recolectados de las pruebas de corte se promediaron por cada grupo, para luego presentar unas gráficas y posteriormente analizarlos, y seleccionar los ensayos dentro de cada grupo, presenta, con mejores resultados en la prueba de corte, hacer una comparación con el mejor grupo del grupo Villa Sary.

Prueba de calidad de Sistema rotativo

En la tabla 9,10 y 11 se aprecian los resultados de las pruebas de prueba de corte de cada una de los grupos dieciocho grupos.

Podemos apreciar que el grupo (4) presenta un alto porcentaje de almendras bien fermentadas de (72%), y en el grupo 16 se precisa un porcentaje de (53%) de la misma estimación de almendras, lo que nos permite afirmar que el grupo (4) y grupo (16) se los grupos seleccionados para compararlo con el grupo (2) de finca Villa Sary, al presentar mejores resultados en la prueba de calidad.

Tabla 9 Promedios de las pruebas de corte del Sistema Rotativo

Fermentaciones	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
Masa de cacao en baba (kg)	3	3	3	3	3	3
Tiempo de fermentación (días)	1	2	3	4	5	6
Volteos en la fermentación	20	20	20	20	20	20
Tiempo de secado (días)	4	4	4	4	4	4
Promedios de almendras con moho exterior	16%	16%	15%	8%	14%	12%
Promedios de almendras con moho interior	15%	17%	23%	0%	14%	25%
Promedios de almendras bien fermentadas	29%	28%	35%	72%	32%	27%
Promedios de almendras insuficientemente fermentadas	27%	23%	19%	11%	20%	24%
Promedios de almendras con granos pizarrosos	13%	15%	8%	8%	11%	12%

Tabla 10 Promedios de las pruebas de corte del Sistema Rotativo

Fermentaciones	Grupo 7	Grupo 8	Grupo 9	Grupo 10	Grupo 11	Grupo 12
Masa de cacao en baba (kg)	4	4	4	4	4	4
Tiempo de fermentación (días)	1	2	3	4	5	6
Volteos en la fermentación	30	30	30	30	30	30
Tiempo de secado (días)	5	5	5	5	5	5
Promedios de almendras con moho exterior	27%	19%	16%	38%	28%	15%
Promedios de almendras con moho interior	14%	20%	15%	14%	13%	12%
Promedios de almendras bien fermentadas	9%	12%	14%	2%	4%	12%
Promedios de almendras insuficientemente fermentadas	30%	0,29	40%	39%	41%	38%
Promedios de almendras con granos pizarrosos	19%	20%	14%	7%	15%	23%

Tabla 11 Promedios de las pruebas de corte del Sistema Rotativo

Fermentaciones	Grupo 13	Grupo 14	Grupo 15	Grupo 16	Grupo 17	Grupo 18
Masa de cacao en baba (kg)	5	5	5	5	5	5
Tiempo de fermentación (días)	1	2	3	4	5	6
Volteos en la fermentación	40	40	40	40	40	40
Tiempo de secado (días)	7	7	7	7	7	7
Promedios de almendras con moho exterior	25%	18%	12%	8%	19%	36%
Promedios de almendras con moho interior	17%	21%	9%	10%	21%	37%
Promedios de almendras bien fermentadas	29%	24%	32%	53%	29%	10%
Promedios de almendras insuficientemente fermentadas	24%	31%	27%	20%	23%	10%
Promedios de almendras con granos pizarrosos	5%	6%	21%	10%	8%	7%

8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

8.1 ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS DE TEMPERATURA, ACIDEZ, HUMEDAD.

En el siguiente enunciado se muestra los promedios de los grupos realizados en el Sistema Rotativo y finca Villa Sary, las variables analizadas en el presente proyecto fueron, temperaturas, volteos, humedad, acidez de la masa de cacao en fermentación.

8.1.1 Temperatura ambiente

En la figura 1, se muestran los promedios de temperatura ambiente de los lugares de donde se realizaron las pruebas de fermentación, de los grupos de la finca Villa Sary y la temperatura ambiente de las pruebas realizadas con el Sistema Rotativo en los meses de abril a octubre.

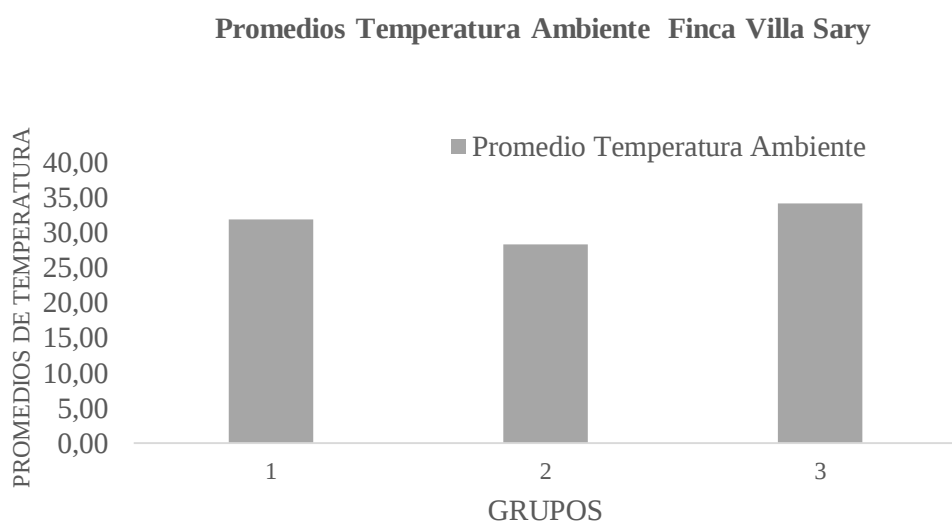


Figura 1 Promedios de temperatura ambiente Villa Sary

La temperatura ambiente es una variable de suma importancia en el curado del cacao, al interferir en el crecimiento de los microorganismos colaboradores en la fermentación, por tal dependiendo los grados de temperatura del lugar de fermentación terminara afectando positiva o negativamente el proceso.

En la figura en la figura para la finca Villa Sary, los promedios de temperatura máximo es 34,13 y corresponden a grupo (3) y la temperatura mínima es 28,36 grados Celsius en grupo (2).

En la figura 2 se observa los rangos de temperatura en los grupos del Sistema Rotativo estuvieron entre 35,46 y 28,54 grados Celsius, siendo el grupo (12) el de mayores temperaturas y el grupo (1) el de menor temperatura, de manera general la temperatura ambiente se mantuvo para todos los grupos del Sistema Rotativo y Finca Villa Sary menores a 35,46 grados Celsius.

Los meses del año en el cual se realicen las pruebas de fermentación serán determines para los resultados de las temperaturas en la fermentación del recipiente, en esta investigación las fermentaciones fueron en los meses de abril a octubre de año 2021.

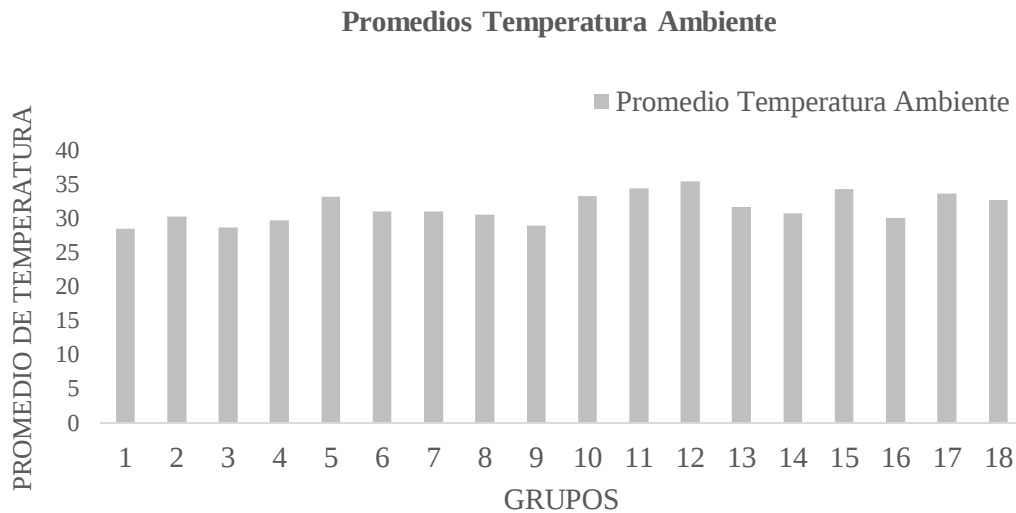


Figura 2 Promedios de temperatura ambiente del Sistema Rotativo

8.1.2 Promedios de temperaturas interna del recipiente de fermentación

Los cambios de temperatura dentro del recipiente de fermentación, son originados por las reacciones bioquímicas exotérmicas, producidas durante la descomposición del etanol, así mismo la liberación de energía en forma de calor, es transferida a las almendras de cacao, creado el ambiente ideal para que ocurra la fermentación.

En la figura 3 y 4 se muestran los promedios de temperatura interna del recipiente de fermentación, en los grupos Villa Sary el máximo temperatura en el grupo (3) en el nivel superficie (1), (34,34°C

Al analizar la distribución de la temperatura en el recipiente de fermentación del sistema rotativo, se ultimó que los gradientes disminuyen en cuanto alejaban del punto centro del recipiente, por otra parte, los niveles no tienen una temperatura uniforme, ya que el nivel (3) presenta temperaturas más altas, en comparación al nivel (1), en el fondo la temperatura es mayor que en el centro del recipiente, los cambios brusco de temperatura en la superficie superior se pudieron controlar con la implementación de filtro de saco, el cual permitió un mejor control de los gradientes de temperatura en el nivel (1) durante las fermentaciones.

Se puede constatar que la temperatura dentro del recipiente es directamente proporcional a los kilogramos de masa de cacao a fermentar, ya que al incrementar la masa la temperatura aumentaba unos grados, esto también depende del tipo de cacao y el estado de maduración de la mazorca.

PROMEDIOS DE TEMPERATURAS DE LA FINCA VILLA SARY

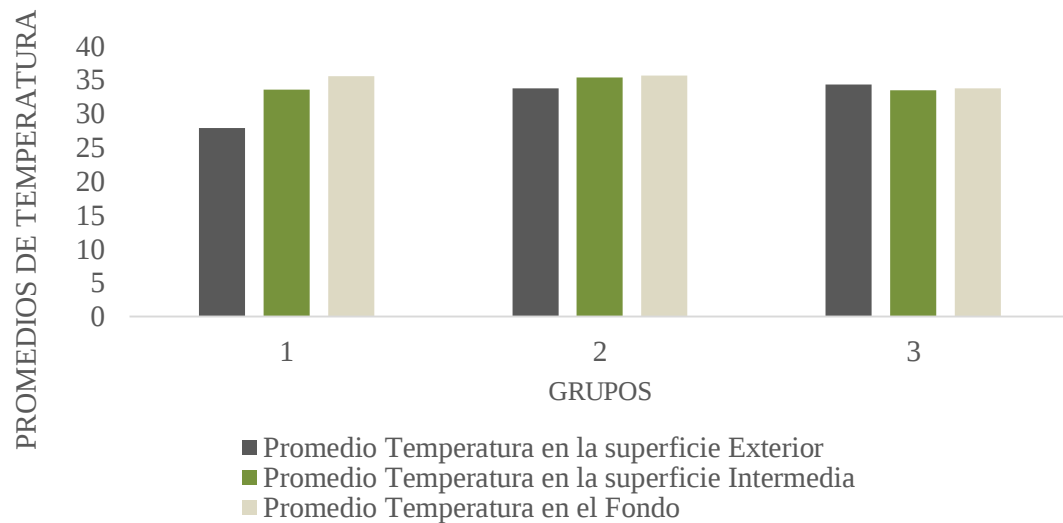


Figura 3 Promedios de temperaturas del recipiente de fermentación

PROMEDIOS DE TEMPERATURAS SISTEMA ROTATIVO

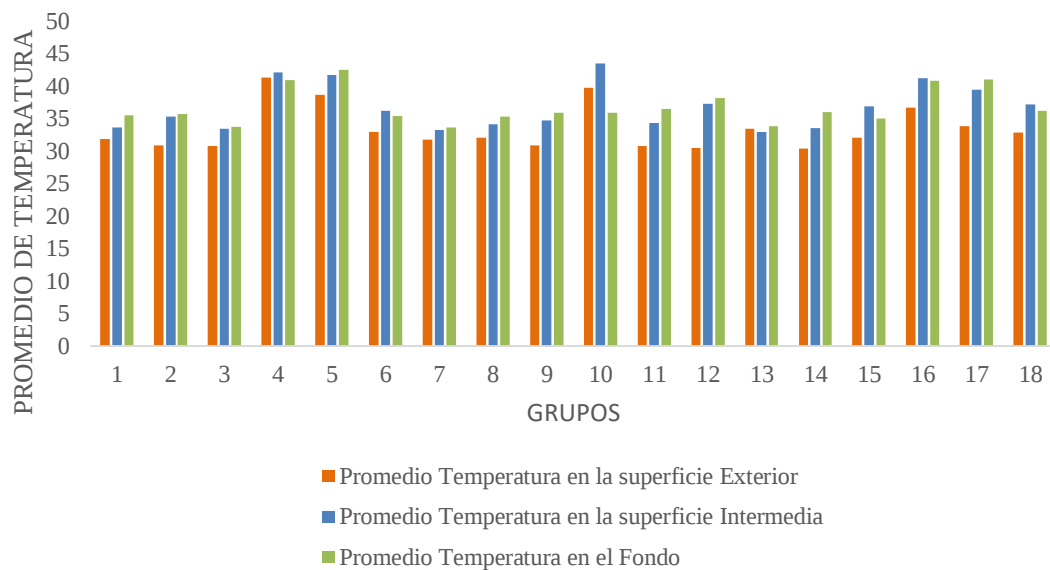


Figura 4 Promedios de temperaturas del recipiente de fermentación del sistema rotativo

8.1.3 Porcentaje de humedad

Durante las fermentaciones se evidenció una disminución en la humedad de forma gradual en las almendras, en cuanto van pasando los días de fermentación, esto se debe a que el mucilago en el primer y segundo días este fresco, y con mayor porcentaje de proteínas y azúcares, siendo este el alimento de las reacciones productoras de los líquidos dentro de la fermentación.

El líquido dentro del recipiente de fermentación es necesario en cantidades controladas, el exceso de líquido produce un alto porcentaje de humedad, creando granos pizarrosos, un porcentaje elevando de humedad y bajo nivel de temperatura, mata los microorganismos administradores de proceso de fermentación, dando espacio a la formación de nuevos microorganismos perjudiciales para la calidad de las almendras.

En la figura 6, se aprecia el Sistema Rotativo y los grupos (1), (7) y (13) la presenta la humedad más alta 96 % y mínima de 39% en los grupos (18), en comparación con la finca Villa Sary (Figura 5) el mayor promedio de humedad es (89%) grupo (2) y la mínima es de 81% grupo (1).

La humedad es sensible, los cambios climáticos presentados durante la fermentación y el nivel de azúcar presente en las pulpas de las almendras, los porcentajes de la humedad debe permanecer superior a un 35% para que las enzimas se desarrollen adecuadamente, vemos que los grupos del (1-6) tiene una humedad de 77% y los grupos (7-13) están en 75% de unidad, por último, los grupos (13-18) su promedio de humedad es 74%.

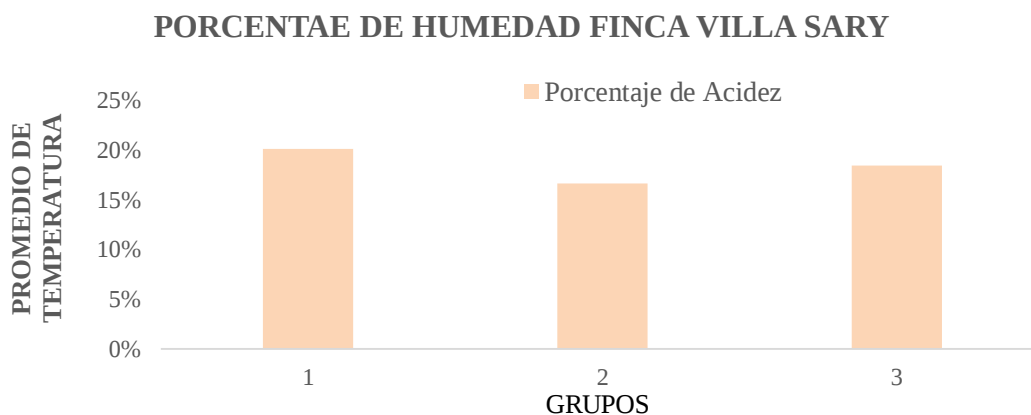


Figura 5 Promedios de humedad de la Finca Villa Sary

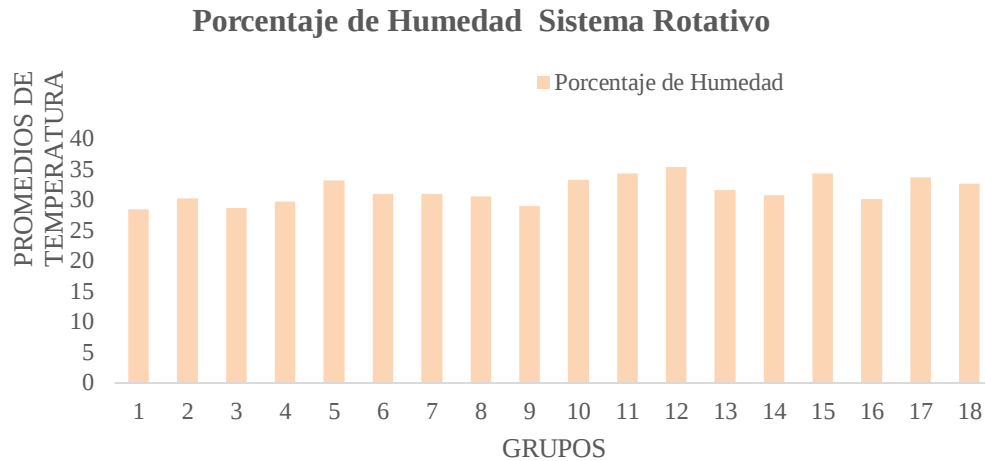


Figura 6 Promedios de humedad del Sistema Rotativo

8.1.4 Porcentaje de acidez

Los promedios obtenidos de las muestras de acidez permitieron evaluar la cantidad de sacarosa (azúcar) dentro jugos de la fruta de cacao, por consiguiente, la fermentación del cacao consiste en transformar los azúcares y nutrientes en alcoholes, y posteriormente en ácido acético.

En la figura 7 y 8, se muestran el promedio de acidez los grupos Villa Sary (17,59%) y Sistema Rotativo, el cual presenta máximo porcentaje en grupo (1) Villa sary de 20% brix y el mínimo de 17% brix, en el grupo (2), el Sistema Rotativo el valor más alto de humedad lo presenta el grupo (6) y es de 23% brix y el mínimo es de 8% brix en el grupo (1).

Los promedios de acidez son variable crítica, ya que, al incrementar los porcentajes de acidez, junto a repentino aumento en los niveles de temperatura dentro de la fermentación, genera resultado negativo a la calidad, produciendo un sabor amargo alas almendras fermentadas, por lo anterior los niveles de acidez deben permanecer por encima de un 16% brix para que se inicie la fermentación del cacao, notamos que los valores de los grupos del (1-6 y 13-18) tienen un porcentaje por encima de 16%, pero esto no garantiza directamente que la fermentación terminara con las características necesarias para ser catalogado como una fermentación de calidad.

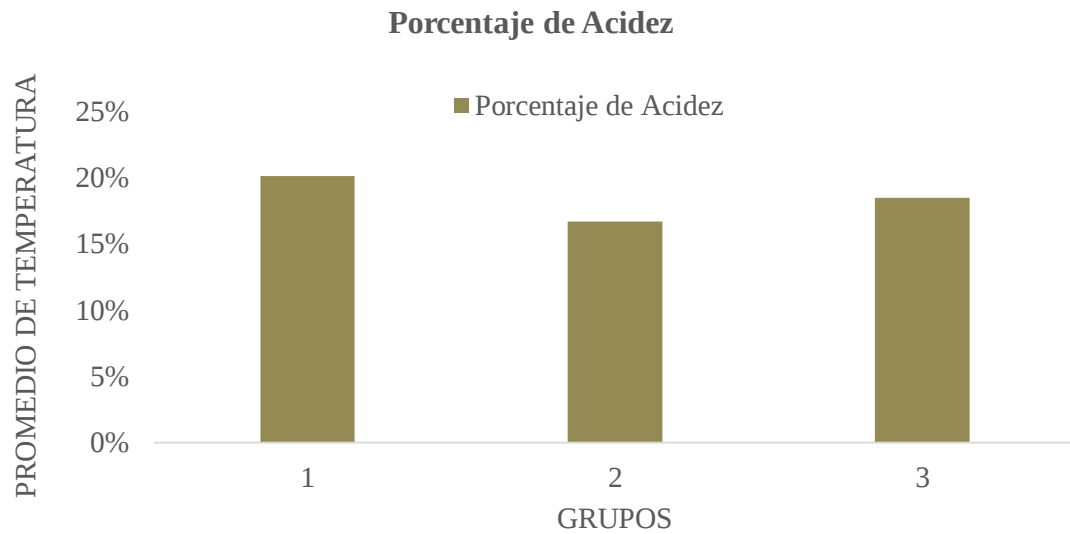


Figura 7 Promedios de Acidez de la Finca Villa Sary

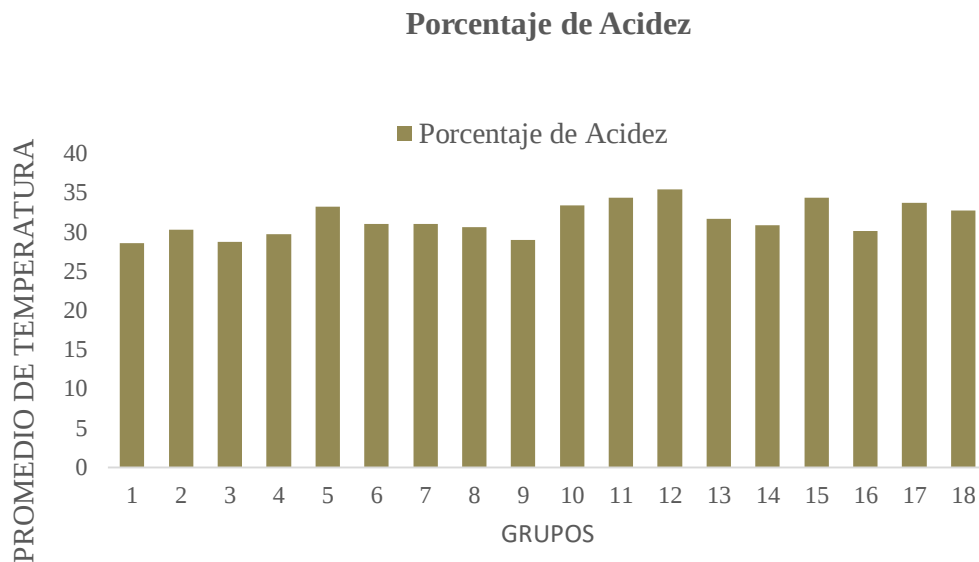


Figura 8 Promedios de acidez del Sistema Rotativo

En la figura 9 y 10 se visualiza el peso de las almendras secas, así como la reducción del peso que estas tuvieron después de terminado el proceso de fermentación.

En la Finca Villa Sary el grupo (1) el peso de las almendras incrementa al finalizar el secado del grupo (1) al (3), de 7,38kg a 7,776kg y la reducción de es de 22% y 26%, en la finca Villa Sary los tres grupos utilizan los mismos kilogramos de cacao.

8.1.5 Peso de las almendras secas y reducción de peso

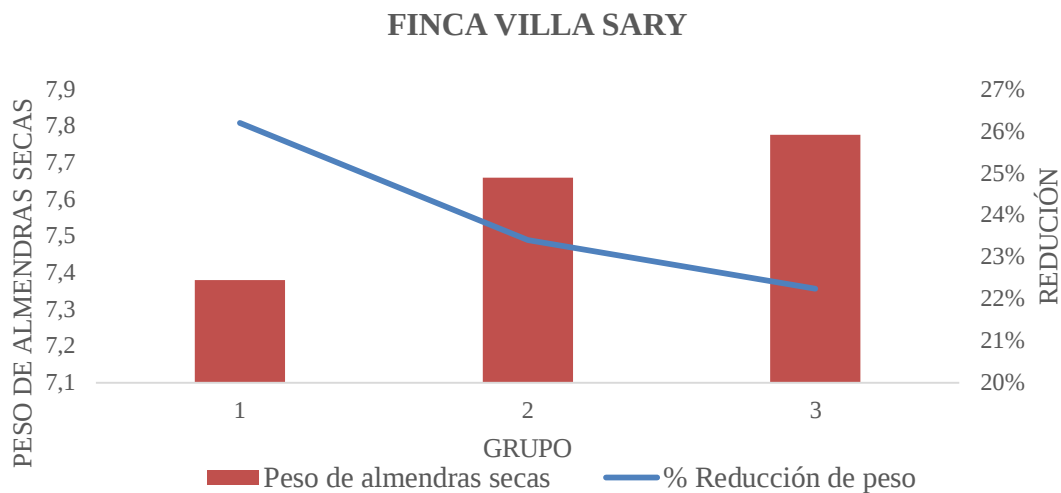


Figura 9 Peso de almendras secas Villa Sary

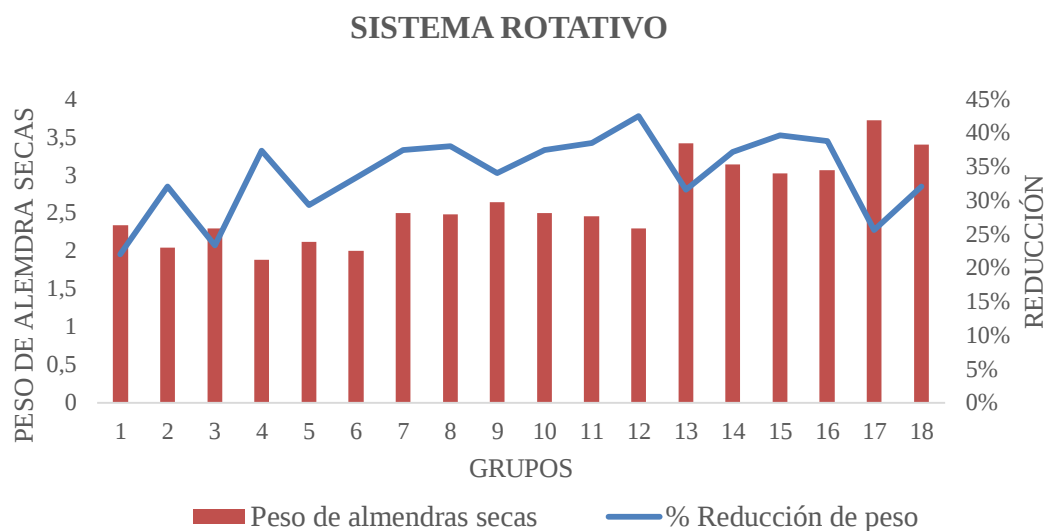


Figura 10 Peso de almendras secas Sistema Rotativo

En el Sistema Rotativo, al comparar los grupos por separado, detallamos que los grupos (1 al 6) el peso máximo después del de 2,34 kg en el grupo (1) y la máxima reducción es de 37% registrada en el grupo (4), el menor peso de almendras secas (1,88 kg) el grupo (4) y la mínima reducción fue de (22%) grupo (1), en los grupos (7 al 12) el peso máximo fue de 2,64 grupos (9) y (11), y la mínima y máxima reducción fue en el grupo (12).

El promedio de reducción de los primeros 6 grupos es de 22% y los grupos del (7 al 12) presenta promedios de 34% los grupos (13 al 18) finalistas tienen 26 % de reducción, podemos precisar que en los grupos del (13 al 18) el peso final de las almendras muestra unos valores más altos, cabe decir que estos grupos los kilogramos de masa fermentada fue mayor en comparación a los grupos (1 al 12).

La reducción del peso de las almendras durante el secado pende de la humedad final de la fermentación de los volteos durante el secado y los cambios climáticos que se puedan presentar durante los días del secado.

Los porcentajes de reducción de manera general incrementaron razonablemente con los kilogramos la masa de cacao en baba fermentados.

8.2 Análisis de la prueba de calidad

8.2.1 Gráfica del promedio de la prueba de corte

En el reporte se evaluaron, fermentaciones con moho externo, moho interno, fermentaciones buenas, fermentaciones con granos Pizarro, según la norma Icontec 1252 colombiana, para una fermentación de cacao.

La figura 11, se aprecian los porcentajes de las pruebas de corte realizadas en el proyecto, podemos afirmar que los que mayor porcentaje de almendras con moho exterior son, grupo(1) Villa Sary y Sistema Rotativo en el grupo (10) y (18), al mantener un promedio de entre 32% y 38 % y 36%, cabe resaltar que un inadecuado control de la humedad y mala remoción de las almendras dentro del recipiente de fermentación producen relación de moho exterior en el recipiente, los porcentajes de húmedas de los grupos con mayores porcentaje en la finca Villa sary es de 81% y él en Sistema Rotativo son 76% y 39%, el menor porcentaje de moho exterior fueron el grupo(8%, 15% y 8%), en la finca Villa Sary en grupo(2) con un 25% de almendras con moho.

En cuanto el máximo de moho interno, en la finca Villa Sary el grupo (1) , y el grupo (4) presentan 20% y un 37% en grupo (18), el promedio de moho interno en los primeros 6 grupos es 25% y del grupo (7 al 12) el promedio es 20% los últimos grupos tiene un porcentaje de almendras con moho interior de 37%.

Los promedios más bajos de moho interior se presentaron en los grupos (7 al 12) donde se tuvo un de promedios de 34% la reducción en el peso de las almendras después el secado.

PRUEBA DE CALIDAD DEL SISTEMA ROTATIVO

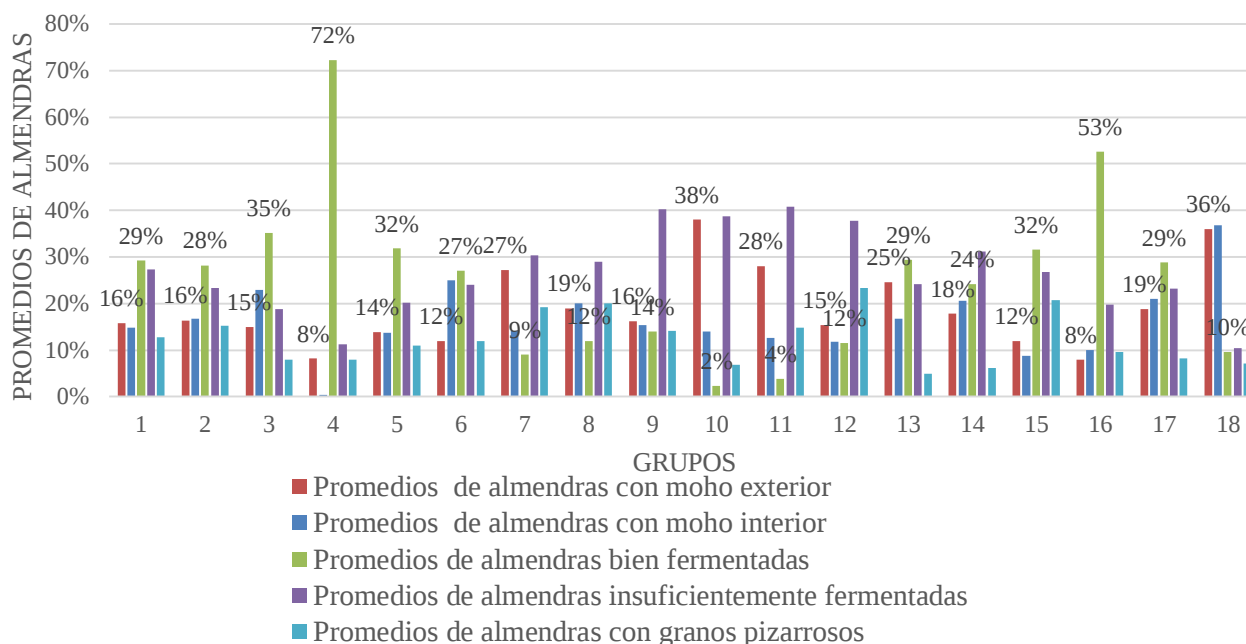


Figura 11 Promedios de prueba de corte Sistema Rotativo

Las causales del moho interior dentro del grano de cacao, son una un alto porcentaje de humedad e insuficiencia, volteos en el secado, tiempo de secado de las almendras al sol.

El máximo porcentajes de almendras bien fermentadas en los 6 primeros grupos es de 72% y el mínimo es de 27%, en el grupo (4) y (23%), el promedio de almendras bien fermentadas de 37% para estos grupos.

Los grupos del (7 al 12) el promedio de almendras bien fermentadas es de 9% y el máximo de almendras fermentadas dentro de este grupo (9) y el minino es de 2%, los ultimo grupos (13 al 18), su máximo porcentaje de almendras fermentadas es de 53% grupo (16) y el promedio es 29%, el mínimo porcentaje es de 10% grupo (18), cabe decir que las almendras que presentan una fermentación completa sus alveolos son bien definidos y la cascara se desprende fácilmente.

Los promedios de los grupos de almendras con insuficientemente fermentadas en los 6 primeros grupos son (20%), los grupos (7-12) el promedio está en (36) y de 29% para los últimos seis, el grupo (14) obtuvo mayor porcentaje de almendras con insuficiencia de fermentación, y el mínimo valor está en el grupo (10), las almendras con insuficiencia de fermentación presentan durante la prueba de corte color violeta o marrón y sabores estrogénicos, y las consecuencias olores desagradables.

El promedio de granos pizarrosos, en los grupos (1 al 6) es 13%, grupos (7-12) es porcentaje es mayor de 16% y los ultimo grupos (13-18), el porcentaje disminuyo a 10%, los máximos porcentajes se encuentran en los grupos (2), (12) y (21), los granos pizarrosos son consecuencia de agente extraño dentro de la fermentación que terminan afectando o germinando el grano, así como un mal intervención de las variables dentro de la fermentación.

8.2.2 Comparación de los Sistema rotativo Grupo (4) vs Grupo (2) finca Villa Sary

En este apartado se compararon las pruebas de calidad aplicadas a la Finca Villa Sary y el Sistema Rotativo donde es la estimaron almendras moho exterior, moho interior, almendras bien fermentadas, insuficientemente fermentadas, granos pizarrosos lo que nos permite identificar el grupo del Sistema Rotativo y el grupo de la finca Villa Sary con mayores almendras bien fermentadas.

En la figura 12, vemos que los grupos fue seleccionado en la finca Villa Sary el grupo (2) fue el seleccionado, por presentar el mayor porcentaje de almendras bien fermentadas, de igual maneras en el Sistema Rotativo se seleccionó el grupo (4).

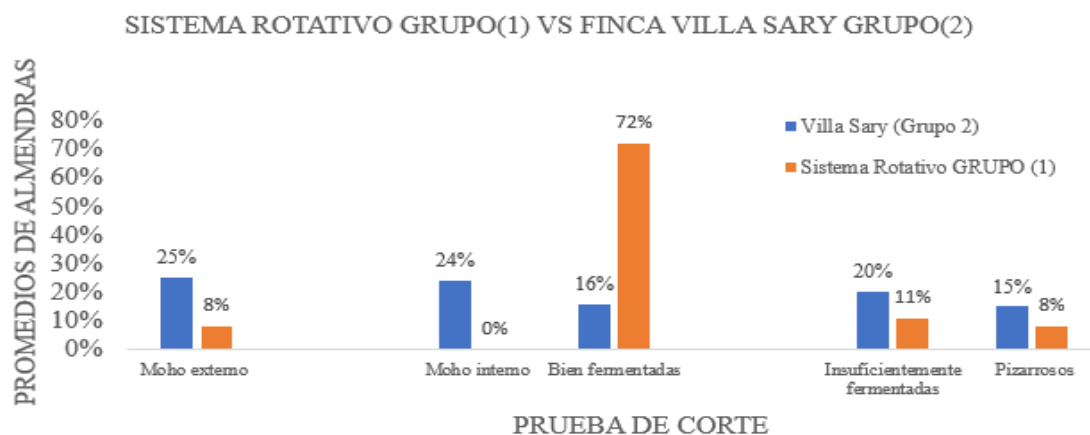


Figura 12 Grupos con mayores almendras bien fermentadas

Características	Villa Sary (Grupo 2)	Sistema Rotativo Grupo (4)
Tiempo de fermentación	5 días	4 días
kilogramos de masa de cacao en baba	10Kg	3Kg
volteos durante la fermentación	7	20
Tiempo de secado	4días	4 días

La prueba de calidad de cada ensayo fue decisiva para la elección de los mejores del grupo, se precisa que la finca Villa Sary muestra menor porcentaje de almendras bien fermentadas (16%), en comparación al grupo (4) del sistema rotativo, al mostrar un 72% de almendras bien fermentadas, en cuanto al porcentaje de moho exterior Villa Sary tiene un porcentaje de 25% y el grupo (4) un 8%, el moho interior en el grupo (4) es cero, en la finca Villa Sary su porcentaje es de 24%, en la tabla 12 se aprecian las características de los grupos seleccionados.

las almendras con insuficiencia y granos pizarrosos se presentaron con mayor cantidad en los grupos Villa Sary con 20% y grupo (4) con 11%, los porcentajes de granos pizarrosos fue de 15%, 15% y 8% para Villa Sary grupo (2) y grupo (4) del sistema rotativo.

Entre las variables analizadas se encuentra el tiempo de fermentación, se constató después de varios ensayos que el tiempo adecuado para la fermentación en sistema rotativo es de 4 días, y el grupo (2) de la finca Villa Sary mantiene un tiempo de fermentación de 5 días, y el tiempo de secado es de 4 días para el grupo (2) de Villa Sary y el grupo (4) del sistema rotativo.

8.3 LOS PUNTOS ÓPTIMOS DEL DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ROTATIVO

- ✓ Los puntos óptimos se escogieron partiendo de los ensayos que presentaron mayor porcentaje de almendras bien fermentadas, durante la realización de la prueba de calidad.

El sistema rotativo fue colocado, aprueba durante los meses de abril a octubre en la fermentación de cacao y trabajando con diferentes masas y parámetros, que variaron de un grupo a otro, se constató que el grupo (4) cuadruplicó los porcentajes de almendras bien fermentadas al compararlo con el mejor porcentaje de la finca Villa Sary grupo(2), lo anterior posiciona al momento de fermentar almendras de cacao, ubicando al Sistema Rotativo como un dispositivo con excelentes resultados para la fermentación de cacao.

En la tabla 11, se aprecian, las variables estándar en el funcionamiento de sistema rotativo, para la producción de cacao de calidad, según la norma Icontec 1252 última versión 17/03/2021, para tal la obtención un cacao según la norma.

Tabla 11 Punto óptimo del funcionamiento del equipo.

Tipo de cacao	Trinitario / criollo
Tiempo de fermentación	4 días
Masa de cacao	3kg
Volteos en la fermentación	20
Tiempo de secado	4días
Volteos en el secado	2

9. CONCLUSIONES

Conclusiones del sistema rotativo

En el presente proyecto se evidenció que las características adheridas al proceso de fermentación para obtener un producto final, con almendras de cacao calidad son, método de fermentación, tiempo de fermentación, temperatura de la fermentación, aireación, frecuencia de volteos, humedad, acidez, tiempo de secado.

El prototipo cumple la función como dispositivo de fermentación de cacao de calidad, posibilitando la transformación la masa de cacao en baba, en almendras de cacao bien fermentadas, brinda excelente desempeño en la configuración del proceso para una fermentación completa.

La implementación del Sistema rotativo para realizar los volteos de cacao en el proceso de fermentación de cacao, género mejoras a la calidad de las almendras de cacao, reduciendo el porcentaje de moho exterior, en comparación con la calidad de las almendras obtenidas por el método tradicional, utilizado por los cultivadores de Majagual Sucre.

Se identificó que los gradientes de temperaturas en el sistema rotativo disminuyen, en cuanto se alejan del punto centro del recipiente de fermentación, los niveles de temperatura (2) y (3) presentan mayor grado de temperatura, el nivel (1) presenta grados temperaturas inferiores. Los grupos con características de una fermentación completa y de calidad, son aquellos donde los cambios súbitos o picos de temperatura permanecieron controlados, y los porcentajes de humedad y acidez no presentaron variaciones pronunciadas durante los días fermentación, en la finca Villa Sary, el nivel (1) y (2) presentan mayor temperatura que el nivel (3), esto es debido a que el recipiente plástico de fermentación está en contacto directo con la superficie o tierra.

Los puntos óptimos de trabajos del prototipo son, masa de cacao en baba 3 kg, tiempo de fermentación 4 días, tiempo de secado de (4) días, volteos en la fermentación 20, volteos en el secado 2, estos datos se obtuvieron del grupo (4) del sistema rotativo.

El grupo (4) del Sistema Rotativo cuadruplicó el porcentaje de almendras bien fermentadas con relación al método tradición de fermentación, además disminuyo a 8%, el porcentaje de granos con moho exterior y el porcentaje de granos moho interior se redujo a 0%, Por ende, la configuración de fermentación del grupo (4) del sistema rotativo fue, la elegida para implementar en las cooperativas de Majagual Sucre.

Por otro lado, el tipo de cacao fermentado, es determinante para la implementación del Sistema rotativo, la anterior investigación permite afirmar que el sistema rotativo, se puede aplicar con un mayor grado de confiabilidad en la fermentación de cacao trinitario y criollo, respecto. A otra variedad de tipología de cacao existente, se debe plantear un seguimiento detallado durante el

proceso de fermentación, para evitar resultados no deseados y perdida o daño de la materia prima, ya que pueden presentar variaciones en el proceso de fermentación, así como en las variables de tiempo, temperatura, acidez, volteo o mezclado.

10. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- Para investigaciones futuras se sugiere tener identificada una plantación de cacao que supla la demanda de la masa utilizada durante el periodo de fermentación.
- En las fermentaciones de futuras de cacao se requiere la compra de equipos electrónicos para la medición de temperaturas y acidez, humedad.
- Es de conocimiento que la calidad del cacao no solo depende de las variables presentes durante la fermentación.
- El secado es de suma importancia durante el proceso, por lo tanto se recomienda usar equipos de medición de temperatura electrónicos durante este proceso y poder realizar una trazabilidad del desarrollo de este.
- Se debe tener en cuenta que las almendras no tienen el mismo nivel de maduración, ya que la mayoría de los cultivadores no aplican rigurosamente este proceso con mazorcas totalmente maduras, por lo tanto las investigaciones realizadas deben tener en cuenta el no empleo de mazorcas totalmente maduras para los ensayos.
- para futuras investigaciones, aplicar toma de temperatura a la masa en fermentación después de cada volteo, para verificar si existe cambios en la temperatura después de cada volteo.
- Si la investigación requiere de laboratorio sensorial, se debe investigar cuidadosamente los lugares donde están ubicados, y el contacto con estos antes de iniciar las fermentaciones. Y así evitar retener masa de cacao sin realización de análisis por mucho tiempo.

MANUAL DE FERMENTACIÓN APLICANDO EL USO DEL SISTEMA ROTATIVO.



Función Técnica

- El presente manual contiene la información útil para la correcta operación del sistema rotativo. En él se encuentra claramente detallado el sistema de ensamble, y sus componentes.
- Antes de poner en operación el sistema rotativo es necesario leer cuidadosamente este manual y pasos para iniciar el proceso de volteo.

Seguridad

Antes de iniciar la operación del sistema rotativo asegure, que los seguros estén aplicados, esto para evitar derrames de las frutas de cacao o cualquier tipo de inconveniente en el buen funcionamiento del sistema rotativo.

ALERTA ⚠

- Siempre asegure colocar el pasador de seguridad antes del iniciar la manipulación del sistema rotativo ⚠

- Evitar meter o manipular elementos, extremidades del cuerpo cerca del dispositivo durante su funcionamiento.

Aplicación

- El sistema rotativo para facilitar las rotaciones o “volteos” que se deben realizar al cacao en el proceso de fermentación.
- Consta de una capacidad máxima de 10 kg de cacao fresco o para fermentar.
- El diseño mecánico le permite aplicar las fermentaciones en lugares o las zonas no interconectadas (zni).
- El sistema práctico, ya que por su densidad y volumen
- Se puede trasladar fácilmente.

Características

- Cuenta con dos recipientes en madera, el recipiente de fermentación y el recipiente contenedor.
- Cuenta con dos seguros, uno ubicado recipiente contenedor que permite realizar las rotaciones de manera segura y fiable para que No existan derrames, el otro se aloja en la estructura permitiendo

- Colocar en posición alineada el recipiente contenedor en el instante que se requiere realizar el ingreso del recipiente de fermentación.
- Su fácil funcionamiento permite que ser utilizado, por cualquier persona aplicando la menor cantidad de fuerza.

Ventajas



- Sistema rotativo ofrece a los agricultores un sistema estandarizado, éste permite a las cooperativas y fincas realizar el proceso de fermentación con mejor calidad.
- Reduce los casos de improvisación a personas que desean entrar a fermentar cacao. Con un sistema práctico y de fácil construcción.

Análisis de operación:

- Se deben tener en cuenta estas recomendaciones para prolongar la vida útil del sistema.
- Antes de ingresar el recipiente de fermentación retirar el filtro de saco.

- Antes de comenzar cualquier actividad, verifique que todas las partes, los pasadores de seguridad, estén debidamente colocados y en su sitio.
- Compruebe que el recipiente de fermentación este asegurado antes deslizarlo por la rampa e ingresarlo al recipiente contenedor.
- Antes de iniciar los volteos, debe estar aplicado el seguro al recipiente contenedor con su sistema de seguridad.
- Colocar la tapa del recipiente contenedor en la rampa.
- Después de asegurar, el sistema retiré el seguro que se encuentra en la base de la estructura y el pasador del eje derecho.
- Asegúrese de aplicar la fuerza moderada en dirección a las manecillas del reloj.
- Después de realizar en número de vueltas deseadas reduzca el movimiento disminuyendo la fuerza hasta detener totalmente el sistema.
- Retire el seguro que se encuentra en la base de la estructura.
- Compruebe que el recipiente contenedor está en posición para asegurar.
- Retire el seguro que se encuentra en el recipiente contenedor.
- Deje deslizar la tapa hasta llegar a la rampa.
- Retire el recipiente de fermentación y deslícelo por la rampa.

Luego de la operación:

Limpie el recipiente contenedor en el interior y exterior. Los componentes como rampa, seguros.

Verifique que todos los elementos estén completos y sin daños.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, E. A. V. (2007). La producción y las exportaciones de cacao colombiano entre 2007 y el 2016: desafíos para lograr mayor competitividad en el mercado internacional. 76.

Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (SEXTA).

Cadby, J. (2019, junio 27). ¿Qué Sucede Durante la Fermentación Del Cacao? Perfect Daily Grind español. <https://perfectdailygrind.com/es/2019/06/28/que-sucede-durante-la-fermentacion-del-cacao/>

Castillo, J. (2019). Diseño de un fermentador orientado a mejorar el proceso de fermentación del cacao criollo blanco de piura.

Castro-Alayo, E. M., Idrogo-Vásquez, G., Siche, R., & Cardenas-Toro, F. P. (2019). Formation of aromatic compounds precursors during fermentation of Criollo and Forastero cocoa. *Heliyon*, 5(1), e01157. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01157>

De Vuyst, L., & Weckx, S. (2016). The cocoa bean fermentation process: From ecosystem analysis to starter culture development. *Journal of Applied Microbiology*, 121(1), 5-17. <https://doi.org/10.1111/jam.13045>

Gomez Saenz, G., Mejia Rueda, H. G., & Martinez Huerto, W. (2017). Manual para el mejoramiento de prácticas de beneficio y calidad del cacao.

Cardona Velásquez, L. M., Rodríguez-Sandoval, E., & Marleny Cadena Chamorro, E. (2016). Diagnóstico de las prácticas de beneficio del cacao en el departamento de Arauca. *Revista Lasallista de Investigación*, 13(1), 94-104.

Castillo, J. (2008). Diseño de un fermentador orientado a mejorar el proceso de fermentación del cacao criollo blanco de Piura.

Fedecacao. (2022, febrero 11). La producción cacaotera nacional sigue creciendo: En 2021 logra un nuevo récord histórico. Sitefedecacao. <https://www.fedecacao.com.co/post/la-producción-cacaotera-nacional-sigue-creciendo-en-2021-logra-un-nuevo-récord-histórico>
ao. 32.

Hatmi, R. U., Kobarsih, M., & Cahyaningrum, N. (2015). Fungi Level Analysis of Cocoa Beans Based on Fermentation Box Type and Duration. *Procedia Food Science*, 3, 371-382. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.01.041>

Ipanaqué, W., Castillo, J., Robles, H., & Belupú, I. (2017). Desarrollo e implementación de un prototipo de acero inoxidable para evaluar el proceso de fermentación de granos de cacao. 14.

Rosero, L. (2021). optimización de la fermentación de cacao (theobroma cacao) de especies cultivadas en los departamentos de meta y guaviarecolombia. revisión de literatura.

Cardona, L. (2016). Influencia del proceso de fermentación sobre las características de calidad del grano de cacao (Theobroma cacao).

Morales, J., Adriana García, & Méndez, E. (2012) What do you know about...Cocoa? <https://www.redalyc.org/pdf/579/57928311010.pdf>

Morales, l. i. (2020). Fermentación asistida de cacao (Theobroma cacao) y participación de Zamorano en la investigación e innovación de derivados de este cultivo: Revisión literaria.

Rivera, R. D. (2011). Efecto del tipo y tiempo de fermentación en la calidad física y química del cacao (theobroma cacao l.) tipo nacional.

Rodriguez-Campos, J., Escalona-Buendía, H. B., Contreras-Ramos, S. M., Orozco-Avila, I., Jaramillo-Flores, E., & Lugo-Cervantes, E. (2012). Effect of fermentation time and drying temperature on volatile compounds in cocoa. *Food Chemistry*, 132(1), 277-288. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.078>

Sosa, M. (2018). Mercado internacional del cacao: Una referencia obligada para la inserción del cacao de Baracoa.

Valdivia, r. (2021). Fundamentos del secado del cacao.

Salcedo, Y., Martinez, L. (2016). Efectos del proceso de fermentación en la capacidad antioxidante y ácido láctico del cacao cultivado y procesado en las regiones del Alto Sinú (Córdoba) y Montes de María (Bolívar)

12. ANEXOS

ANEXOS A

SISTEMA ROTATIVO

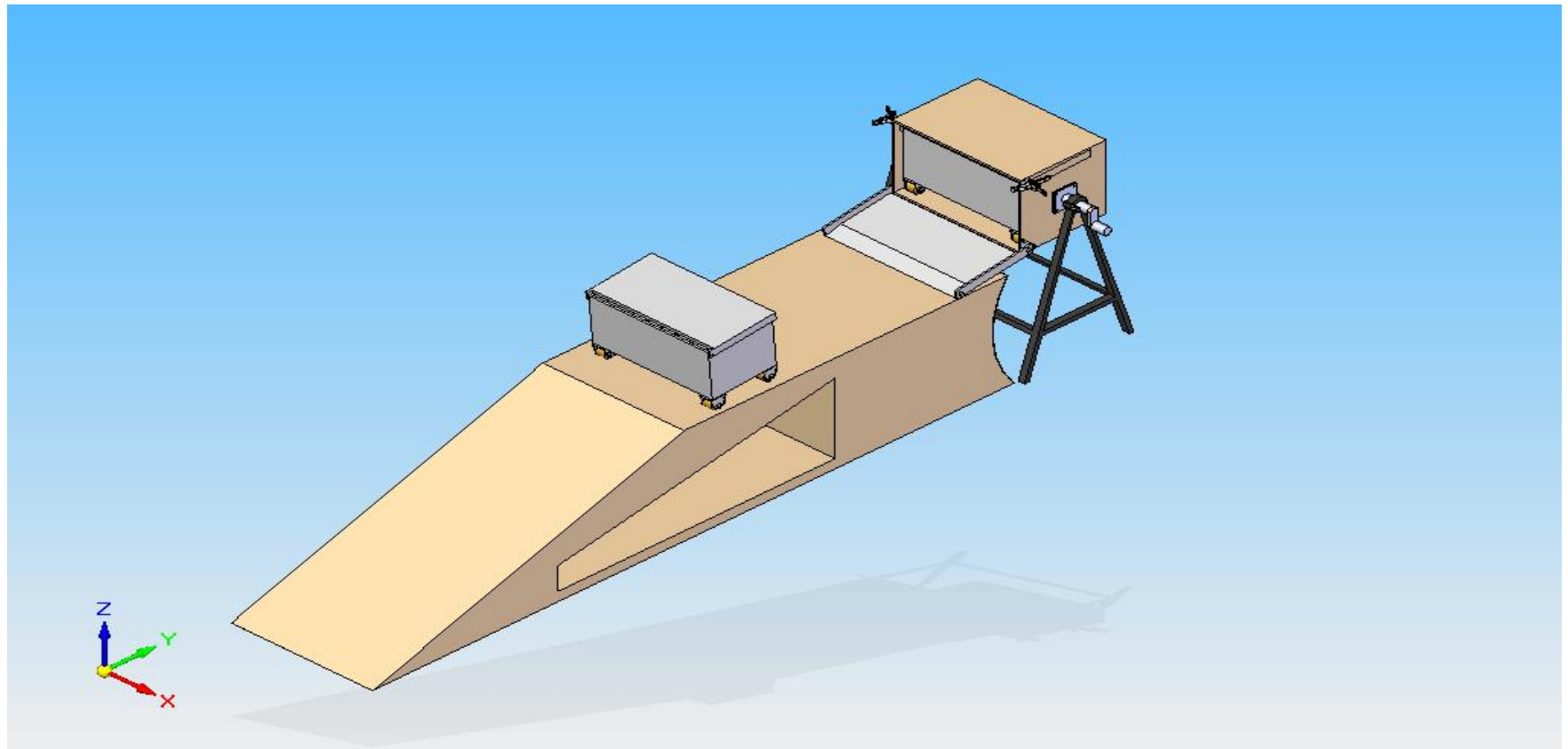


Imagen 53 Vista Isométrica.

Fuente Autor

ANEXOS B

Fechas de fermentaciones de la finca Villa Sary

Tabla 12 Calendario de fermentación finca Villa sary

ENSAYOS	ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3	
# FERMENTACIONES	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINAL	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINAL	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINAL
FERM 1	1/04/2021	5/04/2021	11/06/2021	15/06/2021	16/07/2021	20/07/2021
FERM 2	7/04/2021	11/04/2021	16/06/2021	20/06/2021	22/07/2021	26/07/2021
FERM 3	13/04/2021	17/04/2021	23/06/2021	27/06/2021	10/07/2021	14/07/2021
FERM 4	25/04/2021	29/04/2021	2/07/2021	6/07/2021	16/07/2021	20/07/2021
FERM 5	3/06/2021	7/06/2021	11/07/2021	15/07/2021	26/07/2021	30/07/2021

ANEXOS C

Planilla del registro de temperatura

Tabla 13 Planilla para registro de la temperatura termómetro T300

FORMATO DE REGISTRO DIARIO DE TOMA DE TEMPERATURAS MÉTODO MANUAL									
MASA A FERMENTAR:		F ENTRADA:		HORA:		F SALIDA:		HORA:	
TEMPERATURAS									
ENSAYOS	TEMPERATURA AMBIENTE		TEMPERATURA NIVEL (1)		TEMPERATURA NIVEL (2)		TEMPERATURA NIVEL (3)		
1									
2									
3									
4									

ANEXOS D

Planilla para registro de temperatura

Tabla 14 Planilla para registro de temperatura termómetro clock / humidity htc-2.

FORMATO DE REGISTRO DIARIO DE TOMA DE TEMPERATURAS " TERMO HIDRÓMETRO"					
MASA A FERMENTAR:	ENSAYOS DE FERMENTACIÓN #				
NÚMERO DE FERMENTACIÓN:	FERM 1	FERM 2	FERM 3	FERM 4	FERM 5
FECHAS DE FERMENTACIÓN	F-INICIO:	F-INICIO:	F-INICIO:	F-INICIO:	F-INICIO:
	F-FINAL:	F-FINAL:	F-FINAL:	F-FINAL:	F-FINAL:
TEMPERATURA INICIAL DE LA MASA					
TEMPERATURA INSTANTÁNEA					
TEMPERATURA AMBIENTE					

ANEXOS E

Planilla para registro de humedad

Tabla 15 Planilla de recolección de humedad

MASA A FERMENTAR:	FERMENTACIONES DE FERMENTACIÓN #				
	FERM 1	FERM 2	FERM 3	FERM 4	FERM 5
NÚMERO DE FERMENTACIÓN:	F-INICIO:	F-INICIO:	F-INICIO:	F-INICIO:	F-INICIO:
	F-FINAL:	F-FINAL:	F-FINAL:	F-FINAL:	F-FINAL:
Humedad relativa instantánea					

ANEXOS F

Planilla para el registro de las muestras acidez de acidez

Tabla 16 Planilla de recolección de acidez

FORMATO DE REGISTRO DE ACIDEZ					
MASA A FERMENTAR#	ENSAYOS DE FERMENTACIÓN				
	FERM 1	FERM 2	FERM 3	FERM 4	FERM 5
NÚMERO DE FERMENTACIÓN #	F-INICIO:	F-INICIO:	F-INICIO:	F-INICIO:	F-INICIO:
	F-FINAL:	F-FINAL:	F-FINAL:	F-FINAL:	F-FINAL:
MUESTRAS 1					
MUESTRAS 2					

ANEXOS G

Caracterización de los ensayos de Villa Sary

Tabla 17 Promedios de las variables analizadas Grupo Villa Sary

Grupo Villa Sary			
CARACTERIZACIÓN	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3
Promedios por cada ensayo	Promedios	Promedios	Promedios
Tiempo de fermentación	5días	5 días	5 días
kilogramos de masa de cacao en baba	10Kg	10Kg	10Kg
volteos durante la fermentación	5	7	10
Tiempo de secado	3días	4días	7días
Numero de volteos en el secado	0	0	0
Frecuencia de los volteos	0	0	0
Promedio Temperatura en la superficie Exterior	27,3625	32,9125	34,15
Promedio Temperatura en la superficie Intermedia	26,9125	32,5	34,1625
Promedio Temperatura en el Fondo	26,4	31,525	36,0875
Promedios de Temperatura Ambiente	31,8875	28,3625	34,12857143
Promedios de Humedad	81%	89%	82%
Promedios de Acidez	20%	17%	18%

ANEXOS H

Tabla 18 Tabla promedios de temperatura ambiente de la finca Villa Sary.

Grupos	Temperatura ambiente
Grupo 1	31,88
Grupo 2	28,36
Grupo 3	34,128

ANEXOS I

Planilla para prueba de corte

Tabla 19 Planilla de descripción de pruebas de cortes

Grupos #	
FERMENTACIÓN #	CANTIDAD
PROMEDIOS DE ALMENDRAS CON MOHO EXTERNO	
PROMEDIOS DE ALMENDRAS CON MOHO INTERNO	
PROMEDIOS DE ALMENDRAS BIEN FERMENTADAS	
PROMEDIOS DE INSUFICIENTEMENTE FERMENTADA	
PROMEDIO DE GRANOS PIZARROS	

ANEXOS J

Tabla 20 Promedios de las pruebas de corte de cada grupo 1 de la finca Villa Sary

Grupos VILLA SARY					
(Grupo 1)					
5 DÍAS	FERM 1	FERM 2	FERM 3	FERM 4	FERM 5
PROMEDIOS DE ALMENDRAS CON MOHO EXTERNO	30%	21%	14%	16%	15%
PROMEDIOS DE ALMENDRAS CON MOHO INTERNO	40%	27%	56%	37%	19%
PROMEDIOS DE ALMENDRAS BIEN FERMENTADAS	23%	42%	20%	37%	58%
PROMEDIOS DE INSUFICIENTEMENTE FERMENTADA	4%	5%	8%	7%	2%
PROMEDIO DE GRANOS PIZARROSOS	3%	5%	2%	3%	6%

Tabla 25 Promedios de las pruebas de corte de cada grupo 2 de la finca Villa Sary

Grupos VILLA SARY					
(Grupo 2)					
5 DÍAS	Ferm 1	Ferm 2	Ferm 3	Ferm 4	Ferm 5
PROMEDIOS DE ALMENDRAS CON MOHO EXTERNO	14%	6%	0%	21%	4%
PROMEDIOS DE ALMENDRAS CON MOHO INTERNO	21%	15%	20%	19%	0%
PROMEDIOS DE ALMENDRAS BIEN FERMENTADAS	61%	56%	45%	33%	75%
PROMEDIOS DE INSUFICIENTEMENTE FERMENTADA	2%	17%	24%	27%	6%
PROMEDIO DE GRANOS PIZARROSOS	2%	6%	11%	0%	15%

Tabla 26 Promedios de las pruebas de corte de cada ensayo 3 de la finca Villa Sary

Grupos VILLA SARY					
(Grupo 3)					
5 días	Ferm 1	Ferm 2	Ferm 3	Ferm 4	Ferm 5
PROMEDIOS DE ALMENDRAS CON MOHO EXTERNO	13%	27%	8%	18%	9%
PROMEDIOS DE ALMENDRAS CON MOHO INTERNO	33%	7%	28%	25%	8%
PROMEDIOS DE ALMENDRAS BIEN FERMENTADAS	23%	34%	40%	34%	30%
PROMEDIOS DE INSUFICIENTEMENTE FERMENTADA	10%	21%	19%	16%	22%
PROMEDIO DE GRANOS PIZARROSOS	21%	11%	5%	7%	31%

ANEXOS k

Fechas de fermentación del sistema rotativo

Tabla 21 Calendario de fermentación del Sistema Rotativo Grupo 1

FECHAS DE FERMENTACIÓN TEST 1						
ENSAYOS	ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3	
# FERMENTACIONES	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINAL	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINAL	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINAL
FERM 1	7/04/2021	8/04/2021	24/04/2021	25/04/2021	28/04/2021	30/04/2021
FERM 2	11/05/2021	11/05/	5/05/2021	6/05/2021	1/05/2021	3/05/2021
FERM 3	3/06/2021	4/06/2021	13/05/2021	14/05/2021	22/05/2021	24/05/2021
FERM 4	3/10/2021	4/10/2021	23/06/2021	24/06/2021	13/06/2021	15/06/2021
FERM 5	16/10/2021	17/10/2021	20/08/2021	21/08/2021	1/07/2021	3/07/2021
ENSAYOS	ENSAYO 4		ENSAYO 5		ENSAYO 6	
# FERMENTACIONES	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINAL	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINAL	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINAL
FERM 1	9/04/2021	12/04/2021	1/04/2021	5/04/2021	16/04/2021	21/04/2021
FERM 2	4/06/2021	7/06/2021	8/06/2021	12/06/2021	16/05/2021	21/05/2021
FERM 3	16/07/2021	19/07/2021	26/06/2021	30/06/2021	26/05/2021	31/05/2021
FERM 4	28/07/2021	31/07/2021	21/07/2021	25/07/2021	6/07/2021	11/07/2021
FERM 5	16/07/2021	19/07/2021	1/08/2021	5/08/2021	4/10/2021	8/10/2021

Tabla 22 Calendario de fermentación del Sistema Rotativo Grupo 2

FECHAS DE FERMENTACIÓN TEST 2						
ENSAYOS	ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3	
# FERMENTACIONES	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINAL	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINAL	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINAL
FERM 1	20/04/2021	21/04/2021	7/04/2021	8/04/2021	16/04/2021	18/04/2021
FERM 2	21/06/2021	22/06/2021	16/05/2021	17/05/2021	24/04/2021	26/04/2021
FERM 3	5/08/2021	6/08/2021	22/05/2021	23/05/2021	13/05/2021	15/05/2021
FERM 4	10/09/2021	11/09/2021	13/06/2021	14/06/2021	24/06/2021	26/06/2021
FERM 5	30/09/2021	1/10/2021	24/07/2021	25/07/2021	13/07/2021	15/07/2021
ENSAYOS	ENSAYO 4		ENSAYO 5		ENSAYO 6	
# FERMENTACIONES	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINAL	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINAL	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINAL
FERM 1	27/04/2022	30/04/2022	1/04/2021	5/04/2021	10/04/2021	15/04/2021
FERM 2	16/06/2022	19/06/2021	7/05/2021	11/05/2021	1/05/2021	6/05/2021
FERM 3	27/06/2022	30/06/2021	7/06/2021	11/06/2021	26/05/2021	31/05/2021
FERM 4	1/08/2022	4/08/2021	1/07/2021	5/07/2021	1/06/2021	6/06/2021
FERM 5	12/08/2021	15/08/2021	27/07/2022	31/07/2021	6/07/2021	11/07/2021

Tabla 23 Calendario de fermentación del Sistema Rotativo Grupo 3

FECHAS DE FERMENTACIÓN TEST 3						
ENSAYOS	ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3	
# FERMENTACIONES	FECHA DE INICIO	FECHA FINAL	FECHA DE INICIO	FECHA FINAL	FECHA DE INICIO	FECHA FINAL
FERM 1	21/06/2021	22/06/2021	25/07/2021	26/07/2021	16/07/2022	18/07/2021
FERM 2	5/08/2021	6/08/2021	7/09/2021	8/09/2021	19/07/2021	21/07/2021
FERM 3	10/09/2021	11/09/2021	11/09/2021	12/09/2022	22/08/2021	24/08/2021
FERM 4	30/09/2021	1/10/2021	28/09/2021	29/09/	13/09/2021	15/09/2021
FERM 5	22/10/2021	22/10/2021	24/10/2021	25/10/2022	29/10/2021	31/10/2021
ENSAYOS	ENSAYO 4		ENSAYO 5		ENSAYO 6	
# FERMENTACIONES	FECHA DE INICIO	FECHA FINAL	FECHA DE INICIO	FECHA FINAL	FECHA DE INICIO	FECHA FINAL
FERM 1	27/04/2021	30/04/2021	7/08/2021	11/08/2021	16/08/2021	21/08/2021
FERM 2	16/06/2021	19/06/2021	16/09/2022	20/09/2021	26/08/2021	31/08/2021
FERM 3	27/06/2021	30/06/2021	11/10/2021	15/10/2021	21/09/2021	26/09/2021
FERM 4	1/08/2021	4/08/2021	18/05/2021	22/05/2021	16/10/2021	21/10/2021
FERM 5	12/08/2021	15/08/2021	1/10/2021	5/10/2021	26/10/2021	31/10/2022



CACAO EN BABA FERMENTADO ||
FERMENTADOS MEDIANTE EL SISTEMA ROTATIVO ||