Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN TARAPOTO - PERÚ



Esta obra está bajo una
Licencia Creative Commons
Atribución - 4.0 Internacional (CC BY 4.0)
Vea una copia de esta licencia en
https://creativecommons.org/licences/by/4.0/deed.es

Obra publicada con autorización del autor

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Tesis

Aprovechamiento del Macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.) para la elaboración de pasta y manteca como alternativa Agroindustrial

Para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial

Autora:
Violeta Andrea Quinteros Gardini
https://orcid.org/0009-0002-4087-2092

Asesor:
Ing. Dr. Aníbal Quinteros García
https://orcid.org/0000-0002-4631-5089

Tarapoto, Perú

2025

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Tesis

Aprovechamiento del Macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.) para la elaboración de pasta y manteca como alternativa Agroindustrial

Para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial

Autora:
Violeta Andrea Quinteros Gardini

Sustentado y aprobado el 26 de septiembre del 2025, ante el honorable jurado:

Presidente Ing. Dr. Abner Félix Obregón Lujerio	**Secretario** Ing. Dr. Enrique Navarro Ramírez
Vocal Ing. M.Sc Wilson Ernesto Santander Ruiz	**Asesor** Ing. Dr. Aníbal Quinteros Garcia

Tarapoto, Perú

2025

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN CONDUCENTE A GRADOS Y TÍTULOS Nº 019-2025

Jurado reconocido con Resolución N° 13-2025-UNSM/FIAI-CF.

A las 10:00 horas del día **viernes veintiséis de septiembre del 2025**, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial – Ciudad Universitaria, inició el acto público de sustentación del trabajo de tesis **"Aprovechamiento del Macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.) para la elaboración de pasta y manteca como alternativa Agroindustrial"**, para optar el título profesional de INGENIERO AGROINDUSTRIAL, presentado por la **Bach. Violeta Andrea Quinteros Gardini.**

Instalada la Mesa Directiva conformada por, **Ing. Dr. Abner Félix Obregón Lujerio** (Presidente del jurado), **Ing. Dr. Enrique Navarro Ramírez** (Secretario), **Ing. M.Sc. Wilson Ernesto Santander Ruiz** (Vocal), acompañado por el **Ing. Dr. Aníbal Quinteros García** (Asesor); el presidente del jurado dirigió brevemente unas palabras y a continuación el secretario dio lectura a la **Resolución N° 269-2025-UNSM/FIAI-CF.**

Seguidamente la autora expuso el trabajo de investigación y el jurado evaluador realizó las preguntas pertinentes, respondidas por la sustentante y eventualmente, con la venia del jurado, y aclaraciones del asesor.

Una vez terminada la ronda de preguntas, el jurado procedió a deliberar para determinar la calificación final, para lo cual dispuso un receso de quince (15) minutos, con participación del asesor con voz, pero sin voto; sin presencia de la sustentante y otros participantes del acto público.

Luego de aplicar los criterios de calificación con estricta observancia del principio de objetividad y de acuerdo con los puntajes en escala vigesimal (de 0 a 20), según el Anexo 4.2 del RG–CTI, la nota de sustentación otorgada resultante del promedio aritmético de los calificativos emitidos por cada uno de los miembros del jurado fue DIECISIETE (17).

De acuerdo con el Artículo 40° del RG–CTI, la nota obtenida es APROBATORIA y correspondiente a la calificación de MUY BUENO. Leído este resultado en presencia de todos los participantes del acto de sustentación, el secretario dio lectura a las observaciones subsanables al informe final que la autora deberá corregir y alcanzar al jurado en un plazo máximo de treinta (30) días calendario.

Se deja constancia que la presente acta se inscribe en el Libro de Sustentaciones № 001-2025 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.

Firman los integrantes del jurado calificador y la autora del trabajo de investigación en señal de conformidad, dando por concluido el acto a las 11:30 horas, el mismo día 26 de septiembre del 2025.

Dr. Abner Félix Abner Obregón Lujerio
Presidente

Dr. Enrique Navarro Ramírez
Secretario

M.Sc. Wilson Ernesto Santander Ruiz
Vocal

Dr. Aníbal Quinteros García
Asesor

Bach. Violeta Andrea Quinteros Gardini
Autora

Declaratoria de autenticidad

Violeta Andrea Quinteros Gardini, con DNI N° 46668010, bachiller de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **"Aprovechamiento del Macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.) para la elaboración de pasta y manteca como alternativa Agroindustrial".**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de autoría propia.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencia de las fuentes bibliográficas consultadas, siguiendo las normas APA actuales.
3. Toda información que contiene la tesis no ha sido plagiada.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 26 de septiembre del 2025.



.....

Violeta Andrea Quinteros Gardini

DNI N° 46668010

Ficha de identificación

Título: Aprovechamiento del Macambo *(Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.) para la elaboración de pasta y manteca como alternativa Agroindustrial	**Área de investigación:** Ingeniería y Tecnología **Línea de investigación:** Ingeniería de Procesos **Sublínea de investigación:** Ingeniería de Procesos Agroindustriales. **Grupo de investigación:** (Resolución 033-2018-UNSM-FIAI-D/NLU) y Resolución N° 13-2025-UNSM/FIAI-CF. **Tipo de investigación:** Básica ☐, Aplicada ☐, Desarrollo experimental ☒

Autor: Violeta Andrea Quinteros Gardini	Facultad de Ingeniería Agroindustrial Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial https://orcid.org/0009-0002-4087-2092

Asesor: Ing. Dr. Aníbal Quinteros García	**Dependencia local de soporte:** Facultad de Ingeniería Agroindustrial Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial Unidad o Laboratorio Ingeniería Agroindustrial https://orcid.org/0000-0002-4631-5089

Dedicatoria

A Dios por estar siempre conmigo brindándome salud, sabiduría e inteligencia para poder seguir escalando en cada etapa de mi vida y seguir permitiendo que pueda cumplir con mis objetivos trazados.

A mis hermosas hijitas, Ariana Alexandra García Quinteros y Alice Jimena García Quinteros, personitas que día a día me hacen inmensamente feliz, mi razón de vivir, pues son mi motor y mi motivo para salir a delante.

A mis papás Juan Quinteros y Norma Gardini, agradecida con Dios por tenerlos aún conmigo, y estaré eternamente agradecida con ellos por brindarme su apoyo absoluto en el desarrollo de mis estudios superiores y por estar impulsando siempre a salir adelante.

A mis hermanos, Julio Quinteros y Claudia Quinteros, mi sobrino Fabián Solis, personas también muy importantes en mi vida, que me alientan y me brindan el soporte necesario para seguir adelante.

A mi abuelita Rosaura que desde el cielo ella me cuida y sé que estaría orgullosa de mí.

A todos ellos mi dedicación y reconocimiento.

Violeta Andrea

Agradecimientos

Al ingeniero doctor Aníbal Quinteros García, por su valiosa orientación y asesoría que nos brindó a lo largo de este trabajo de investigación, así como por su gran paciencia.

Al Ing. Dr. Enrique Arévalo Gardini, coordinador General del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) así como al equipo profesional que me ayudó durante la realización y ejecución de mi tesis, proporcionándome el espacio, el tiempo y las herramientas necesarias.

A la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, por el apoyo técnico prestado en el Laboratorio de tecnología de productos Agroindustriales no alimentos (TEPANAL), y porque ha sido mi casa de estudios, quien ha permitido que me forme como profesional.

Índice general

Ficha de identificación 6
Dedicatoria 7
Agradecimientos 8
Índice general 9
Índice de tablas 12
Índice de figuras 13
RESUMEN 14
ABSTRACT 15
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN 16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO 18
2.1. Antecedentes de la investigación 18
2.1.1. Nivel internacional 18
2.1.1. Nivel nacional 19
2.2. Fundamentos teóricos 20
2.2.1. Macambo 20
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS 23
3.1. Ámbito de la investigación 23
3.1.1. Contexto de la investigación 23
3.1.2. Periodo de ejecución 23
3.1.3. Autorizaciones y permisos 24
3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad 24
3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales 24
3.2. Sistema de variables 24
3.2.1. Variables principales 24
3.3. Procedimientos de la investigación 25
3.3.1. Recolección, selección y clasificación de la materia prima 26
3.3.2. Extracción de las semillas 27

3.3.3. Proceso de beneficio 27
3.3.4. Controles realizados de la materia prima (Fruto o Mazorca y semillas del macambo) 28
3.3.5. Elaboración de los productos Finales 32
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN 44
4.1. Caracterización biométrica del fruto y rendimiento del fruto y semillas de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl) 44
4.1.1. Caracterización biométrica del fruto y semilla 44
4.1.2. Rendimiento del fruto y semillas de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl) 44
4.2. Análisis fisicoquímico de la semilla durante la fermentación 45
4.2.1. Temperatura 45
4.2.2. Acidez titulable 48
4.2.3. Sólidos Solubles 49
4.2.4. Tiempo de fermentación 50
4.3. Análisis fisicoquímico de la semilla durante el secado 50
4.3.1. Porcentaje de humedad 50
4.3.2. Tiempo de secado 52
4.3.3. Prueba de corte 52
4.3.4. Porcentaje de cascarilla 53
4.4. Análisis fisicoquímico de las semillas y pasta de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.) 55
4.4.1. Humedad 55
4.4.2. Proteína 56
4.4.3. Grasa bruta 58
4.4.4. Fibra cruda 59
4.4.5. Ceniza 61
4.4.6. Azúcares totales 62
4.4.7. Polifenoles totales 64

4.5. Análisis microbiológico de la pasta de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.) 67

4.6. Análisis sensorial de la pasta de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.) 68

4.6.1. Perfil sensorial 68

4.6.2. Análisis Sensorial 69

4.7. Análisis fisicoquímico de la manteca de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.) 74

4.7.1. Rendimiento 76

CONCLUSIONES 79

RECOMENDACIONES 80

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 81

ANEXOS 86

Anexo 1. Ficha de catación – Escala hedónica 9 puntos 86

Anexo 2. Operaciones del proceso de Beneficio de las semillas de Macambo. 87

Anexo 3. Operaciones del proceso de elaboración de pasta y manteca de macambo. 88

Anexo 4. Resultados de humedad de las semillas de macambo durante el Secado 91

Anexo 5. Resultados de la evaluación sensorial de los tratamientos de la Pasta de Macambo 92

Anexo 6. Figura de análisis sensorial de los tratamientos de la Pasta de Macambo 93

Anexo 7. Verificación de los cambios de color por la muerte del embrión. 94

Anexo 8. Equipos utilizados en los análisis fisicoquímicos 95

Índice de tablas

Tabla 1 Composición química y valor nutricional del macambo 21
Tabla 2 Composición química de la semilla del macambo 21
Tabla 3 Composición en ácidos grasos de semillas de especies del género Theobroma (%) 21
Tabla 4 Caracterización de las Grasas del macambo, comparado con las Grasas del cacao 22
Tabla 5 Variables por Objetivos Específicos. 24
Tabla 6 Tratamientos evaluados en el tostado 32
Tabla 7 Cacao en Pasta (Licor de cacao/Chocolate) y torta de cacao 39
Tabla 8 Características biométricas del fruto y semillas de macambo 44
Tabla 9 Características porcentuales del fruto y semillas de macambo 45
Tabla 10 Análisis químico de las semillas de macambo en cinco etapas del proceso. 55
Tabla 11 Análisis químico de las semillas de macambo en cinco etapas del proceso 56
Tabla 12 Análisis químico de las semillas de macambo en cinco etapas del proceso. 58
Tabla 13 Análisis químico de las semillas de macambo en cinco etapas del proceso 59
Tabla 14 Análisis químico de las semillas de macambo en cinco etapas del proceso 61
Tabla 15 Concentración real de glucosa en los tubos en microgramos y su lectura en absorbancia. 62
Tabla 16 Análisis químico de las semillas de macambo en cinco etapas del proceso 63
Tabla 17 Concentración real de ácido tánico en los tubos en microgramos y su lectura en absorbancia. 64
Tabla 18 Análisis químico de las semillas de macambo en cinco etapas del proceso 65
Tabla 19 Resultados de análisis microbiológico de la muestra de licor de macambo . 67
Tabla 20 Análisis de Varianza (ANOVA) para el atributo Olor 69
Tabla 21 Prueba de Tukey al 1 % para los promedios de los tratamientos en el atributo olor 70
Tabla 22 Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo color 71
Tabla 23 Prueba de Tukey al 1 % para los promedios de los tratamientos en el atributo color 72
Tabla 24 Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo sabor 72
Tabla 25 Prueba de Tukey al 1 % para los promedios de los tratamientos en el atributo sabor 73
Tabla 26 Resultados físico químicos de la manteca de macambo (Theobroma bicolor). 74

Índice de figuras

Figura 1 Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) 23
Figura 2 Diagrama de flujo de elaboración de Pasta y manteca de macambo (Theobroma bicolor Humb. & Bonpl.) 26
Figura 3 Variación de temperatura de la masa de macambo durante el proceso de fermentación. 45
Figura 4 Comportamiento del pH en el cotiledón de los granos de macambo durante el proceso de fermentación. 47
Figura 5 Acidez del cotiledón de los granos de macambo durante el proceso de fermentación. 48
Figura 6 Variación del contenido de humedad del cotiledón más la testa. 51
Figura 7 Porcentaje de fermentación de los granos de macambo. 53
Figura 8 Variación del porcentaje de cascarilla en los diferentes tratamientos de tostado de granos de macambo. 54
Figura 9 Variación del contenido de humedad en cinco etapas del proceso de elaboración de la pasta de macambo. 55
Figura 10 Variación del contenido de proteína en cinco etapas del proceso de elaboración de la pasta de macambo. 57
Figura 11 Variación del contenido de grasa bruta en cinco etapas del proceso de elaboración de la pasta de macambo. 58
Figura 12 Variación del contenido de fibra cruda en cinco etapas del proceso de elaboración de la pasta de macambo. 60
Figura 13 Variación del contenido de ceniza en cinco etapas del proceso de elaboración de la pasta de macambo. 61gg
Figura 14 Absorbancia vs la Concentración de Glucosa del patrón 63
Figura 15 Variación del contenido de azucares totales en cinco etapas del proceso de elaboración de la pasta de macambo. 63
Figura 16 Absorbancia vs la Concentración de Ácido tánico del patrón 65
Figura 17 Variación del contenido de polifenoles totales en cinco etapas del proceso de elaboración de la pasta de macambo. 65
Figura 18 Resumen del perfil sensorial de la pasta de macambo 68

RESUMEN

Aprovechamiento del Macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.) para la elaboración de pasta y manteca como alternativa Agroindustrial

La presente investigación, de enfoque innovador en el campo de la agroindustria, tuvo como objetivo principal aprovechar las semillas de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.) para la elaboración de pasta y manteca, empleando el mismo sistema de beneficio utilizado para el *Theobroma cacao*. La especie presenta notables propiedades nutritivas, por lo que el estudio abarcó las etapas de despulpado, fermentación, secado, tostado y procesamiento final, evaluando las condiciones idóneas de temperatura y tiempo de tostado para optimizar la aceptabilidad sensorial de la pasta, además de la caracterización fisicoquímica de ambos productos resultantes. La constitución fisicoquímica de la pasta de macambo se caracterizó por: humedad (2,54%), proteínas (19,20%), grasa bruta (56,30%), fibra cruda (5,15%), ceniza (3,13%), azúcares totales (0,740%) y polifenoles totales (2,142%). Se establecieron los siguientes parámetros en la manteca: índice de peróxido (89,44 meq O2/kg), índice de acidez (6,79 KOH/g), índice de saponificación (171,96 mg KOH/g) y índice de yodo (33,35 g/100 g). Los análisis microbiológicos confirmaron que ambos productos cumplen con los límites permisibles establecidos. Las evaluaciones sensoriales, realizadas por nueve panelistas semi-entrenados, indicaron que el tratamiento T6 (140 °C durante 35 min) obtuvo las mayores puntuaciones en aroma (6,10) y color (5,80), mientras que el tratamiento T3 (130 °C durante 35 min) fue el mejor valorado en sabor (6,03), con descriptores predominantes de nuez, frutales y cacao. Estos resultados evidencian el potencial del macambo como materia prima para el desarrollo de productos agroindustriales de alto valor agregado.

Palabras clave: alternativa agroindustrial, macambo, procesamiento, pasta, manteca.

ABSTRACT

Utilisation of Macambo (Theobroma bicolor Humb. & Bonpl.) for the Production of Paste and Butter as an Agroindustrial Alternative

This research, with an innovative approach in the agroindustrial field, aimed to utilize macambo seeds (Theobroma bicolor Humb. & Bonpl.) for the production of pasta and butter, applying the same processing system used for Theobroma cacao. This species has remarkable nutritional properties, and the study comprised the stages of pulping, fermentation, drying, roasting, and final processing. The optimal roasting temperature and time conditions were evaluated to maximize the sensory acceptability of the pasta, along with the physicochemical characterization of both products. The physicochemical composition of macambo pasta was: moisture (2.54%), protein (19.20%), crude fat (56.30%), crude fiber (5.15%), ash (3.13%), total sugars (0.740%), and total polyphenols (2.142%). For butter, the following values were determined: peroxide value (89.44 meq O_2/kg), acidity index (6.79 KOH/g), saponification index (171.96 mg KOH/g), and iodine index (33.35 g/100 g). Microbiological analyses confirmed compliance with acceptable permissible limits. Sensory evaluations, carried out by nine semi-trained panelists, revealed that treatment T6 (140 °C for 35 min) obtained the highest scores for aroma (6.10) and color (5.80), while treatment T3 (130 °C for 35 min) ranked highest for flavor (6.03), with predominant descriptors of nutty, fruity, and cocoa notes. These findings highlight macambo's potential as a raw material for the development of high value-added agroindustrial products.

Keywords: agroindustrial alternative, macambo, processing, pasta, butter.



CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

El chocolate y subproductos representan uno de los alimentos de mayor popularidad a escala global, atribuible tanto a su valor nutricional como a sus excepcionales atributos sensoriales. La creciente demanda de su materia prima, semilla de cacao (*Theobroma cacao*), provoca el constante aumento de los precios en sus productos, incentivando la sofisticación de los métodos de producción y la búsqueda de sustitutos similares que pertenezcan al género *Theobroma* (Rixe y Vela 2017).

Según Gálvez et al. (2016), una de las especies con alto potencial para incursionar en la industria del chocolate es el *Theobroma bicolor*, conocida en algunos lugares como macambo, pataxte o cacao cimarrón; la especie está distribuida en la cuenca amazónica en Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador y Perú. El fruto es una cápsula de morfología voluminosa, de configuración elipsoidal, con dimensiones de aproximadamente 25 a 35 cm. de longitud, 12 a 15 cm. de anchura y 1,2 cm. de espesor. “Cada fruto, en promedio, alberga 40 semillas de dimensiones entre 16 y 30 mm de longitud, 14 a 25 mm de anchura y 8-13 mm de espesor, cubiertas por un arilo fibroso y suculento, de tonalidad que oscila entre crema y amarillo” (p.46).

Estudios previos manifiestan que el macambo tiene un alto potencial como materia prima en la industria de chocolate (Hernández y Calderón, 2006) citado por Quinteros et al. (2018). No obstante, la descripción integral de este fruto no ha sido realizada, y menos aún en cada fase de su beneficio, lo que impide establecer los parámetros apropiados para su producción.

En consecuencia, hoy en día ya existe un gran interés por parte de la industria chocolatera el poder industrializar la especie *Theobroma bicolor,* como alternativa de sustituto o complemento a la elaboración del chocolate, cuyas investigaciones demostraron que las semillas de macambo tienen niveles altos de proteínas y fibra dietética, así como buenas cantidades de Grasas saludables.

Ante estas características en la composición de la semilla de macambo, resulta ideal buscar una tecnología apropiada que garantice su utilización sostenible y por consiguiente impulsar la inversión de nuevas tecnologías para obtener una pasta con estándares altos de calidad, además ayudará a los pobladores darle la importancia como tal ya que todavía no se sabe aprovecharla a pesar de la abundancia.

En este marco, la relevancia de esta investigación reside en su descripción a lo largo de todo el proceso de creación de pasta con materia prima y la fijación de normas tecnológicas para tostar las semillas de macambo, que posibiliten la elaboración de pasta alimenticia como fuente nutricional y opción alternativa a la pasta de cacao, además de incentivar su industrialización y el acceso a grandes mercados, y generar información que sirva como apoyo para incentivar a su producción y hacer del Macambo un producto sostenible y revirtiéndose en beneficio socioeconómico para la región Amazónica del Perú y sobre todo para la región San Martín.

Por ello frente al potencial de los componentes nutricionales y como alternativa para la industria chocolatera se formuló el siguiente problema: ¿Se puede utilizar las semillas del macambo (*Theobroma bicolor* Humb & Bonpl.) bajo el mismo procedimiento del beneficio del cacao, para la elaboración de Pasta y Manteca?

La hipótesis se basó en la factibilidad de poder aprovechar al macambo como una alternativa Agroindustrial en la industria chocolatera y otros, siendo el objetivo principal de esta investigación elaborar pasta y manteca a partir de las semillas de macambo (*Theobroma bicolor* Humb & Bonpl.); cuyos objetivos específicos se enfocaron en, 1ro: realizar la caracterización biométrica del fruto, y rendimiento del fruto y las semillas de macambo, 2do: realizar el control físico-químico de las semillas de macambo en la etapa de fermentación y secado; 3ro: realizar el análisis de calidad de grano seco de macambo 4to: realizar el analisis fisicoquímico, microbiológico y sensorial de la pasta de macambo; 5to: realizar el análisis fisicoquímico de la manteca de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.); 6to: determinar el rendimiento de la pasta y manteca de macambo.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Nivel internacional

Alvarado y Cevallos (2021) realizaron la investigación “Elaboración de bombones a base de Macambo (*Theobroma bicolor*) con relleno de bebidas tradicionales del Ecuador”, llevado a cabo en la Universidad de Guayaquil, en Ecuador, y que tenía tres metas fundamentales que aportan a los antecedentes del presente estudio. La primera meta fue desarrollar pruebas experimentales de la elaboración de bombones con Macambo, detallando el proceso a través de un Diagrama de flujo. El segundo objetivo fue detallar los resultados de los análisis microbiológicos del producto final para conocer su inocuidad y cumplir con la norma INEN 621:2010 (Chocolates. Requisitos.). El tercer objetivo fue realizar prueba hedónica del producto elaborado para conocer su grado de aceptación en el mercado, De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación, los chocolates fabricados con macambo son seguros para la ingesta humana. Esta inferencia se encuentra corroborada por los hallazgos del análisis microbiológico realizado en el Laboratorio Protal. Se obtuvo en un conjunto de chocolates a base de Macambo un 77%, con un tiempo estimado de 12 horas para su refinado y conchado. Asimismo, se observó un tratamiento apropiado para el chocolate líquido, como 45°C, que se disminuye a 30°C. El proceso se llevó a cabo respetando y adheriéndose a las prácticas de fabricación óptimas durante todo el proceso.

En México, las semillas de Theobroma bicolor han desempeñado un papel fundamental en la producción de productos tradicionales y agroindustriales, entre los que se incluyen chocolates y sus derivados, así como bebidas tradicionales como el: Búpu, Tlaxcalate, Popo y Chocolate atole. No obstante, debido a la ausencia de datos sobre el procesamiento tradicional de esta especie de Theobroma, se hizo imprescindible evaluar su proceso fermentativo. Para ello, las semillas de T. bicolor se hidrataron con 1.5 L de agua y se dejaron reposar durante 12 horas. Simultáneamente, se diseñó un horno de suelo con dimensiones de 0.20 m x 0.30 m. En su interior, se instalaron costales de yute con perforaciones para facilitar el drenaje del agua. A continuación, las semillas hidratadas de T. bicolor fueron introducidas en el horno y resguardadas con costales de yute durante un período de 24 horas. Durante este período, se añadió 1.5 L de agua diariamente durante un período de un mes. Las semillas de T. bicolor fueron removidas y lavadas con 5 L de agua con el objetivo de eliminar olores desagradables.

Este procedimiento se llevó a cabo mensualmente durante los seis meses del proceso de fermentación. Al terminar este periodo de fermentación, se llevaron a cabo seis lavados (5 L de H2O por lavado) y después se eligieron las semillas que estaban enteras y en buen estado. Se secó finalmente a la sombra a 30 °C durante siete días.

En Ecuador Vera et al. (2024), “desarrolló una innovadora barra de chocolate utilizando las almendras del macambo, abriendo puertas a una comprensión más amplia de este fruto poco conocido y utilizado” (p.72). Realizó un minucioso estudio organoléptico, sensorial y microbiológico, resultando en una barra de chocolate gourmet con un aroma de alta calidad.

2.1.1. Nivel nacional

Goicochea et al. (2021), en su trabajo de investigación “Elaboración de brownies con chocolate moca a partir de pasta de macambo (*Theobroma bicolor*) y tres variedades de café (Coffea arabica)”. El estudio se llevó a cabo con el propósito de crear el licor a partir de la almendra de *Theobroma bicolor* "macambo", aportando un toque de distinción y descubriendo su riqueza nutricional. A través de una fermentación en cajas de madera, donde la temperatura se eleva gradualmente de 40 a 45 °C, el macambo se transformó en un licor. Los licores de macambo sometidos a los dos procesos de secado exhiben una sinfonía de humedad (3,65%), calorías (627,03), proteínas (21,50 g.), grasas (51,31%), carbohidratos (19,81 g), fibras (7,76 g), cenizas (2,73 g) y vitamina C, pH (6,5) y acidez acética (0.19%). Los licores de macambo artesanos son un tesoro energético y nutricional, con un vasto horizonte en el universo del chocolate.

En el marco local, Vargas (2022) en su trabajo de investigación titulado “Elaboración de chocolate con sustituto de pasta de macambo (*Theobroma bicolor*) y leche en polvo”, desarrollado en la provincia de San Martín, plantea elaborar chocolate utilizando como sustituto la pasta de Macambo (*Theobroma bicolor*) y Leche en polvo en la Asociación “Mishky Cacao” del distrito de Chazuta; realizando análisis sensoriales, para la cual se utilizó una escala hedónica de 7 puntos y quince panelistas semientrenados, se analizaron en la primera etapa solo el atributo sabor, también se realizaron los análisis fisicoquímicos al chocolate formulado donde presenta un 55% de aceites y grasas, aproximadamente 11% de proteínas un alto contenido de cenizas de 2,1% características semejantes a los chocolates comerciales.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Macambo

Según Paradas *et al*. (2019). afirma que la clasificación taxonómica del macambo es la siguiente:

CLASE : Magnoliopsida

SUBCLASE : Caryophyllidae

ORDEN : Malvales

FAMILIA : Esterculiaceae

GENERO : *Theobroma*

ESPECIE : *bicolor*

Nombre científico: *Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.

Nombre común: Macambo (Perú), cacau do Perú (Brasil); bacau o Maraco (Colombia); patashte (inglés).

Según Gálvez et al. (2016), El fruto es una cápsula voluminosa de diversos tamaños, de forma elipsoidal, es la más grande del género *Theobroma,* de unos 25 a 35 cm de largo por 12 a 15 cm de ancho, peso entre 0,5 y 3,0 kg, la cáscara es leñosa y dura, de 12 mm de espesor, con cinco o muchas fisuras, de color amarillo cuando maduras. “La corteza puede ser reticulada o lisa de color amarillo cuando madura” (p.23).

Las abundantes semillas están envueltas en una pulpa blanca o amarillenta de fragancia intensa y sabor agridulce, con una capacidad de 40 semillas por fruto, de entre 16 y 30 centímetros de longitud, 14-25 centímetros de ancho y 8-13 centímetros de espesor, envueltas en un arilo fibroso, suculento, de tonalidades entre crema y amarillo.

En la actualidad, los frutos maduros se recolectan al caer al suelo, careciendo de un índice para su recolección.

Sanclemente & Tigero (2018), menciona que La composición química de los granos de macambo depende de varios factores entre los que se puede citar: variedad, origen geográfico, grado de madurez, calidad de la fermentación y secado y el subsecuente procesamiento de los granos. Así mismo señala que es una fuente muy importante de alimentación y nutrición, Se compone químicamente de diversos componentes, incluyendo grasas, fibra proteica, enzimas, azúcares, polifenoles, entre otros, y se distingue por su elevado contenido proteico y carbohidratado. Los datos presentados en la tabla 1 se derivaron de 100 g de pulpa y 100 g de pulpa más semilla, respectivamente.

Tabla 1

Composición química y valor nutricional del macambo

Componentes	100 g de pulpa	100 g pulpa + semilla
Energía	44,0 cal	177,0 cal
Agua	88,0 g	61,0 g
Proteína	2,1 g	6,7 g
Lípidos	0,8 g	9,2 g
Carbohidrato	8,3 g	21,5 g
Fibra	0,7 g	n,d.
Ceniza	0,8 g	1,5 g
Calcio	-----	19,0 mg
Fósforo	44,0 mg	165,0 mg
Hierro	0,5 mg	1,7 mg
Vitamina A (Retinol)	28,0 mg	n,d.
Tiamina	0,08 mg	0,95 mg
Riboflavina	0,09 mg	1,05 mg
Niacina	3,10 mg	1,20 mg
(Ácido ascórbico)	22,80 mg	9,20 mg

Nota. Ministerio de Salud del Perú (2025).

2.2.1.1. Composición química de la semilla

Quinteros et al. (2018), citado por Vera et al. (2024), menciona la composición química de las semillas del macambo, siendo las más representativas, la Grasa y proteína. El primer factor está vinculado con la palatabilidad del chocolate, mientras que el segundo factor participa directamente en el proceso de fermentación, tal como se ve la Tabla 2.

Tabla 2

Composición química de la semilla del macambo

Componente (%)	Semilla de macambo (%)
Humedad	3,55
pH	6,03
Acidez	0,45
Grasa bruta	50,35
Proteína	21,30
Cenizas	3,53

Nota. Vera ***et al***. (2024).

2.2.1.2. Composición de ácidos grasos de la semilla

Según López (2020), las semillas de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.), presenta en su composición ácidos grasos muy importantes en la dieta alimenticia, así como las otras especies de su mismo género, los mismos que se presentan la tabla 3.

Tabla 3

Composición en ácidos grasos de semillas de especies del género Theobroma (%)

Especies	ÁCIDOS GRASOS (%)					
	Saturados		Insaturados			
	Palmí-tico	Esteá-rico	Palmito-leico	Oleico	Linole-ico	Araquidó-nico
Theobroma cacao (cacao)	30,6	33,9	0,6	31,4	2,5	0,9
Theobroma. bicolor (macambo)	8,1	47,8	0,2	41,0	1,2	1,6
Theobroma grandiflorum (copoazú)	8,5	34,6	0,2	42,0	3,4	9,9

Nota. López (2020).

En la tabla 3, se puede notar que las semillas de los cacaos amazónicos comparten una composición casi idéntica, convirtiéndolos en una delicia nutricional que cautiva al paladar. Así mismo se observa que en las tres especies se encuentran el mayor porcentaje ácidos grasos como el Esteárico y el oleico, El primero es una grasa saturada, pero investigaciones han revelado que su impacto en el colesterol es neutro. El segundo tiene gran popularidad debido a sus efectos positivos sobre la salud del hígado; además, incrementa el llamado colesterol bueno (HDL) y disminuye el colesterol malo (LDL) en la sangre. Por lo tanto, produce un efecto positivo en el corazón y el sistema vascular, reduciendo así la probabilidad de sufrir enfermedades cardiovasculares. También se conoce que evita la aparición de cálculos biliares.

2.2.1.3. Caracterización de Grasas de las semillas de macambo

Según López (2020) las propiedades del contenido de Grasa de las semillas de macambo son muy consistentes a la Grasa de las semillas de cacao y poseen constantes físicas y químicas muy similares tal como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

Caracterización de las Grasas del macambo, comparado con las Grasas del cacao

Especie	Punto de fusión °C	Índice de refracción (20°C)	Índice de saponificación mg de KOH. Grasa $^{-1}$	Índice de yodo Método de Hanus (%)
Theobroma. Bicolor	29,5	1,4579	188,2	42,9
Theobroma. Cacao	25,7	1,4550	173,5	29,9

Nota. López (2020).

CAPÍTULO III
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito de la investigación

3.1.1. Contexto de la investigación

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT), situado en el distrito de la Banda de Shilcayo, provincia y departamento de San Martín, y en los laboratorios de “Investigación y Desarrollo, Control de Calidad”, “Análisis y Composición de Alimentos” (ANACOMPA), Laboratorio de Tecnología de Productos Agroindustriales no Alimenticios (TEPANAL), y en la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín en Tarapoto.



Figura 1
Instituto de Cultivos Tropicales (ICT).
Fuente: Google Earth

3.1.2. Periodo de ejecución

El proyecto se llevó a cabo en su etapa inicial y final en las instalaciones del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT), comprendiendo este último, desde noviembre 2022 a junio 2023 y recalcando que el desarrollo del proyecto tuvo periodos de interrupción durante el proceso, por falta de materia prima, toda vez que el macambo se produce solamente 2 veces al año, ocasionando ciertas limitaciones de avance del proyecto.

3.1.3. Autorizaciones y permisos

Se autorizó el ingreso correspondiente a los ambientes de la estación “Juan Bernito” perteneciente del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT), para el uso de sus laboratorios donde se pudo realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, además se contó con una autorización del Decano de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, para el uso de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín.

3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad

La presente Investigación no generó impactos negativos al medio ambiente

3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales

Esta investigación acató los valores éticos fundamentales de la investigación, destacando la pureza científica, pues los datos analizados no fueron manipulados ni alterados, se citaron y referenciaron todas las fuentes consultadas, y se pidió el consentimiento informado a los participantes del análisis sensorial.

3.2. Sistema de variables

3.2.1. Variables principales

Se evaluó las siguientes variables:

- Caracterización biométrica y porcentual del fruto y las semillas de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.)
- Análisis fisicoquímico de la semilla, durante la fermentación y el secado.
- Análisis fisicoquímico, microbiológico y sensorial de la pasta de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.)
- Análisis fisicoquímico de la manteca de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.)

Tabla 5

Variables por Objetivos Específicos.

- **Objetivo específico 1.** Caracterización biométrica del fruto y rendimiento del fruto y las semillas de macambo.			
Variable abstracta	**Variable concreta**	**Medio de registro**	**Unidad de Medida**
Caracterización biométrica y rendimiento	Medición de longitud, diámetro y peso	Vernier Balanza kg Balanza gramera Rendimiento	mm, kg. g. %
Objetivo específico 2. Análisis fisicoquímico de la semilla de macambo en la etapa de fermentación y secado.			
Variable abstracta	**Variable concreta**	**Medio de registro**	**Unidad de Medida**

Control fisicoquímico	Temperatura	Termómetro	(°C)
	pH	Potenciómetro	Adimensional
	Acidez	Titulador	(%)
	Tiempo de fermentación	Cronómetro	Días.
	Tiempo secado	Sol natural	Días
	Humedad	Estufa	(%)

Objetivo específico 3. Análisis de calidad de granos seco de macambo.			
Análisis de calidad	Prueba de Corte	Guillotina	(%)

Objetivo específico 4. Análisis fisicoquímico, microbiológico y sensorial de la pasta de macambo.

Variable abstracta	**Variable concreta**	**Medio de registro**	**Unidad de Medida**
Análisis fisicoquímico,	Humedad,	Horno de secado	(%)
	Proteína,	Kjeldahl	(%)
	Grasa bruta,	Soxhlet	(%)
	Fibra cruda	Digestión ácida y básica	(%)
Microbiológica	Ceniza	Mufla	(%)
Sensorial de la pasta	Azúcares totales	Espectrofotometría	(%)
	Polifenoles totales	Folin ciocalteu	mg/100g (Ac.tánico)
	Salmonella	Placas con agar	Límite /g o mL.
	Olor, sabor	Evaluación hedónica	Escala Hedónica

Objetivo específico 5. Análisis fisicoquímico de la manteca de macambo

Variable abstracta	**Variable concreta**	**Medio de registro**	**Unidad de Medida**
Análisis fisicoquímico de la manteca	Índice de acidez	Por titulación	mgKOH/g
	Índice de saponificación	Por titulación.	mgKOH/g
	Índice de	Por titulación	meqO_2/Kg
	Peróxidos Índice de yodo	Por titulación.	g/100g

Objetivo específico 6. Determinación de rendimiento de la pasta y manteca de macambo

Variable abstracta	**Variable concreta**	**Medio de registro**	**Unidad de Medida**
Rendimiento de pasta y manteca	Peso	balanza	(%)

3.3. Procedimientos de la investigación

La presente investigación se desarrolló aplicando el método experimental progresivo, que involucró una serie de etapas de proceso interconectadas, esquematizadas en la figura 2, donde cada experimento realizado sirvió de base para el siguiente, permitiendo refinar hipótesis, técnicas y resultados por cada avance de la investigación, como se detalla a continuación:

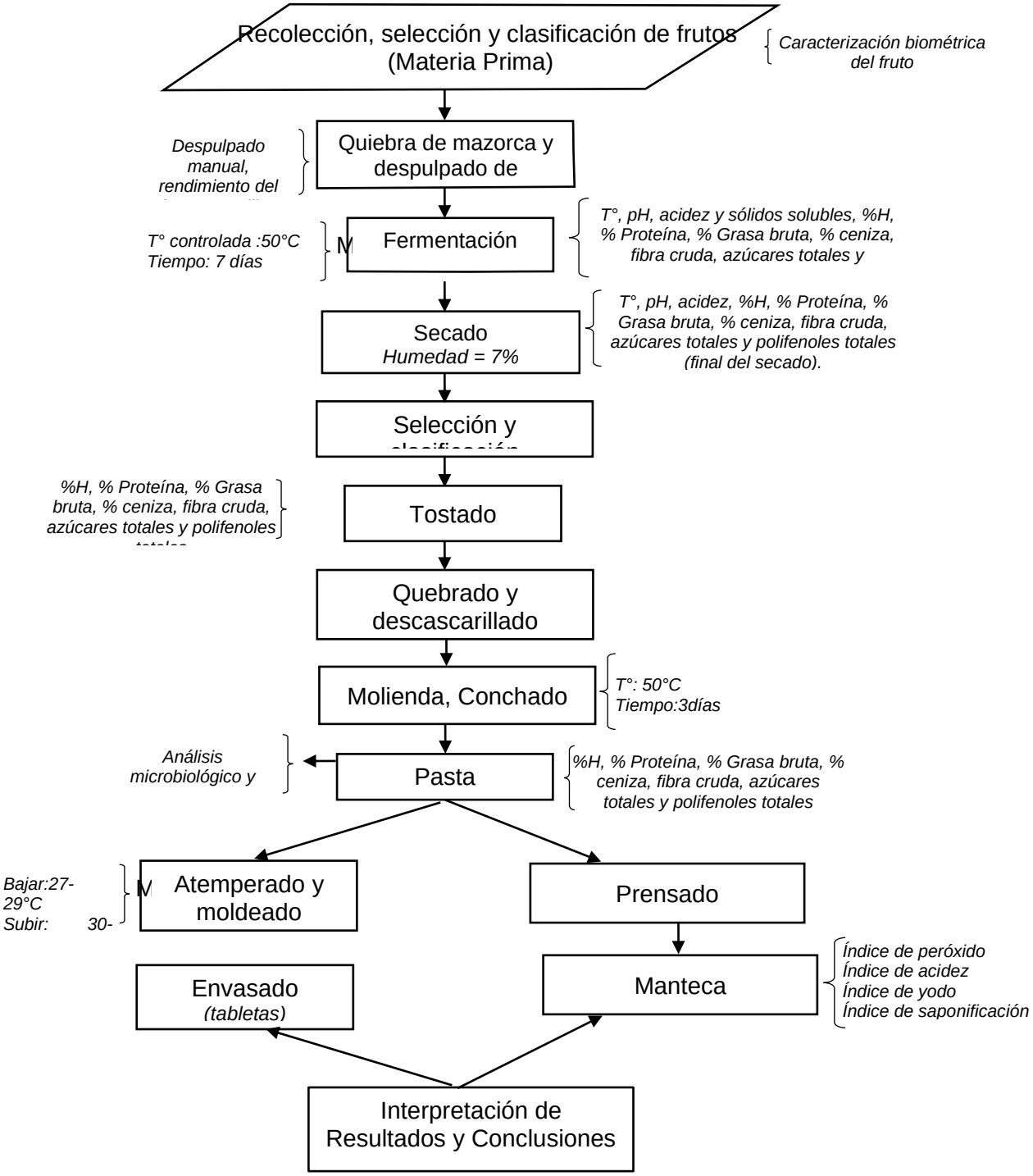


Figura 2
Diagrama de flujo de elaboración de Pasta y manteca de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.)

3.3.1. Recolección, selección y clasificación de la materia prima

Los ensayos preliminares se realizaron con frutos de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.), proveniente de las chacras aledañas al distrito de Chazuta, en su primera etapa y del centro poblado menor Estancia del distrito de Tabalosos en su

etapa final, como pruebas definitivas; ambos de la provincia y departamento de San Martín

- Cosecha de los frutos de macambo: Basada en la recolección, tomando en cuenta su madurez fisiológica, se pudo apreciar cuando éstos se desprendieron por sí solos de los árboles y por su cambio de pigmentación, de verde a amarillo. Así como el color coral intenso de la pulpa, el aroma y sabor característico, indicaron que se encontraban en condiciones óptimas para ser aprovechadas en el presente estudio. Para la identificación del grado de madurez de los frutos recolectados, se tomaron en consideración los criterios utilizados por Erazo ***et al*****.** (2021).
- Selección y Clasificación: Se procedió con la separación de las mazorcas no aptas para el proceso, de granos defectuosos (picados, mucílagos secos y desprendidos y granos partidos), prosiguiendo con la clasificación de las mazorcas verdes, maduras, sobre maduras, enfermas y sanas, estas últimas que sirvieron para el proceso de beneficio de las semillas de macambo.

3.3.2. Extracción de las semillas

- Quiebra: Se realizó con ayuda de un machete sin filo partiendo las mazorcas para extraer las semillas que estuvieron cubiertas por la pulpa. Los cortes de las mazorcas se realizaron de manera diagonal teniendo en cuenta no causar daños mecánicos a las semillas.

- Despulpado manual: Se realizó con ayuda de unos guantes para evitar la contaminación de la pulpa y mucílago, que sirvieron para la elaboración de refrescos y mermeladas, la semilla resultante fue sometida a caracterización biométrica para determinar el largo, diámetro y pesos promedios, así mismo en esta etapa se determinó la composición porcentual de la fruta: pulpa, cáscara y semilla

- Pesaje inicial: Se registró el peso total de semillas para cálculo de rendimiento.

3.3.3. Proceso de beneficio

Se adoptó un esquema similar al procesamiento del cacao, para el macambo:

a) Fermentación

Las semillas ya despulpadas se pusieron en un envase de polietileno de 15 litros, con orificios en la parte inferior para la salida del exudado y se sometieron a fermentación en una estufa con termostato a temperatura de 45°C (±5 °C).

Para garantizar y homogenizar la fermentación se hicieron los controles de temperatura interna y pH durante los 7 días, al igual que las remociones periódicas, iniciándose la

primera remoción transcurrida las 24 horas, donde se pudo evidenciar el incremento de la temperatura a 50°C (temperatura máxima de fermentación para las semillas de macambo), temperatura que se mantuvo por 6 días más con remociones cada 24 horas. El 6to día, la temperatura aumentó hasta 50,07°C y el 7mo día descendió entre 48,5 y 50°C, manteniéndose esta temperatura constante durante 48 horas, determinándose a través de ello la culminación del proceso de fermentado.

b) Secado

El secado se realizó de manera tradicional, exponiendo las semillas fermentadas al sol, esparciendo en tendales para que se sequen al aire libre, aprovechando la energía solar, evaluando y midiendo en forma diaria la pérdida de agua. El secado se llevó a cabo de forma paulatina y tomó siete días. Durante los dos primeros días, el secado fue al sol directo solo cuatro horas en la mañana; durante los cinco días restantes, fue al sol directo todo el día, hasta que los granos alcanzaron una humedad del 7%.

c) Selección y Clasificación

Esta operación se llevó a cabo para asegurar que el procesamiento de las semillas fuera de buena calidad, mediante la separación y clasificación de granos defectuosos: granos picados, no fermentados, con mucílagos secos desprendidos, partidos, entre otros. Los granos seleccionados fueron guardados en bolsas de polietileno de alta densidad con el propósito de impedir que absorban humedad antes del almacenamiento posterior.

3.3.4. Controles realizados de la materia prima (Fruto o Mazorca y semillas del macambo)

3.3.4.1. Caracterización biométrica del fruto y rendimiento del fruto y semillas de macambo

Para conocer físicamente los datos biométricos de los frutos, se tuvo que medir con ayuda de un vernier, la longitud, el diámetro y se cuantificó la cantidad de semillas del fruto.

Se determinó el porcentaje de la composición del fruto y semillas con respecto al peso promedio en relación a la cáscara, pulpa, peso de la placenta y peso de las semillas, con ayuda de una balanza gramera.

3.3.4.2. Análisis fisicoquímico de la semilla, en la etapa de fermentación y secado

a) Control de parámetros durante la fermentación de las semillas

***Temperatura.** Un termómetro manual calibrado entre 0 y 100 °C con una apreciación de ± 0.1 °C fue utilizado para determinarlo; este se colocó en el centro de la masa de

macambo dentro de los recipientes fermentadores, y se hizo la lectura tres veces a la misma hora durante todo el proceso de fermentación.

***pH:** El método AOAC 970.21, establecido en 2016, fue el empleado para determinar el pH del cotiledón. Se utilizó un estilete o bisturí para extraer con cuidado la testa del cotiledón y, posteriormente, se pesaron 5 g de la muestra triturada en un vaso de precipitados de 250 mL. Después, se incorporaron 45 mL de agua destilada que estaba hirviendo y la mezcla fue enfriada a una temperatura de 20-25°C. Luego, se filtró al vacío con papel filtro y, antes de calibrar el electrodo, se tomó la lectura tres veces seguidas a la misma hora durante el periodo de fermentación.

***Acidez titulable:** Se empleó el método AOAC (2016) 942.15, que se define como una titulación potenciométrica. A partir del procedimiento descrito en la sección precedente, se procedió a llenar el sobrenadante con hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 M previamente normalizado, hasta alcanzar un pH de 8,2. A lo largo del proceso de titulación, la muestra fue homogeneizada mediante el uso de una bomba magnética. Al alcanzar el punto de conclusión, se registró el volumen de gasto. El procedimiento se llevó a cabo mediante triplicado durante el proceso de fermentación, manteniendo la misma hora cada día. La determinación de la acidez titulable se llevó a cabo sustituyendo el volumen gastado del valorante en la ecuación siguiente:

$$\%\ Acidez = \frac{N\ x\ Vg\ x\ F.D\ x\ F.E}{gr\ muestra} x\ 100$$

Donde:

% Ácido Acético: Acidez titulable (% ác. Acético)
Vg: Volumen de gasto de Hidróxido de sodio (mL)
N: Normalidad de la solución (eq/L)
F.D.: Factor de Dilución de la muestra
F.E.: meq ácido acético
m: Peso de la muestra (g).

***Sólidos solubles:** Según la AOAC (2016) 931.12, los sólidos se expresan en °Brix, éstos se determinaron con refractómetro digital a 25 °C.

Se colocó una gota del jugo de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.) en el refractómetro previa calibración del equipo con agua destilada, posteriormente se realizó la lectura en °Brix por triplicado solo al inicio de la fermentación**.**

***Tiempo de fermentación:** El tiempo de fermentación se determinó mediante el control de temperatura; la temperatura de la masa de fermentación aumentó en su 3er a 5to día llegando a alcanzar temperatura de entre 45 a 50°C respectivamente, para después descender la temperatura, indicando éste que la masa ha completado su ciclo de fermentación según Loayza (2014) citado por Rixe y Vela (2017), por lo que se procedió a sacar los granos de los cajones de fermentación y fueron sometidos al proceso de secado.

b) Control de parámetros durante el secado de las semillas

***Tiempo de secado:** Según (Díaz y Pinoargote, 2012) citado por Delgadillo (2023), el tiempo de secado del cacao puede variar y depende mucho del factor climático, pero generalmente dura de cinco a siete días, con el objetivo de reducir el contenido de humedad del 70% al 7%. Para este estudio, el secado se realizó de manera natural, (secado al sol). El clima se mantuvo lluvioso durante este proceso, por eso se alargó el tiempo de secado, con posibilidades de que los granos fermentados se enmohezcan y exista pérdida por deterioro. Para determinar el tiempo de secado se realizó una curva en base al tiempo y el contenido de humedad.

c) Análisis de calidad de grano seco

***Porcentaje de humedad:** La cuantificación de la humedad en los granos de cacao se llevó a cabo utilizando la metodología AOAC (2016) 931,04. La muestra seleccionada fue de 10 g, derivada de reducciones sucesivas. La muestra fue reducida a fragmentos minúsculos en un mortero y se depositaron dos gramos en las placas. Las placas fueron ubicadas en la estufa y sometidas a secado durante 16 horas a una temperatura de 103 °C. El cálculo de la humedad se realizó mediante la diferencia de pesos utilizando la siguiente ecuación:

$$\%Humedad = \frac{W2 - W1}{W1 - W0} x\ 100$$

Donde:

%H: Porcentaje de humedad en base húmeda (%).

W0: Peso de la placa con tapa (g).

W1: Peso de la placa Petri con tapa y muestra húmeda (g).

W2: Peso de la placa Petri con tapa y muestra seca (g).

***Prueba de corte (Grado de fermentación):** Se trata del examen más crucial para establecer la calidad del cacao durante el proceso de acopio, que posibilita la

identificación de defectos a primera vista y el nivel de fermentación de las almendras. Este proceso se lleva a cabo mediante un corte longitudinal de los granos, seguido de un análisis visual de las dos caras del cotiledón.

Para esta prueba se utilizó el método especificado en la norma técnica NTP-ISO 2451:2018. Se tomaron muestras representativas del lote a analizar, se hizo un corte longitudinal con la guillotina marca Maga, por la parte central de cada uno de las 300 semillas de macambo, Con el objetivo de exponer la superficie de corte más amplia de los cotiledones. Se realizó un examen visual de las dos mitades de cada grano bajo luz diurna o bajo una iluminación artificial (lámpara fluorescente). Posteriormente, se procedió a la contabilización de los granos defectuosos, es decir, aquellos que presentaban mohosidad, partidos, vanos, múltiples, germinados o dañados por insectos, conforme a lo especificado y representado gráficamente a continuación.

$$\% F = \frac{(NF)}{300\ granos} x100$$

Dónde:

%F= Grado de fermentación en %

Nf = Número de Granos fermentados

Grano mohoso. Grano que ha perdido parte o toda su estructura interna a causa del ataque de hongos, identificado a través de una prueba de corte.

Grano germinado. Grano cuya estructura se ha deteriorado de manera clara debido al proceso de germinación o por la acción mecánica durante el beneficio.

Grano múltiple*.* La aglutinación es el proceso mediante el cual dos o más granos se unen entre sí a través de la presencia de restos de mucílagos.

Grano plano, vano o granza*.* Es un tipo de semilla en la que los cotiledones se han reducido tanto que, al cortarla, no se puede obtener una superficie de cotiledón claramente definida.

Grano partido (quebrado)*.* Trozo de grano integral.

Grano pizarroso (pastoso*).* Es un grano no fermentado que, cuando se corta a lo largo, tiene un interior de color gris verdoso o negro y una apariencia compacta.

Grano de buena fermentación*.* La totalidad del grano fermentado cuyos cotiledones exhiben una pigmentación marrón o marrón rojizo, acompañada de estrías de fermentación profunda.

3.3.5. Elaboración de los productos Finales

3.3.5.1. Pasta de macambo

***Tostado:** Rea y Flores (2024) Señala que las operaciones previas y posteriores al tostado son relevantes para el desarrollo del sabor, pero es este paso de calentar a alta temperatura lo que incrementa la interacción compleja entre los precursores de sabor y el aroma del macambo resultante. Las habas pueden tener un sabor a moho, avellana, suciedad, amargor, acidez o astringencia antes de tostarlas. Luego, las habas tienen un olor similar al del cacao, aunque su sabor siga siendo desagradable. El proceso de tostado es esencial para reducir la humedad, liberar las testas de las habas y desarrollar el sabor de los granos de macambo.

Para lograr esto, los granos de macambo fueron sometidos a temperaturas de entre 130 a 150°C con tiempos de 25 a 35 minutos, en estufa según el tratamiento correspondiente.

Para ello se determinó evaluar 3 temperaturas de tostado del Grano con tres tiempos para cada una, teniendo una cantidad de 9 tratamientos según se muestra en la tabla 6.

Tabla 6
Tratamientos evaluados en el tostado

Temperatura (°C)	Tiempo de tostado (min)	Tratamientos resultantes	Código
130 °C	25 min	T1	180
	30 min	T2	090
	35 min	T3	250
140 °C	25 min	T4	111
	30 min	T5	035
	35 min	T6	080
150°C	25 min	T7	061
	30 min	T8	202
	35 min	T8	145

Para cada tratamiento se consideró 3 repeticiones para promediar los resultados ya que como sabemos no todos los granos tostados tienen las mismas condiciones fisicoquímicas.

***Quebrado**: Cuando el macambo fue tostado, se rompió de inmediato mientras aún estaba caliente para hacer más fácil quitar las cubiertas.

Para este periodo, se empleó un equipo rompedor de Grano que normalmente tiene una turbina central. Esta turbina lanza los granos contra placas metálicas (martillos) que están fijadas en la pared del cilindro, donde se rompen debido a la fuerza centrífuga.

***Descascarillado**: Las semillas de macambo quebradas y sus cáscaras fueron depositadas sobre una zaranda inclinada que vibraba, la cual tenía tamices de abertura distinta (0,04 mm, 0,06 mm, 0,08 mm y 0,1 mm). A través de un flujo de aire se logró separar la cáscara del macambo quebrado (nibs de macambo).

Para efectos de la cuantificación de cascarilla, se realizó de acuerdo a lo establecido por la NTP 107.307:2020, procediéndose a pesar 10 almendras de macambo fermentado, secos y tostados, luego se quebró para separar la cáscara de los granos quebrados (nibs de macambo), se pesaron por separado y se determinó mediante la siguiente formula:

$$\% C = \frac{C}{mf} x100$$

Dónde:

%C = Porcentaje de cascarilla

C = peso de cascarilla en gramo

Mf = peso de muestra de 10 g de almendras secas

El nibs libre de cascarilla pasó a la siguiente etapa, la molienda

***Molienda**:

Se molieron los nibs en un molino eléctrico de la marca IKA Basic hasta conseguir una pasta gruesa. En este proceso, la manteca de macambo se liberó y se derritió debido a que la temperatura aumentó por efecto de la fricción, generando un producto con partículas todavía toscas. Frente a ello se optó por licuar el producto, logrando una pasta con partículas entre 18 a 20 micras aproximadamente.

***Conchado.**: Es un proceso de refinamiento mecánico y térmico, para lograr una textura suave que genere sus características tanto reológicas como organolépticas debido a la reacción de Maillard, produciéndose una serie de transformaciones como es la pérdida de compuestos volátiles no beneficiosos, así como la acidez (Acevedo et al., 2017).

Esta operación se llevó a cabo en la máquina conchadora para conseguir una pasta de aroma y sabor agradables, así como fina y homogénea. El procedimiento se realizó a una temperatura de cerca de 50 °C, durante tres días y a una velocidad de 800 revoluciones por minuto (r.p.m.) para un volumen de 15 kg, hasta adquirir partículas más pequeñas que 25 µm.

***Atemperado**: Beckett (2019) “nos menciona que el atemperado del licor es muy importante, porque de no ejecutarse correctamente trae consigo crecimiento indeseable de cristales y malas características de solidificación” (p.75.

Se hizo un atemperado mediante el uso de dos baños maría, uno caliente y otro frío, con el fin de elevar la temperatura de la pasta y bajar la de la cobertura. Tiene cuatro fases: La pasta estuvo a 41°C en un principio.

En la fase dos, la pasta se enfrió con delicadeza hasta llegar a los 33 grados centígrados, lo cual permitió comenzar las etapas iniciales de cristalización.

La tercera fase se desarrolló con un enfriamiento progresivo hasta alcanzar los 28 °C, con el objetivo de inducir la formación uniforme de cristales. En esta fase, la duración mínima de la retención fue de 10 a 12 minutos. Finalmente, en la cuarta fase, la temperatura ascendió ligeramente a 32 °C para que se desarrollaran los cristales maduros. Esto permitió crear una pasta con estructura fina y pequeños cristales, que se solidificaron rápidamente durante el envasado. Se llevó a cabo el moldeado una vez que la pasta se enfrió.

***Moldeado**: El proceso de moldeado se realizó de una forma sencilla, se utilizó moldes de plástico que son más ligeros y hacen menos ruido, tienen la ventaja de que se pueden agitar lateralmente, lo que facilitó el retiro de la barra sólida.

***Prensado**: Se llevó a cabo en forma manual con manta de tocuyo la pasta de macambo al término del proceso de molienda y licuado, a temperatura de 45 a 50 °C, seguida de un proceso de filtrado en un matraz con embudo de vidrio y papel Whatman N°1, puestos en una estufa a 50 °C hasta su total filtración.

*__Envasado__: En bolsas de polietileno de alta densidad.

a) Control físico químico de la semilla y pasta de macambo

Se establecieron los siguientes métodos para determinar la humedad, la proteína, la grasa bruta, la fibra cruda, las cenizas, los azúcares totales y los polifenoles totales:

*__Humedad:__ Se utilizó la técnica AOAC (2016) 931.04 para determinar el contenido de humedad en los granos de macambo. Se obtuvo una muestra de 10 gramos mediante reducciones consecutivas. En un mortero, la muestra fue desmenuzada en partículas pequeñas y se depositaron 2 g en las placas. Se trasladaron las placas a la estufa y se secaron durante 16 horas a 103 °C. Se determinó la humedad mediante el cálculo de diferencias de peso, utilizando la ecuación siguiente:

$$\%Humedad = \frac{W2 - W1}{W1 - W0} x\ 100$$

Donde:

%H: Porcentaje de humedad en base húmeda (%).

W0: Peso de la placa con tapa (g).

W1: Peso de la placa Petri con tapa y muestra húmeda (g).

W2: Peso de la placa Petri con tapa y muestra seca (g).

***Proteína:** La proteína se determinó de acuerdo con el método Kjeldahl-Gunning-Arnold, que está fundamentado en la metodología AOAC 970.22 (2016). Se introdujo 0,5 g de muestra en un tubo Kjeldahl junto con una tableta de catalizador y 10 mL de ácido sulfúrico concentrado. La mezcla fue calentada en el digestor durante aproximadamente dos horas. La digestión ha concluido porque la disolución pasa a tener un color verde esmeralda claro. Se incorporaron 50 mL de agua destilada y 10 mL de NaOH al 30 % y se colocó en el destilador, realizando una destilación por arrastre con vapor. El hidróxido de amonio obtenido se introdujo en 50 mL de ácido bórico, el cual incluía tres gotas del indicador mixto, hasta alcanzar un volumen total de destilado de 200 mL. El destilado se tituló con HCl a 0,1N. Para calcular el porcentaje de nitrógeno, se utilizó la ecuación que se presenta a continuación:

$$\%N = \frac{Vg\ x\ N\ x\ 14}{1000\ x\ W} x\ 100$$

Y finalmente el contenido de proteína fue calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\%P = \%Ntotal\ x\ 6.25$$

Donde:

%N: Porcentaje de Nitrógeno.

Vg: Volumen de Ácido Clorhídrico (HCl) gastado.

N: Normalidad de ácido clorhídrico.

W: peso de la muestra (g)

%P: Porcentaje de proteína cruda.

***Grasa bruta:** (Soxhlet) Se utilizó como referencia el procedimiento AOAC (2016) 963.15. Se pesó aproximadamente 5 g de muestra seca, se envolvió en su papel filtro

y se puso en el dedal de extracción de grasa. El dedal se introdujo en el dispositivo Soxhlet. A cada matraz de extracción que tiene perlas de vidrio, que se secaron y pesaron con anterioridad, se le añadió 150 mL de éter de petróleo. Se utilizó el equipo conforme a los protocolos establecidos por el fabricante. El solvente se evaporó con el equipo de destilación para volver a utilizarlo tras terminar la extracción de grasa. Con el fin de eliminar residuos de reactivos, se removió la cápsula de extracción y el recipiente con la grasa extraída fue llevado a una estufa a 100 °C. El peso de la grasa se registró cuando este permaneció constante.

***Fibra cruda:** La metodología empleada se basó en la AOAC (2016) 930.20 para la determinación de las Cenizas. A través de la utilización de métodos de digestión acida y básica. En el proceso de digestión ácida, se pesaron 3 g de muestra (exenta de grasa) en un recipiente de 600 ml. Posteriormente, se incorporó 200 ml de ácido sulfúrico al 1,25% y se hizo una infusión suave durante 30 minutos. Posteriormente, se procedió al filtrado del contenido del balón utilizando el embudo Buchner y el matraz Kitasato. Tras el filtrado, el contenido del balón fue lavado con agua destilada caliente para neutralizar la acidez. En el proceso de digestión alcalina, la muestra que se encontraba en el filtro fue transferida al erlemeyer utilizando NaOH al 1,25%, aproximadamente 200 ml. Se procedió a la ebullición con ácido, y se procedió a filtrar el contenido del erlemeyer mediante lavado con agua destilada a temperatura de ebullición. El contenido del erlemeyer fue filtrado mediante lavado con agua destilada a temperatura de ebullición, y se procedió a ebullición a 100oC en una estufa durante dos horas. Posteriormente, se pesó el crisol vacío, se colocó la muestra en un crisol y se secó a 105oC durante tres horas. Posteriormente, se dejó enfriar el crisol en un desecador y se volvió a pesar el crisol más muestra, se incineró a 600oC y posteriormente se enfrió y se pesó la ceniza.

$$\%fibra\ cruda\ = \frac{P2 - P1}{M} x\ 100$$

Donde:

M: Peso de la muestra.

M1: Peso inicial del crisol más muestra.

M2: Peso final del crisol más muestra

***Ceniza:** La metodología AOAC (2016) 972.15 fue empleada para la determinación de cenizas. La muestra seca se pesó en un crisol de porcelana seco y de peso conocido. Se sometió a una mufla a una temperatura de 600 °C durante cuatro horas, se dejó

enfriar en un desecador y posteriormente se pesó. La determinación del porcentaje de cenizas se llevó a cabo basándose en la diferencia de pesos inicial y final, utilizando la siguiente ecuación:

$$\%C = \frac{W2 - W2}{W1 - W0} x\ 100$$

Donde:

%C: Porcentaje de Cenizas (%).

W0: Peso del crisol (g)

W1: Peso del crisol y muestra (g)

W2: Peso del crisol y ceniza (g)

***Azucares totales:** Según Ordoñez et al. (2019), para la determinación de los azúcares totales se usa la metodología Fenol-Sulfúrico (Dubois). Primero se realizó la *desproteinización de la muestra*, para ello de pesó 2 g de muestra en un matraz de 100 mL. luego se añadió con un dispensador 20 mL de agua destilada y se homogenizó, se filtró con papel Whatman #5 y después tomó 10 mL del filtrado con macro pipeta y Se introdujo en un tubo de centrífuga de polipropileno con tapa de 50mL, al que se añadió 1mL de una solución de Sulfato de Zinc al 10% y 1mL de NaOH 0,5 N mediante micropipeta. Se mantuvo en reposo durante 15 minutos y posteriormente se procedió a centrifugar a una velocidad de 350 rpm durante un periodo de 15 minutos. El sobrenadante fue empleado en el proceso de cuantificación de Azúcares Totales.

Posteriormente, se establecieron los azúcares totales mediante la dilución de la muestra en agua en 10 ocasiones (10x), asegurando que los carbohidratos se ubicaran dentro del rango de sensibilidad del método (10-100ug/mL). Posteriormente, se elaboró una solución acuosa, incorporando 10 mL de agua destilada, 1 mL de sulfato de zinc al 10% y 1 mL de NaOH 0,5 N en un matraz de 25 mL. La extracción se realizó mediante una macro pipeta, extrayendo 1 mL de la muestra desproteinizada y 9 mL de la solución acuosa, y fueron colocados en un tubo de ensayo, se agitó hasta homogenizar completamente, después se extrajo 1 mL de la muestra diluida 10x con una micro pipeta y adicionamos 0,6 mL de solución acuosa de fenol al 5% mezclando perfectamente, se adicionó también 3,6 mL de ácido sulfúrico concentrado, se homogenizó y se dejó enfriar a temperatura ambiente aproximadamente 30 minutos, junto con el análisis de muestras se preparó los estándares de la gráfica de calibración., se llevó las muestras al espectrómetro (después de 30 minutos de preparado) y se

trabajó según lo descrito en la instrucción del fabricante usando la longitud de onda de 450 nm, se agitó el tubo antes de traspasar la solución a la celda de lectura.

Cálculos

Para la determinación de Azúcares Totales siga la siguiente fórmula:

$$AT\ ppm = \frac{Lectura\ abs - Lectura\ base * F.C.* Vi}{P} x\ FD$$

Donde:

Lectura de absorbancia = absorbancia de la muestra

Bk = valor del blanco

P = peso de la muestra

Vi = volumen inicial = 2g

FD = factor de dilución = 1,6

F.C. = factor de curva de calibración; este factor se calcula siguiendo:

F.C. = $f\sum$ concentraciones de estándares. / $f\sum$ absorbancias de estándares.

*__Polifenoles totales:__ Según Ordoñez et al. (2019), para la determinación de los polifenoles totales se utilizó el método colorimétrico Folin Ciocalteu. Primero se pesó 1g de muestra homogenizada en una balanza analítica, luego se extrajo a reflujo con 150 mL de etanol al 70% durante 7 horas, se filtró con papel Whatman #5 y se aforó hasta 200 mL con etanol 70% en una fiola de capacidad de 200 mL, se extrajo 0,3 mL del extracto con ayuda de una micro pipeta de hasta 1 mL y se adicionó 2,25 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu, en un tubo de ensayo, se agitó para disolver y dejar reposar 5 minutos a temperatura ambiente, se adicionó 2,25 mL de solución de Carbonato de sodio al 2%, se agitó la mezcla y se dejó en reposo por 15 minutos a temperatura ambiente, junto con el análisis de muestra se preparó los estándares de la gráfica de calibración y se llevó la muestra al espectrómetro (después de los 15 minutos de reposo) y se trabajó según lo descrito en la instrucción del fabricante usando la longitud de onda de 800 nm, deberá agitar el tubo antes de traspasar la solución a la celda de lectura.

Cálculos

Para la determinación de Contenido de Polifenoles totales siga la siguiente fórmula:

$$Ptl\ ppm = \frac{Lectura\ abs - Bk * F.C.* Vi}{P}$$

Donde:

Lectura de absorbancia = absorbancia de la muestra

Bk = valor del blanco

P = peso de la muestra

Vi = volumen inicial = 200 mL

F.C. = factor de curva de calibración; este factor se calcula siguiendo:

F.C. = $f\sum$ concentraciones de estándares/ $f\sum$ absorbancias de estándares

b) Análisis microbiológico de la pasta de macambo

Se evalúa la presencia de microorganismos para garantizar la seguridad del producto, tomando como referencia al cacao en pasta de acuerdo a lo establecido en la NTS N°071-MINSA/DIGESA-V-01. "Norma Sanitaria que establece los criterios Microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad para alimentos y Bebidas de Consumo Humano", siendo los límites reportados en la tabla 7.

Para la pasta de macambo se realizó el siguiente análisis microbiológico:

- ***Salmonella sp* en 25 g**: Investigación de *Salmonella sp.* Recuento en placa. Según AOAC 2016.01. 20th Edition. Motile Salmonella in All Foods.

Tabla 7

Cacao en Pasta (Licor de cacao/Chocolate) y torta de cacao

Agente Microbiano	***Categoría***	***Clase***	***N***	***c***	***Límite por g o mL.***	
					m	M
Salmonella sp	10	2	5	0	Ausencia/ 25 g	----

Nota. Ministerio de Salud del Perú (2008).

c) Evaluación sensorial de la pasta de macambo

Tomando como referencia que, la temperatura y el tiempo de tueste influyen significativamente en el color, sabor y el aroma de la pasta del cacao, se optó por aplicar el mismo principio para la pasta de macambo; permitiéndonos a describir objetivamente su calidad organoléptica. Se contó con un grupo de panelistas semi-entrenados, considerando la existencia de 09 tratamientos, quienes se codificaron para camuflar los factores y niveles de experimentación de tostado del macambo, y poder evaluar las características organolépticas

La evaluación sensorial se llevó a cabo en los laboratorios de la estación Juan Bernito del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT), el cual contaba con la iluminación correcta, ventilación adecuada y libre de olores extraños o fuertes.

Para el presente estudio se realizó una prueba de preferencia que consiste en comparar entre nueve muestras de diferentes tratamientos mediante un test para evaluar olor, color y sabor del producto, el cual se presenta en el Anexo 1.

Este proceso tuvo 2 etapas, en la primera etapa se seleccionó tres de las mejores muestras que posteriormente fueron evaluados mediante el test de perfil de sabores; y la segunda etapa fue en este caso de que los jueces escojan el mejor. Dentro de esta prueba se incluyó un test de orden de rangos o ranking.

Los hallazgos obtenidos fueron evaluados mediante el análisis del origen de varianza de 3x3, realizado en tres repeticiones, y a través del análisis de origen de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 5%. Además, se implementó la prueba de Tukey para calcular la diferencia mínima significativa entre las muestras, con el objetivo de determinar el tratamiento más adecuado.

3.3.5.2. Manteca de macambo

- Prensado manual, al término del conchado, manteniendo la temperatura de la pasta entre 45 a 50°C, se exprimió la pasta de macambo, con mantas muy finas; para extraer la fracción lipídica.
- Filtrado para retirar impurezas en un matraz con embudo de vidrio y papel Whatman N°1, con el apoyo de una estufa a 50 °C hasta su total filtración.
- Envasado en frascos de vidrio oscuro o envases con barrera de luz.

a) Controles fisicoquímicos de la manteca de macambo

Se realizaron los análisis fisicoquímicos que se detallan a continuación, empleando los métodos y normas técnicas que se indican por cada determinación:

***Determinación índice de peróxidos:** Se determinó de acuerdo al método AOAC (2016) 965.33. Se combinaron 30 mL de una solución que fue creada con tres volúmenes de CH3COOH y dos de CHCl3 con 5 g de muestra filtrada. Se colocó 0.5 mL de una solución saturada de KI, y 30 mL de agua destilada. Se tituló con Na2S2O3 0.1 N hasta que se alcanzó un color amarillento, luego se agregó 0.5 mL de una solución indicadora de almidón al 1% y se continuó con la titulación hasta que el color azul desapareció. El análisis fue hecho en dos ocasiones. Con la siguiente fórmula se determinó el índice de peróxido:

$$\text{Índice de peróxido (meqO2/kg)} = \frac{S * M * 1000}{M}$$

Donde:

S= Volumen de $Na_2S_2O_3$ requerido para titular el blanco (mL)

M= Molaridad de $Na_2S_2O_3$

M= masa de la muestra en base húmeda (g)

***Índice se saponificación:** Se determinó según la NTP-ISO 3657:2023. Se pesó unos 2 g de la muestra para análisis con una aproximación de 5 mg y se llevó a un matraz Erlenmeyer.

Se utilizó una pipeta automática, y se añadió 25,0 mL de la disolución de hidróxido potásico en etanol a la porción para análisis, junto con unas partículas facilitadoras de la ebullición. Se conectó el condensador de reflujo al matraz, se llevó el matraz al sistema de calentamiento y se sometió a ebullición suave durante 1 h, agitando ocasionalmente o durante 2 h cuando las grasas y aceites presenten un punto de fusión alto y resulten difíciles de saponificar.

Se añadió entre 0,5 mL y 1 mL de la disolución indicadora de color a la disolución caliente y se valoró con la disolución patrón volumétrica de ácido clorhídrico justo hasta que el color del indicador cambie en el punto de equivalencia.

Se realizó un análisis en blanco siguiendo el procedimiento descrito en el apartado de la norma, utilizando otros 25,0 mL de la disolución de hidróxido potásico en etanol, pero omitiendo la porción para análisis, la ecuación es la siguiente:

$$\text{Índice de de saponificación (mg KOH/g de grasa)} = \frac{\text{V0} - \text{V1} * \text{C} * 56.1}{m}$$

Donde:

V0= es el volumen de la disolución patrón volumétrica de ácido clorhídrico utilizada en el análisis en blanco, en mililitros;

V1= es el volumen de la disolución patrón volumétrica de ácido clorhídrico utilizada en la determinación, en mililitros;

C= es la concentración exacta de la disolución patrón volumétrica de ácido clorhídrico, en moles por litro;

m= es la masa de la porción para análisis, en gramos.

***Índice de yodo:** Se determinó según la NTP-ISO 3961:2023. Se colocó la cuchara de vidrio para pesar conteniendo la porción de ensayo en el matraz cónico de 500 mL y añadir el volumen de solvente.

Se añadió 25,00 mL del reactivo de Wijs con una pipeta, luego se insertó el tapón, se agitó el contenido y colocó el matraz a oscuras. Se derritió y disolvió las grasas y aceites con un IY de 20 (grasas sólidas o endurecidas) en disolvente caliente (60 °C).

Se preparó un blanco con el solvente y el reactivo. (Para muestras que contienen un índice de yodo por debajo de 150, dejar los matraces en la oscuridad por una hora. Para muestras que contienen un IY sobre 150 y para productos polimerizados y aceites con ácidos grasos de extensión considerable, dejar los matraces por 02 horas en la oscuridad. El tiempo de reacción concluyó con la adición de 20 mL de yoduro de potasio y 150 mL de agua. Se tituló con solución estándar de tiosulfato de sodio hasta que el color amarillo debido al yodo casi haya desaparecido. Se incorporó una mínima cantidad de solución de almidón y se prosiguió con la titulación hasta que el color azul casi desapareciera tras una agitación intensa. Se registró el volumen, V2, de la solución de tiosulfato de sodio requerida para alcanzar el punto final. Simultáneamente, la determinación se llevó a cabo utilizando la solución en blanco. En la determinación en blanco se registró el volumen de solución de tiosulfato de sodio requerido para alcanzar el punto final como V1.

Calcular el índice de yodo (comúnmente conocido en la industria como IY) en gramos por 100 g de grasa usando la siguiente fórmula:

$$\mathrm{IY} = \frac{12{,}69 \times \mathrm{c}(\mathrm{V1} - \mathrm{V2})}{m}$$

Donde:

c = es la concentración de la solución de tiosulfato de sodio en moles por litro

V1= es el volumen, en mililitros, de solución de tiosulfato de sodio usado para el ensayo del blanco

V2 = es el volumen, en mililitros de la solución de tiosulfato de sodio usado para la determinación

m = es la masa, en gramos de la porción de ensayo

***Índice de acidez:** Se determinó según la NTP 208.021:2015 (revisada el 2020), por el método de titulación.

Se pesó 5 g de muestra en un Erlenmeyer, se añadió 50 mL de solvente etanol/éter neutralizado y se disolvió completamente, se agregó 2–3 gotas de fenolftaleína, se tituló con KOH 0,1 N hasta rosa tenue que persista, se registró el volumen gastado V (mL). se utilizó la siguiente fórmula.

$$\text{Índice de acidez (IA), en mg KOH/g:)} = \frac{(\text{V} - \text{Vb}) * \text{N} * 56.1}{m}$$

Donde

V=mL KOH muestra,

Vb=mL KOH blanco,

N=normalidad KOH

m=g de muestra.

Determinación de rendimiento

De la pasta

El rendimiento de la pasta de macambo se realizó mediante la siguiente formula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{m2}}{\text{m1}} * 100$$

Donde:

m_2= peso de la masa de la pasta (kg)

m_1= peso de las semillas despulpadas (kg)

De la manteca

El rendimiento de la pasta de macambo se realizó mediante la siguiente formula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{m2}}{\text{m1}} * 100$$

Donde:

m_2= peso de la manteca bruta (kg)

m_1= peso de la pasta de macambo (kg)

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.1. Caracterización biométrica del fruto y rendimiento del fruto y semillas de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl)

1.1.1. Caracterización biométrica del fruto y semilla

Esta caracterización se realizó para conocer físicamente los datos biométricos de los frutos, obteniéndose resultados que se presentan en la tabla 8, y son relativamente parecidos a lo mencionado por Vera et. al (2024), pues señalan que los frutos de macambo en promedio es 219 mm de longitud, 143 mm de diámetro y 1142,7 g promedio en peso; Las semillas son elípticas, de color crema y de consistencia dura. En promedio, miden 34,2 mm de longitud, 23,4 mm de ancho y 13,8 mm de espesor; además pesan un promedio de 8,38 g. Cada fruto contiene entre 28 y 46 semillas. Estos datos pertenecen a una variedad que se llama "Rugoso Duro Pequeño" (RDP), y que las mínimas diferencias se pudieron haber dado por factores climáticos y situacionales.

Tabla 8
Características biométricas del fruto y semillas de macambo

Variables	Valor promedio	
	Fruto	Semillas
Peso (g.)	1113,6	9,326
Longitud (mm)	200,64	3,.828
Diámetro (mm)	116,67	23,414
Cantidad/ fruto (unid.)	--	30 - 40

1.1.2. Rendimiento del fruto y semillas de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl)

Del total del peso del fruto, la corteza o cáscara representa el 49,19%, la pulpa el 22,25% y las semillas el 24,07%. Comparando estos resultados, con los reportados por la Intriago ***et al***. (2023), donde el porcentaje de corteza es 52%, pulpa el 28% y semillas el 20%, se refleja similar cantidad en porcentajes, los mismos que podrían tener mucha importancia en rendimiento para su comercialización, gracias a su proporción considerable de semillas.

Según Rixe y Vela (2017), el peso bruto medio de los frutos de macambo oscila entre 523,1 g y 1912 g, de los cuales cerca del 15% es semilla, con un peso medio que varía entre 86,2 g y 258,8 g. En comparación con el cacao, el fruto de macambo contiene más semillas y menos pulpa; por esta razón, tiende a generar un rendimiento superior en la elaboración de licor.

Tabla 9
Características porcentuales del fruto y semillas de macambo

Composición	Peso (g)	Porcentaje (%)
Fruto	1113,6	100
Cáscara	547,8	49,19
Pulpa	247,8	22,25
Peso de la placenta	50	4.49
Semillas	268	24,07

1.2. Análisis fisicoquímico de la semilla durante la fermentación

Las remociones durante la fermentación que se realizó para el macambo fueron a partir del día 2 hasta el día 6. A través de este movimiento de las semillas, se logró que la masa de fermentación se llenara de aire, creando así un entorno ideal para que las reacciones químicas comiencen, dando lugar a la creación de compuestos precursores de nuevos sabores y aromas.

Se utilizó un sistema de fermentación controlada, dada a que la cantidad de semillas era limitada por la época de producción y por el grosor de la testa que impide que la temperatura llegue fácilmente al centro del cotiledón

1.2.1. Temperatura

La figura 3, representa la variación de temperaturas registradas en el proceso de fermentación de la masa de las semillas de macambo reportados en el Anexo 1.

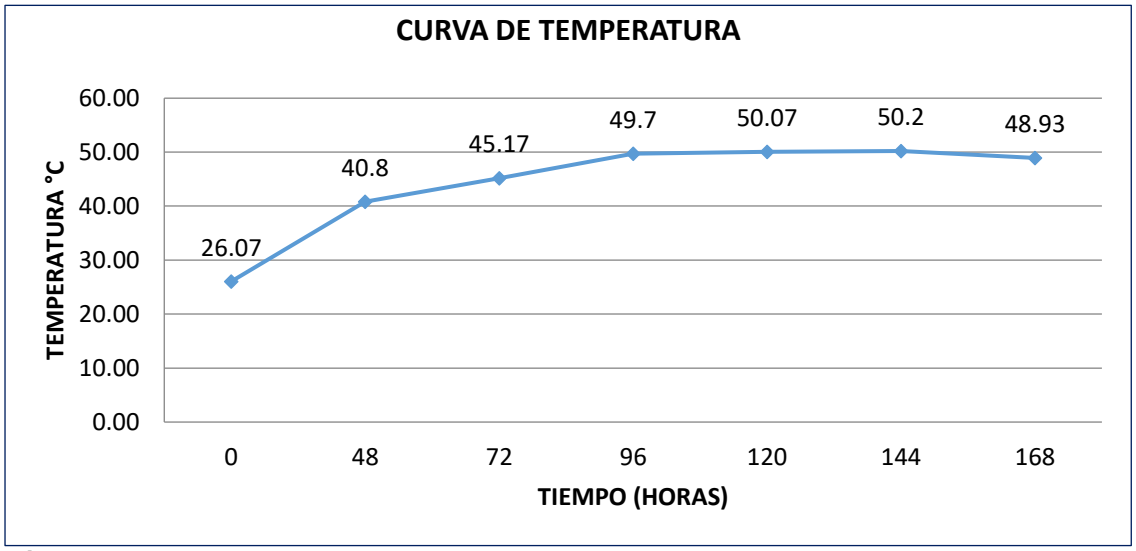


Figura 3
Variación de temperatura de la masa de macambo durante el proceso de fermentación.

La fermentación del macambo se realizó a temperatura controlada de 50 °C con el propósito de asegurar un proceso uniforme, reproducible y comparable con las condiciones óptimas de fermentación observadas en especies del mismo género, como el cacao (Theobroma cacao).

El control de temperatura es un parámetro crítico en los procesos fermentativos, ya que la actividad microbiana (levaduras, bacterias lácticas y acéticas) genera calor de manera natural, pudiendo elevar la temperatura de la masa hasta valores cercanos a 45–50 °C (Campos et al., 2025; Guillén-Guerrero et al., 2025). En este rango, las levaduras transforman los azúcares en etanol, y las bacterias acéticas oxidan el etanol a ácido acético, generando el calor necesario para inducir la muerte del embrión y activar reacciones enzimáticas dentro de la semilla.

Mantener la temperatura constante en 50 °C permite simular las condiciones térmicas naturales del proceso tradicional, pero con un mayor grado de control experimental. De esta forma se evita la variabilidad causada por factores externos (clima, tipo de recipiente o ventilación), asegurando la reproducibilidad de los resultados.

Además, esta temperatura favorece la oxidación controlada de los compuestos fenólicos, la reducción de la astringencia y el desarrollo de precursores de aroma y sabor característicos del producto final (Calvo et al., 2025). Temperaturas inferiores podrían ralentizar la fermentación, mientras que valores superiores a 55 °C pueden inactivar enzimas esenciales o afectar la integridad de los compuestos volátiles responsables del aroma.

Por tanto, el uso de una estufa con control termostático a 50 °C garantizó un ambiente térmico estable que permitió el desarrollo adecuado de los microorganismos fermentativos, la transformación bioquímica interna de las semillas y la obtención de un producto con características fisicoquímicas y sensoriales homogéneas, fundamentales para su evaluación y posterior procesamiento.

Los hallazgos indican que durante las primeras 48 horas de fermentación, la temperatura alcanzó un incremento hasta alcanzar los 40,8 oC, lo que sugiere una fermentación activa, producto de la acción de las levaduras sobre los azúcares de la pulpa para producir alcohol etílico. Tras la eliminación de la masa, se produce una aireación que establece condiciones propicias para la oxidación del alcohol en ácido acético a través de la acción bacteriana. Esta aireación puede inducir una reducción marginal en la temperatura; sin embargo, su efecto se ve contrarrestado por la actividad bacteriana. A las 120 horas, la temperatura máxima es 50,07ºC, resultado de la degradación de la pulpa, generación de ácido láctico y oxidación de alcohol etílico en ácido acético. Los días siguientes, la temperatura desciende, ya que el drenaje de pulpa desaparece por su degradación, permitiendo que el aire se difunda entre las habas y reduzca la temperatura.

Al analizar estos datos se puede ver que se logra un buen producto final, pues Erazo (2019) citado por Murillo & Soria (2023) explica que en la fermentación la temperatura alcanza los 45-50 ºC y, una vez finalizada la fermentación desciende. El embrión dentro del Grano señala el comienzo de un proceso bioquímico que conduce a la muerte y germinación del embrión. Este proceso incluye variaciones en el pH debido al ácido acético, que se propaga a través de la testa, y también cambios en la temperatura interna de la almendra, que alcanza los 45ºC. Esto iniciaría el desarrollo de precursores de aroma y sabor. Las fluctuaciones de temperatura pueden deberse a la cantidad de semillas de macambo en la fermentación, ya que el proceso depende del volumen de azúcares en la pulpa.

- **pH**

La figura 4, representa el comportamiento del pH en el cotiledón de los granos de macambo, quienes son registrados durante el proceso de fermentación de las y reportados en el Anexo 2.

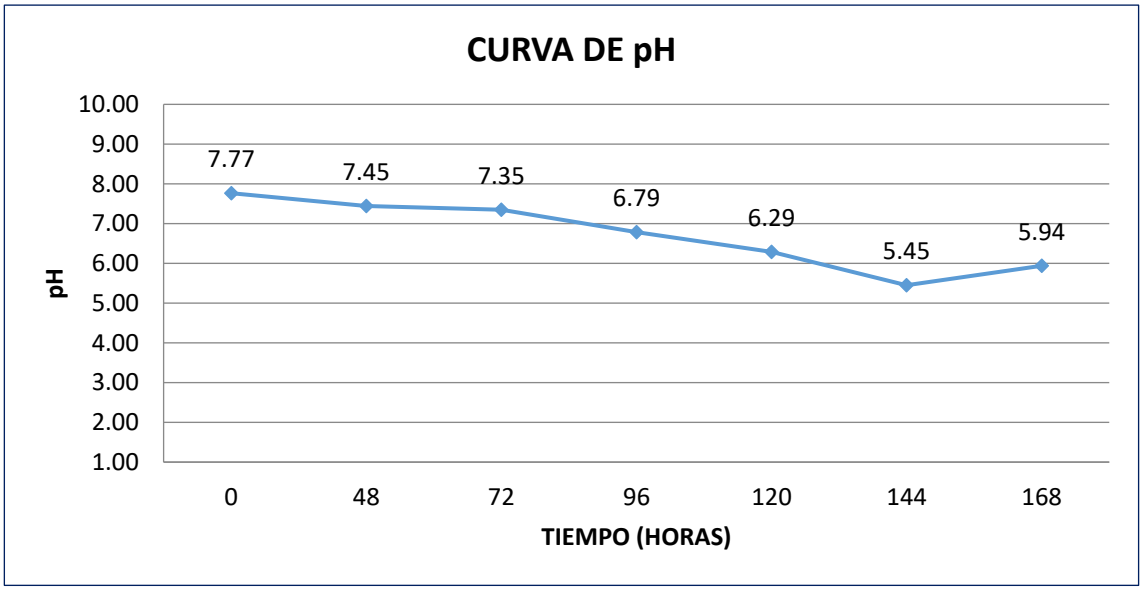


Figura 4
Comportamiento del pH en el cotiledón de los granos de macambo durante el proceso de fermentación.

Si bien el pH es un indicador clave de calidad que refleja un exceso de acidez en los granos fermentados, lo cual afecta negativamente las características sensoriales. Un pH que se sitúa entre 4,0 y 5,0 puede sugerir un nivel de acidez elevado, lo que resulta en un sabor desagradable y un exceso de ácido láctico en los granos de macambo, por eso para garantizar una calidad adecuada del cacao, el pH ideal debería estar entre 5,0 y 5,4 ya que un pH inferior a 5,0 indica la presencia de ácidos volátiles que son perjudiciales para el desarrollo de aromas y sabores del cacao (Murillo & Soria,2023).

El pH se ve alterado por diferentes factores que ocurren durante la fermentación, así como por procesos de descomposición impulsados por microorganismos y por diversas mezclas o desvíos. En los estudios realizados por Dávila (2023), citado por Leyva y Maylle (2024), menciona, que el primer día de fermentación, el pH de los cotiledones experimentó una disminución gradual, alcanzando un valor de 6,3. Sin embargo, en el tercer y cuarto día, esta disminución fue más rápida, llegando a aproximadamente 4,75; este valor permaneció casi constante hasta que finalizó el proceso de fermentación; comparando con los resultados obtenidos en el presente estudio, el pH de las semillas de macambo fue gradual.

En la figura 3 se muestra que el pH baja de **7,77 a 5,45** en las primeras 144 horas, lo cual es típico de una fermentación activa. Después sube un poco **(5,94)** porque los ácidos volátiles (como el acético) pueden comenzar a evaporarse. Podemos observar que el pH el pH de los granos de macambo disminuye, y se debe porque los microorganismos (levaduras y bacterias) transforman los azúcares de la pulpa en ácidos orgánicos, principalmente ácido acético y láctico. Estos ácidos penetran en el interior del grano, reduciendo su pH. Además, la acción de enzimas y el calor del proceso favorecen la acidificación. Esta disminución del pH es importante porque detiene la germinación, ayuda a la formación de compuestos precursores del aroma y sabor, y asegura una fermentación adecuada.

1.2.2. Acidez titulable

La figura 5, representa el comportamiento de la acidez en el cotiledón de los granos de macambo registrado durante el proceso de fermentación. Estos datos son reportados en el Anexo 3.

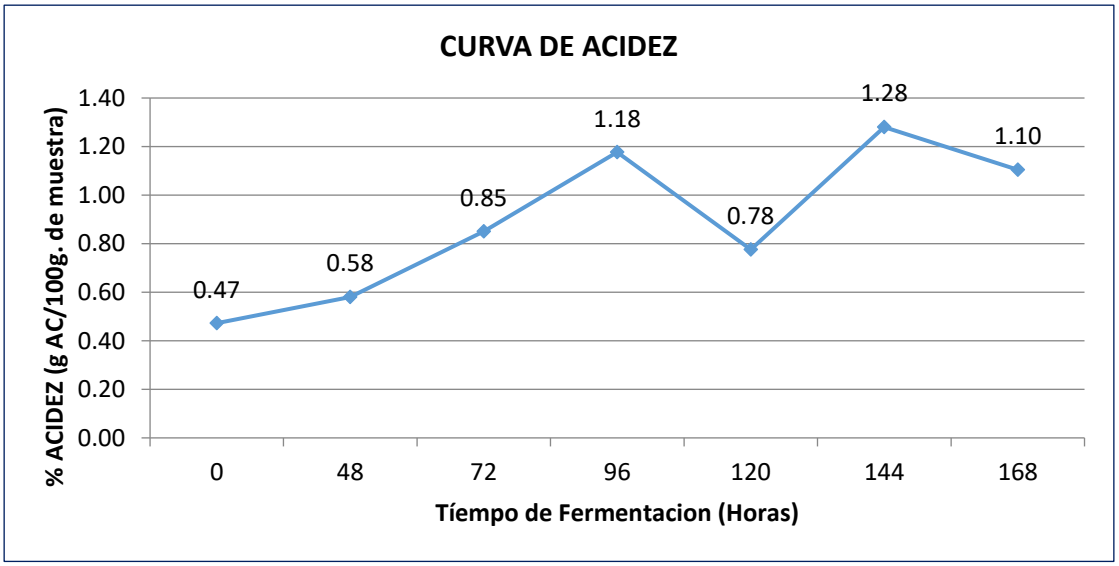


Figura 5
Acidez del cotiledón de los granos de macambo durante el proceso de fermentación.

La curva de acidez muestra un incremento progresivo desde 0,47 g AC/100 g de muestra (0 h) hasta alcanzar valores máximos de 1,18 g AC/100 g (96 h) y 1,28 g AC/100 g (144 h). Este comportamiento se explica por la actividad microbiana propia del proceso de fermentación: las levaduras transforman los azúcares de la pulpa en etanol, el cual es posteriormente oxidado por bacterias acéticas para generar ácido acético. Asimismo, las bacterias lácticas contribuyen con la producción de ácido láctico. (Hartel ***et al***. 2018). Ambos ácidos, junto con otros compuestos orgánicos, se difunden hacia el interior del grano, aumentando la acidez titulable.

La disminución observada a las 120 h (0,78 g AC/100 g) puede estar asociada a la volatilización de ácidos, principalmente del acético, debido al calor generado durante la fermentación. Sin embargo, la actividad microbiana se mantiene, lo que explica el repunte en la acidez hasta alcanzar su máximo a las 144 h. Finalmente, la ligera reducción a las 168 h (1,10 g AC/100 g) se relaciona con la pérdida parcial de compuestos volátiles.

Este comportamiento confirma que la fermentación de macambo conlleva una dinámica de producción y pérdida de ácidos orgánicos, los cuales cumplen un rol fundamental en la inhibición de la germinación, la estabilización microbiológica y la formación de precursores de aroma y sabor característicos del grano fermentado.

Según Morales (2020), la acidez aumenta desde el comienzo de la fermentación a lo largo del tiempo. Esto es resultado de la generación de ácidos orgánicos por los microorganismos. En el caso de las semillas de macambo, la membrana o cascarilla se vuelve permeable, permitiendo que una gran cantidad de sustancias, como el ácido acético y el etanol, entre al cotiledón. Por lo tanto, la acidez de este se incrementa. La acidez total de los granos de cacao en fermentación está compuesta por el ácido láctico y el ácido acético, siendo este último el que más predomina. La producción de ácido acético es resultado de la acción de las bacterias acéticas, que oxidan el etanol con oxígeno gracias a la aireación de la masa en fermentación. Después del sexto día de fermentación, notamos que la acidez tiende a mantenerse casi sin cambios.

1.2.3. Sólidos Solubles

El contenido total de solidos solubles expresados en °Brix durante el primer día de fermentación es de 13,6°Brix. Este elevado contenido de azúcares en la pulpa promueve el desarrollo de las levaduras durante el proceso fermentativo, las cuales fomentan la fermentación alcohólica. Este proceso conlleva un incremento en la acidez y la temperatura, conduciendo a la muerte del embrión. Esta situación propicia las reacciones que generan los precursores de nuevos sabores y aromas.

La cuantificación del contenido de solidos solubles reviste una relevancia significativa en la proyección del proceso fermentativo, dado que indirectamente refleja la concentración de azúcares presentes en el mucilago.

1.2.4. Tiempo de fermentación

Soledad ***et al***., (2022) citado por Zapata (2023) menciona que: el periodo de fermentación fluctúa en función de diversas variables como la temperatura y las condiciones climáticas. En el caso del Macambo (*Theobroma bicolor* Hump & Bonpl.), la fermentación se prolonga aproximadamente durante tres días. En este proceso, el pH se erige como un factor preponderante, junto con la humedad, y la temperatura fluctúa debido a las reacciones internas que se producen durante el proceso.

El tiempo de fermentación es un factor esencial en la producción del licor de macambo, en este caso tuvo una duración de siete días de fermentación a temperatura controlada, tiempo en la cual “se realizó todo un proceso de transformación de los azúcares de la baba o mucílago en alcohol etílico y luego en ácido acético por la intervención en primera instancia de levaduras y luego de las bacterias lácticas y acéticas” (Zapata, 2023, p.82). haciendo de ello que la masa de macambo incremente la temperatura y sea un indicativo principal que refleja el comportamiento de la fermentación hasta su etapa final.

1.3. Análisis fisicoquímico de la semilla durante el secado

1.3.1. Porcentaje de humedad

Según Contreras et al (2002) citado Delgadillo (2023), el secado consiste en exponer las almendras ya fermentadas a la acción del calor, ya sea por medios naturales o artificiales, para reducir su contenido de humedad interior a menos del 7%, con el objetivo de facilitar su manipulación, conservación y evitar daños en la calidad de los granos de macambo por acción de hongos y mohos.

El 59,30%, promedio de humedad en los granos de macambo al inicio del proceso de secado, sugiere que, para un almacenamiento seguro, la humedad debería reducirse en un 7 u 8%. En consecuencia, durante los dos días iniciales, la aceleración del proceso puede conducir a la inactivación de las enzimas. La velocidad de secado establece una correlación directa con el sabor y la calidad de los granos. Un ritmo de secado desmedido puede conducir a la proliferación de hongos que producen sabores desagradables, mientras que un ritmo desmedido puede inducir sabores excesivamente ácidos. La pigmentación, el aroma y el sabor del cacao se intensifican cuando se somete a un proceso de secado gradual (Delgadillo, 2023).

Según Contreras et al (2002) citado Delgadillo (2023), El secado tiene como objetivo eliminar el exceso de humedad y acidez de las almendras recién fermentadas de aproximadamente 55 % al 7 %, como garantía para su respectivo almacenaje y comercialización, el cual coincide con la parte experimental donde se obtuvo en promedio 7,09%, en el octavo día **(**ver figura 6**)**. Además, se indica que si la humedad final es inferior, la semilla se torna quebradiza, mientras que si es superior, puede ser susceptible a infestaciones futuras y propiciar la proliferación de bacterias y hongos.

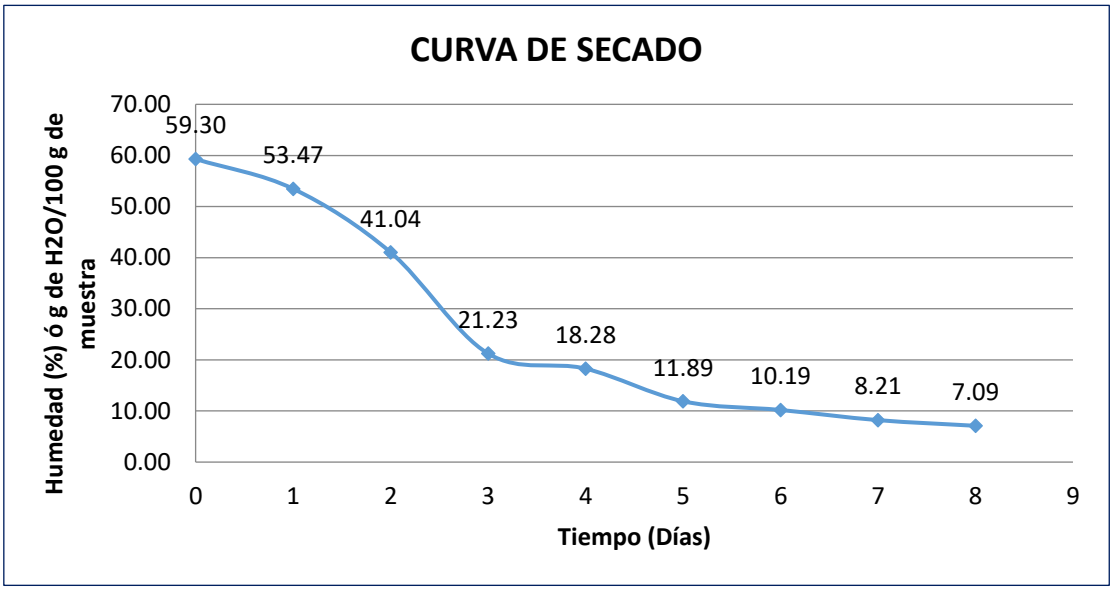


Figura 6
Variación del contenido de humedad del cotiledón más la testa.

Esta gráfica, representa la variación de los promedios de valoraciones realizadas del contenido de humedad del cotiledón más la testa registrada durante el proceso de secado quienes son reportados en el Anexo 4.

La curva de deshidratación de semillas fermentadas de macambo permite distinguir tres regiones distintas. La primera se distingue por un periodo de velocidad constante, debido a que la vinculación del agua con los granos disminuye, facilitando así la constancia de la pérdida de agua. Este período constituye menos del 3,5% del periodo total de acumulación.

La segunda región representa un intervalo de velocidad constante, dado que la disminución del contenido de humedad dificulta el acceso de agua desde el interior del haba hacia la superficie, lo que resulta en una pérdida de humedad más lenta.

En la tercera región, la tasa de secado es más reducida y abarca un periodo más extenso, dado que la eliminación de agua se vuelve cada vez más compleja al encontrarse ligada. En consecuencia, la reducción del contenido de humedad se lleva

a cabo mediante la difusión de esta desde el interior de los cotiledones a través de los tejidos y posteriormente a través de la testa.

El rendimiento del proceso de secado es aproximadamente del 46%, teniendo en cuenta que la semilla fermentada de macambo contiene un 60% de agua y que, al concluir el proceso de secado, el contenido de humedad se sitúa en el 7.09%. Esto conlleva una pérdida de masa significativa, lo que requiere una conservación adecuada de las semillas para prevenir el ataque de hongos.

1.3.2. Tiempo de secado

A lo largo del proceso de secado, se concluye la fermentación y se disminuye el sabor amargo y astringente inicial, resultando en un color pardo bien fermentado de la almendra. Cuando el cacao no se seca adecuadamente, adquiere un aroma y sabor desagradables.

Se empleó el método de secado solar, cuya velocidad media de reducción de la humedad en los granos se determina en función del número de días de secado y fluctúa significativamente en función de las condiciones climáticas, el número de horas de iluminación y la intensidad de los rayos solares.

Para los granos de macambo, considerando que posee una testa muy gruesa que recubre al cotiledón en tanto que las condiciones climáticas no han sido las adecuadas por factores climáticos, encontrándose lluvioso nublado en los primeros 4 días de secado. Se tuvo ocho días de pérdida de agua gradual **(ver figura 5),** coincidiendo con lo que indica Jiménez (2003) citado por Leyva y Maylle (2024), que durante el primer día se deben secar de dos a tres horas en el día y esparcir las almendras en una capa gruesa de 4 a 5 cm. de espesor, removiéndolas cuatro veces por día; se detiene el proceso toda la noche, y posteriormente se sigue secando hasta disminuir gradualmente el espesor de la capa a 1 cm en los próximos días.

Estas pausas son recomendables porque al disminuir la temperatura, el agua del cotiledón migra hacia el exterior y se seca más fácilmente. Al finalizar el secado, las semillas deben tostarse o empacarse para evitar humedad. Antes de empacar, es necesario dejarlas expuestas hasta que su temperatura iguale la del ambiente.

1.3.3. Prueba de corte

Este paso es muy importante, puesto que las semillas, al llegar al área de procesamiento, deben pasar por un control muy estricto en el cual se toma en cuenta los índices físicos de calidad de los granos secos ara determinar la calidad del Grano se hacen diferentes tipos de análisis físicos.

Tras la finalización del proceso de secado, procedemos a cuantificar el nivel de fermentación, categorizándolo en: La identificación de granos de fermentación óptima, de fermentación leve, de violeta, de pizarroso, de mohoso y de defectuoso se llevó a cabo mediante un análisis visual. La técnica denominada "prueba de corte" (Loo, 2019), que implicó la partición longitudinal de 100 almendras secas seleccionadas al azar. La prueba de corte implica un examen físico subjetivo que permite identificar el estado de fermentación a través del corte transversal de las semillas de macambo, categorizándolas en función de su estructura física, color y adhesión a la cascarilla. Asimismo, se evalúa la presencia de un exudado de color vino que señala la muerte del embrión de los granos.

Respecto a los parámetros físicos de los granos fermentados y secos, se registró un grado de fermentación del 83 %, un porcentaje que se alinea con lo postulado por Gutierrez et al. (2022), quienes postulan que la proporción de almendras fermentadas en comparación con las no fermentadas debe superar el 75 %.

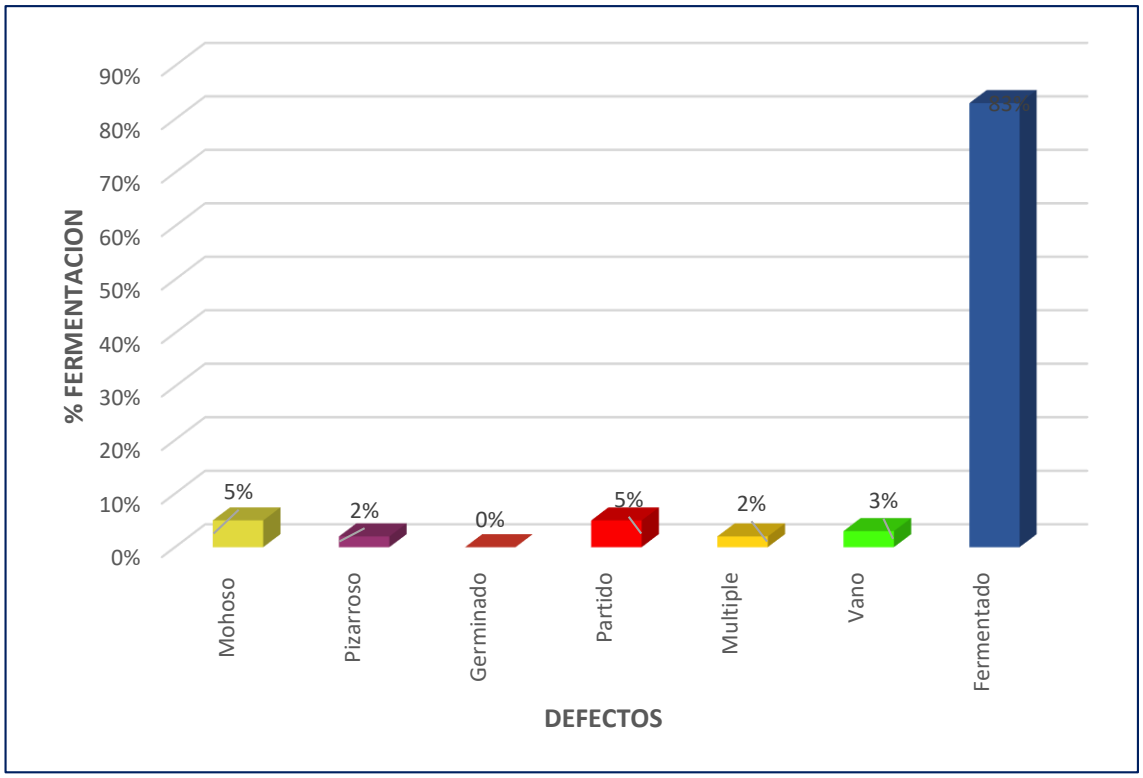


Figura 7
Porcentaje de fermentación de los granos de macambo.

1.3.4. Porcentaje de cascarilla

En los diferentes tratamientos, el porcentaje de cascarilla más alto que se obtuvo es de 10,90 % correspondiente al tratamiento T5, y el valor más bajo es 9,10% correspondiente al tratamiento T1, dichos valores se encuentran en el rango impuestos

por la FAO y OMS; señalado por García y Quintana. (2022), Se sostiene que la cuantía de la testa o cutícula no debe superar el 12 % en relación con el peso de la almendra.

Estos parámetros revisten gran relevancia en el sector industrial, dado que el tostado de los granos por encima de temperaturas de 100°C durante periodos de 20 a 40 minutos provoca una migración específica de la manteca hacia la cáscara, lo que resulta en pérdidas de esta última al descartar la cáscara o testa.

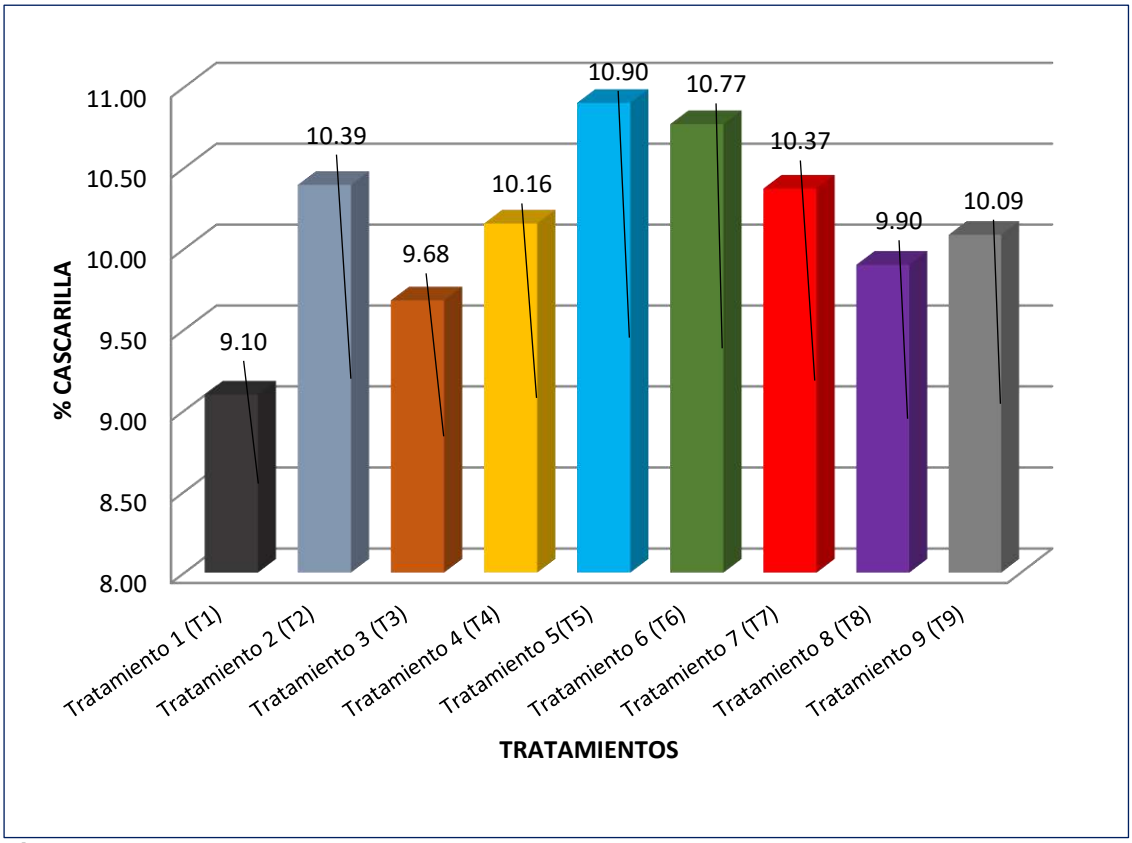


Figura 8
Variación del porcentaje de cascarilla en los diferentes tratamientos de tostado de granos de macambo.

Stevenson *et al* (1993), citado por Vargas (2022), estableció una relación entre el peso promedio de la almendra de cacao sometidas a fermentación y secado con su contenido de cáscara, lo cual fue asociada a las semillas de macambo. El autor llegó a la conclusión de que las almendras con un peso que oscila entre 100 y 150 g presentan un contenido de cáscara reducido (entre 9,5 y 11,3%), mientras que aquellos granos con un peso que oscila entre 50 y 100 g presentan un contenido de cáscara que oscila entre 12 y 13,8%.

De acuerdo a la variación de porcentajes obtenidos en los diferentes tratamientos de tostados (valores entre 9,10 a 10,90%), se considera que los granos de macambo se encuentran en pesos promedios de 100 a 150 g.

1.4. Análisis fisicoquímico de las semillas y pasta de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.)

En las etapas básicas del proceso se realizaron análisis químicos para observar el comportamiento y/o variaciones de las características químicas de los granos de macambo.

1.4.1. Humedad

Después de realizar las mediciones por triplicado de las semillas de macambo tal como indica en la metodología, se observa en la tabla 10 y la figura 9, el porcentaje de humedad en cinco etapas del proceso de elaboración de pasta de macambo siendo fundamental para observar y adoptar datos de su comportamiento.

Los granos de macambo examinados han sido ajustados a las normas y criterios de calidad que deben satisfacer los granos de cacao, establecidos por las Normas de la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura F.A.O. y también por las Normas de la Organización Mundial de la Salud O.M.S. Se constata que estos granos satisfacen primordialmente los requisitos en las fases de secado y tostado, garantizando así una restricción al crecimiento de microorganismos siempre que se mantengan estas condiciones durante todo su proceso de manipulación.

Tabla 10

Análisis químico de las semillas de macambo en cinco etapas del proceso

Etapas de Proceso	% Humedad
Inicio de Fermentación (IF)	48,58
Final de fermentación (FF)	59,30
Final de secado (FS)	7,09
Tostado Final (TF)	2,57
Producto Final – Pasta (PF)	2,54

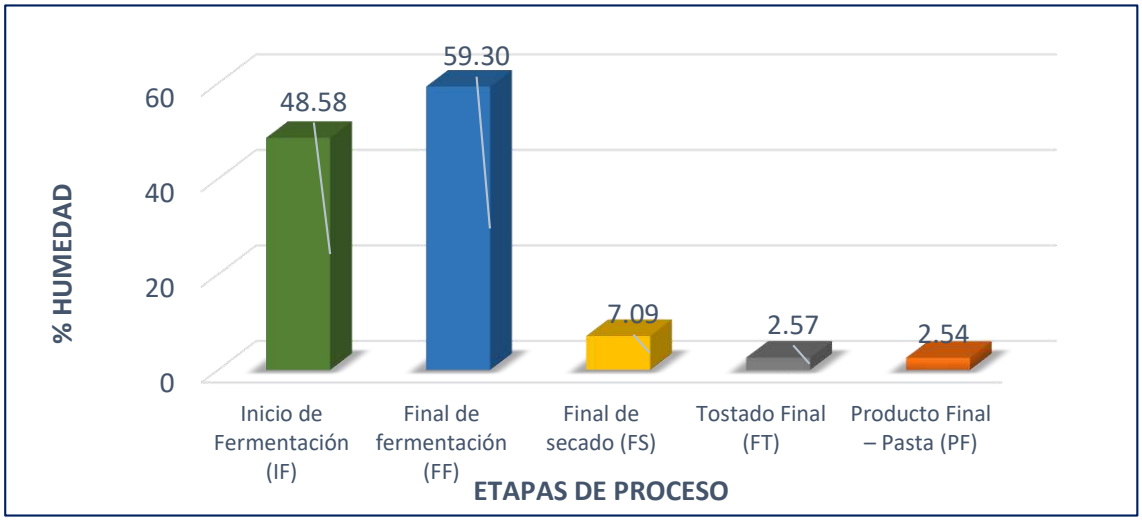


Figura 9

Variación del contenido de humedad en cinco etapas del proceso de elaboración de la pasta de macambo.

En la figura 9 se observa que durante el proceso de beneficio del macambo, el contenido de humedad de las semillas presentó una variación significativa, pasando de 48,58 % al inicio de la fermentación a 59,30 % al finalizar esta etapa. Este incremento se explica por la absorción de agua desde la pulpa hacia el interior de las semillas y por la condensación del vapor generado por la actividad microbiana, lo que produce un aumento temporal del contenido hídrico. Dicho comportamiento es característico en los procesos fermentativos de granos tropicales, donde el ambiente húmedo y cálido favorece la transferencia de agua y el desarrollo de reacciones bioquímicas que contribuyen a la formación de precursores de aroma y sabor.

Posteriormente, durante las etapas de secado, tostado y obtención de la pasta, la humedad disminuyó de manera progresiva hasta alcanzar valores de 7,09 %, 2,57 % y 2,54 %, respectivamente. Esta reducción responde a la evaporación del agua libre y ligada bajo condiciones controladas de temperatura, lo que garantiza la estabilidad física, microbiológica y sensorial del producto final.

Estos resultados evidencian un comportamiento típico de procesos de beneficio de granos cacaoteros, donde la humedad inicial elevada favorece las reacciones bioquímicas de fermentación, mientras que su reducción progresiva en las etapas posteriores asegura la estabilidad y calidad del producto final.

1.4.2. Proteína

La tabla 11 y la figura 10, muestran el comportamiento de porcentaje de proteína en las etapas de proceso al inicio de la fermentación, en el secado y tostado, indicando un aumento progresivo desde 6,60 %, 9,03, 16,80, 18,07 y 19,20 % respectivamente, siendo esta última el valor con mayor contenido de proteína cruda, lo que es indicador de la buena calidad alimenticia de la semilla. Los valores obtenidos se encuentran dentro de los valores esperados.

Tabla 11
Análisis químico de las semillas de macambo en cinco etapas del proceso

Etapas de Proceso	% Proteína
Inicio de Fermentación (IF)	6,60
Final de fermentación (FF)	9,03
Final de secado (FS)	16,80
Tostado Final (TF)	18,07
Producto Final – Pasta (PF)	19,20

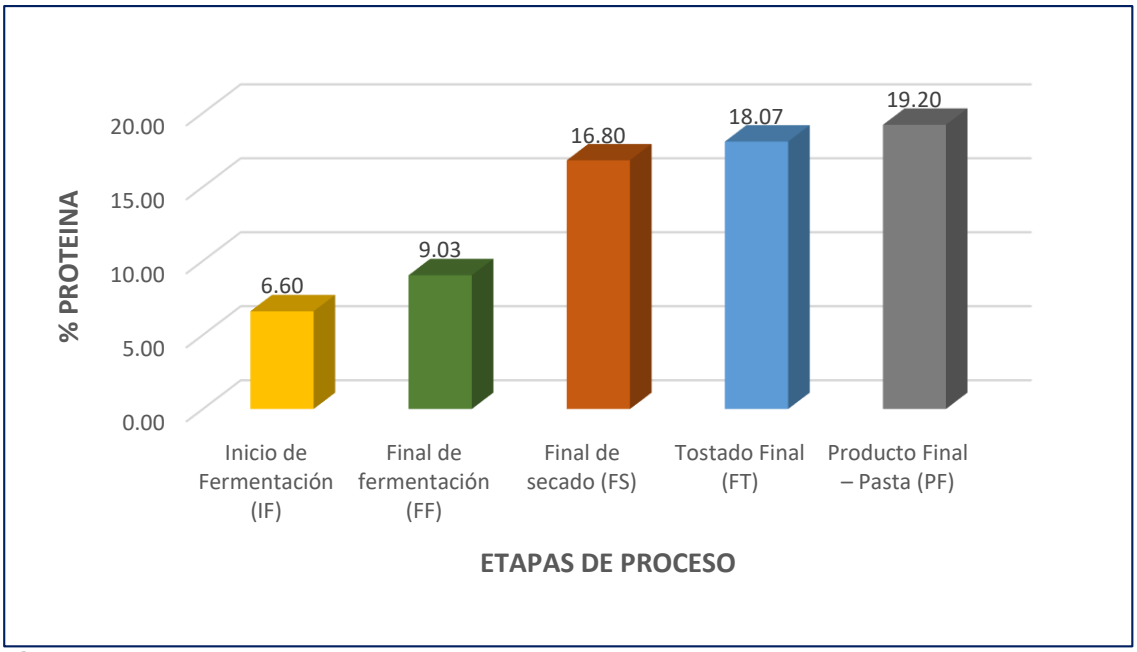


Figura 10

Variación del contenido de proteína en cinco etapas del proceso de elaboración de la pasta de macambo.

En la figura 10, el incremento del contenido de proteína observado a lo largo de las etapas del proceso de beneficio del macambo se justifica principalmente por la pérdida progresiva de humedad y otros componentes volátiles, lo que genera una concentración relativa de los sólidos totales en la semilla. A medida que avanza el proceso desde la fermentación hasta la obtención de la pasta, la reducción de agua y compuestos solubles provoca que la fracción proteica represente un mayor porcentaje de la masa total.

Durante la fermentación, la actividad enzimática y microbiana degrada parcialmente la pulpa que rodea la semilla, permitiendo la liberación y transformación de compuestos nitrogenados que pueden incrementar la disponibilidad de proteínas. En el secado y tostado, el incremento se asocia al efecto térmico, que elimina el agua ligada y promueve la desnaturalización de proteínas, concentrando la materia seca. Finalmente, en la pasta de macambo, la molienda intensifica la homogeneidad y concentración de sólidos, consolidando el valor proteico del producto final.

En conjunto, estos cambios reflejan un comportamiento típico de matrices vegetales ricas en grasa y proteínas, y demuestran que el procesamiento controlado del macambo no solo mejora sus características tecnológicas, sino que también potencia su valor nutricional y funcional, fortaleciendo su potencial como materia prima para la industria alimentaria y de productos alternativos al cacao.

1.4.3. Grasa bruta

La tabla 12 y la figura 11 muestran el comportamiento de porcentaje de Grasa en las etapas de proceso al inicio de la fermentación, final de la fermentación, en el secado, en el tostado y en el producto, observando que en la etapa de tostado se llegó a alcanzar un 56,30% de Grasa bruta, un valor que se considera dentro del promedio, tomando en cuenta que en otro estudio se muestran resultados en contenido de Grasa de varios materiales de cacao, en un rango de 51,4 % a 57,7 % (Vera et al., 2024.)

El comportamiento de las semillas de macambo aumenta de manera progresiva, indicando que el proceso de fermentación ha cumplido correctamente su proceso bioquímico que han dado lugar al aumento de la materia Grasa, desde un 39,53 % hasta un 51,14 % al final del secado, así mismo el efecto de la temperatura ha permitido llegar hasta un 56,30 % de porcentaje de Grasa bruta, un valor que indica la buena calidad alimenticia a su vez de la importancia comercial para la producción de pasta de macambo y derivados.

Tabla 12
Análisis químico de las semillas de macambo en cinco etapas del proceso

Etapas de Proceso	% Grasa Bruta
Inicio de Fermentación (IF)	39,53
Final de fermentación (FF)	43,88
Final de secado (FS)	51,14
Tostado Final (TF)	56,26
Producto Final – Pasta (PF)	56,30

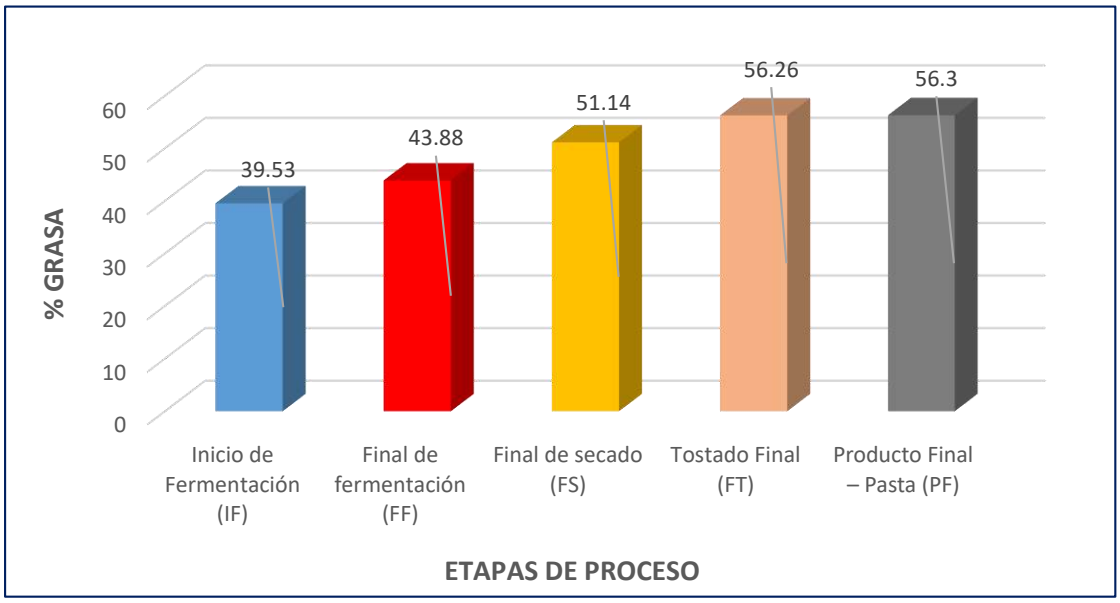


Figura 11
Variación del contenido de grasa bruta en cinco etapas del proceso de elaboración de la pasta de macambo.

En la figura 11, el incremento progresivo del contenido de grasa bruta observado en las distintas etapas del proceso de beneficio del macambo se justifica principalmente por la disminución del contenido de humedad y otros componentes volátiles, lo que ocasiona una concentración relativa de los lípidos en la masa sólida de la semilla. En la fermentación, el contenido graso aumentó de 39,53 % a 43,88 %, resultado de la degradación de la pulpa y la pérdida de agua, que concentran los compuestos lipídicos propios del cotiledón.

Durante el secado, la humedad se redujo de manera significativa, elevando el porcentaje de grasa a 51,14 %. Este comportamiento se intensificó en la etapa de tostado, donde el aumento de temperatura eliminó la humedad residual y facilitó la ruptura de estructuras celulares, permitiendo una mayor liberación del aceite contenido en los tejidos del grano, alcanzando un valor de 56,26 %. Finalmente, en la pasta de macambo, el valor de grasa (56,30 %) se mantuvo prácticamente constante, indicando que el proceso de molienda y conchado no altera el contenido lipídico, sino que lo distribuye uniformemente en la matriz del producto.

En conjunto, este comportamiento refleja las características típicas de las semillas oleaginosas, en las que la reducción de humedad durante el procesamiento intensifica la proporción de grasa respecto a la masa total. Estos resultados evidencian que el macambo posee un alto potencial para la obtención de manteca vegetal, similar al del cacao, lo cual refuerza su valor agroindustrial y su viabilidad como materia prima alternativa para las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica.

1.4.4. Fibra cruda

La tabla 13 y la figura 12 muestra el porcentaje de fibra cruda en cinco etapas del proceso, al inicio de la fermentación, final de la fermentación en el secado, tostado y producto, donde se observa que el porcentaje disminuye desde un 18,6 %, a 5,2 %, lo que quiere decir que la semilla de macambo posee mayor contenido de fibra cruda en su estado natural, y a medida que es sometido a procesos de producción para la elaboración de la pasta, sufren cambios bioquímicos que alteran su estructura y composición natural, siendo un principal factor el incremento de la temperatura.

Tabla 13

Análisis químico de las semillas de macambo en cinco etapas del proceso

Etapas de Proceso	% Fibra Cruda
Inicio de Fermentación (IF)	18,61
Final de fermentación (FF)	16,78
Final de secado (FS)	12,60
Tostado Final (TF)	5,16
Producto Final – Pasta (PF)	5,15

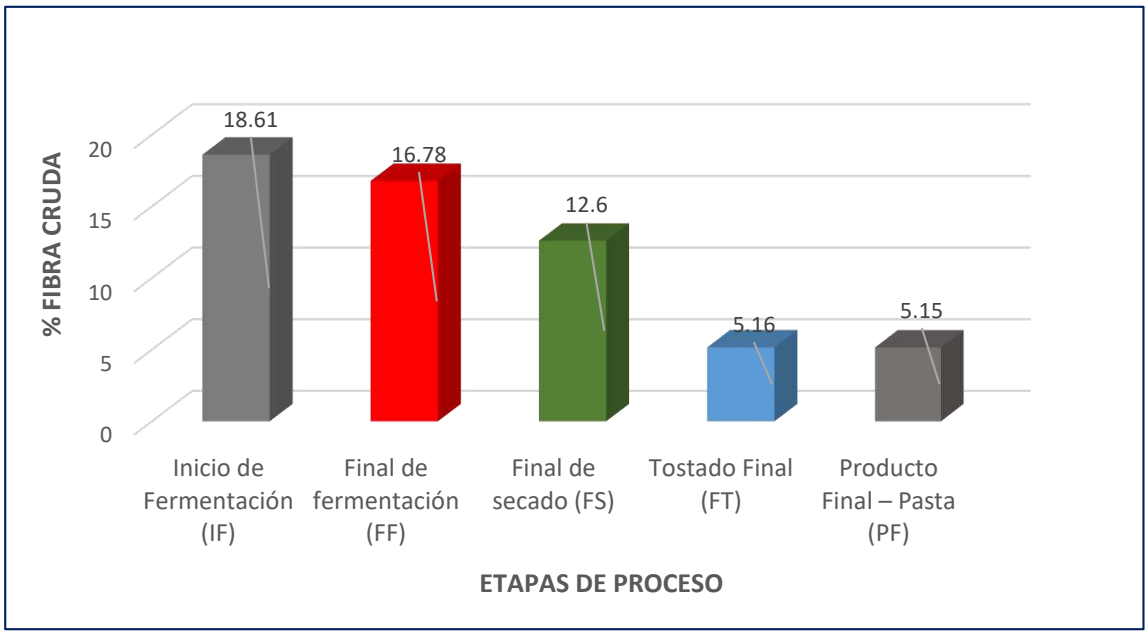


Figura 12
Variación del contenido de fibra cruda en cinco etapas del proceso de elaboración de la pasta de macambo.

En la figura 12, el contenido de fibra cruda del macambo presentó una disminución progresiva a lo largo del proceso de transformación, pasando de 18,61 % al inicio de la fermentación a 5,15 % en la pasta final. Esta tendencia está relacionada con los cambios estructurales y bioquímicos que ocurren en los componentes de la pared celular (celulosa, hemicelulosa y pectinas) durante las distintas etapas de procesamiento.

Durante la fermentación, la reducción observada (de 18,61 % a 16,78 %) se explica por la actividad enzimática microbiana, principalmente de levaduras y bacterias lácticas y acéticas, que secretan enzimas hidrolíticas (celulasas, hemicelulasas y pectinasas) capaces de degradar los polímeros estructurales de la pared celular. Este fenómeno ha sido reportado en fermentaciones de cacao, donde la acción microbiana promueve la descomposición parcial de la materia fibrosa y la liberación de compuestos solubles (Campos et al., 2025).

En la etapa de secado, el contenido de fibra disminuye hasta 12,60 %, debido a la desnaturalización térmica y la pérdida de componentes solubles, como azúcares y compuestos nitrogenados, que reducen proporcionalmente la fracción de fibra insoluble (Millena et al., 2023). Además, el calor facilita la ruptura de enlaces glicosídicos y la transformación parcial de la celulosa en compuestos más simples.

Posteriormente, durante el tostado, la fibra se reduce drásticamente a 5,16 % como resultado de la degradación térmica de los polisacáridos estructurales y la

carbonización parcial de las fracciones fibrosas. La exposición a temperaturas elevadas (superiores a 120 °C) induce reacciones de pirólisis, oxidación y caramelización, que alteran la matriz fibrosa y disminuyen su proporción en el producto (Calvo et al., 2025).

Finalmente, en el producto final (pasta de macambo), la fibra alcanza 5,15 %, manteniéndose estable respecto al tostado, debido a que la molienda provoca la disgregación total de la estructura celular, reduciendo la fibra a partículas finas sin cambios significativos en su cantidad.

1.4.5. Ceniza

La figura 13, ilustra el comportamiento del porcentaje de cenizas que se evaluó en la etapa de fermentación (inicio y final), final de secado, tostado y producto final (pasta), donde se observa el aumento progresivo en mínimas cantidades desde un 3,05 % hasta 3,13 %.

Los valores obtenidos se encuentran dentro de los valores esperados.

Tabla 14

Análisis químico de las semillas de macambo en cinco etapas del proceso

Etapas de Proceso	% Ceniza
Inicio de Fermentación (IF)	3,05
Final de fermentación (FF)	3,06
Final de secado (FS)	3,08
Tostado Final (TF)	3,11
Producto Final – Pasta (PF)	3,13

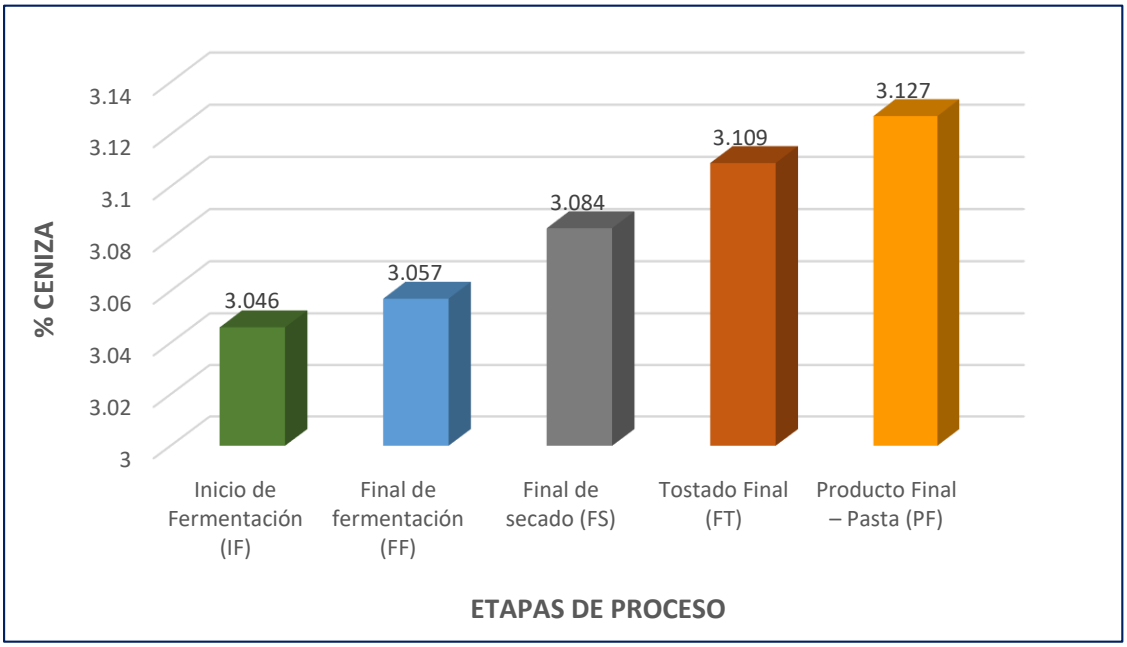


Figura 13

Variación del contenido de ceniza en cinco etapas del proceso de elaboración de la pasta de macambo.

En la figura 14, se muestra el contenido de ceniza en las semillas de macambo quien presentó una ligera tendencia ascendente a lo largo del proceso de transformación, pasando de 3,05 % al inicio de la fermentación a 3,13 % en el producto final (pasta). Esta variación está asociada a los cambios en la concentración mineral que ocurren durante las distintas etapas de procesamiento, producto de la pérdida de humedad y materia orgánica.

Durante la fermentación, el contenido de ceniza se mantuvo prácticamente constante (3,05–3,06 %), lo cual indica que las transformaciones microbianas afectaron principalmente los compuestos orgánicos —como azúcares y proteínas—, sin producir pérdidas significativas de minerales (Campos et al., 2025). Este comportamiento es característico de fermentaciones controladas donde la masa mantiene un equilibrio hídrico adecuado.

En la etapa de secado, se observó un ligero incremento (3,08 %), explicado por la reducción del contenido de agua y la concentración de sólidos minerales en la semilla. A medida que la humedad disminuye, los minerales (como potasio, calcio, magnesio y fósforo) se concentran, incrementando proporcionalmente el porcentaje de ceniza (Millena et al., 2023).

Posteriormente, en el tostado, el contenido aumentó a 3,11 %, debido a la degradación térmica de compuestos orgánicos y a la carbonización parcial de la materia vegetal, que deja una fracción mineral más concentrada. Este efecto se ha reportado también en el cacao, donde el tratamiento térmico incrementa el contenido de cenizas por la volatilización de compuestos orgánicos no minerales (Calvo et al., 2025).

1.4.6. Azúcares totales

1.4.6.1. Curva patrón de Glucosa

Tabla 15

Concentración real de glucosa en los tubos en microgramos y su lectura en absorbancia.

Tubo	Concentración (ppm)	Absorbancia
1	0,00	0,000
2	10,00	0,083
3	20,00	0,144
4	40,00	0,268
5	60,00	0,428
6	80,00	0,544
7	100,00	0,642

Con estos datos se procedió a graficar la absorbancia vs la concentración de glucosa en Excel.

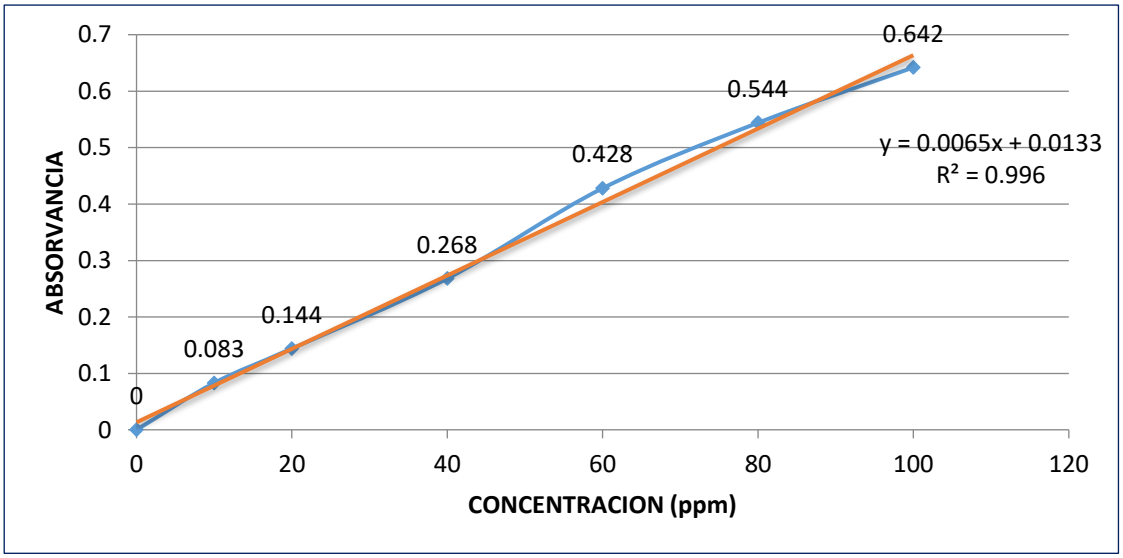


Figura 14
Absorbancia vs la Concentración de Glucosa del patrón

La Figura 14, muestra la curva del patrón glucosa, cuyo coeficiente de determinación (R^2) a través de una regresión lineal, nos permite observar que la recta este ajustada y que existe relación casi perfecta entre las variables, pudiendo continuar con el siguiente paso de la determinación de azúcares totales de las muestras en sí.

Tabla 16
Análisis químico de las semillas de macambo en cinco etapas del proceso

Etapas de Proceso	% Azucares Totales
Inicio de Fermentación (IF)	0,408
Final de fermentación (FF)	0,510
Final de secado (FS)	0,602
Tostado Final (TF)	0,703
Producto Final – Pasta (PF)	0,740

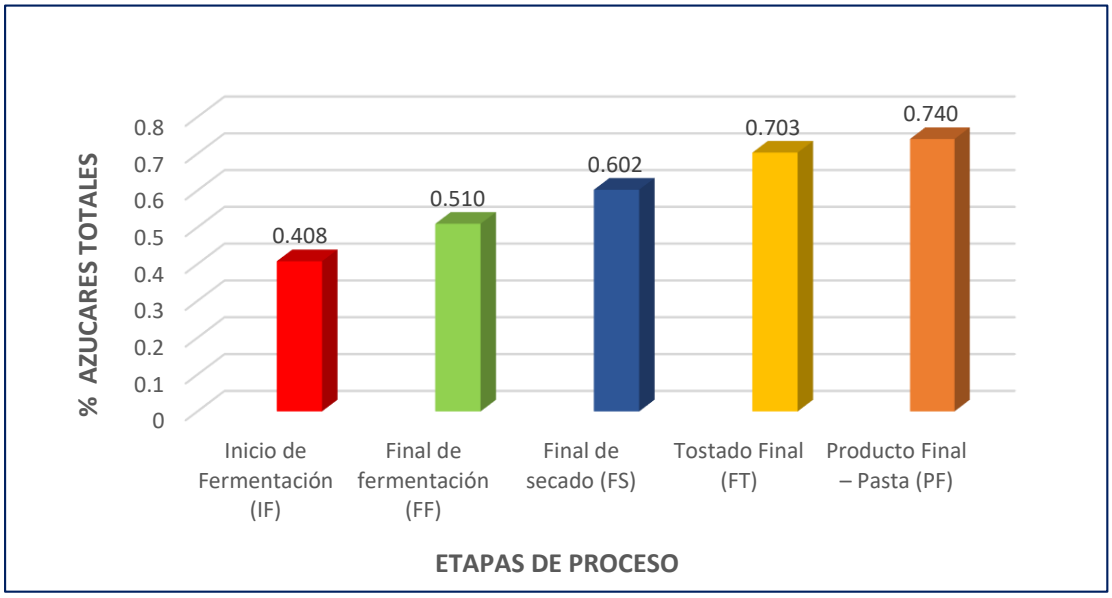


Figura 15
Variación del contenido de azucares totales en cinco etapas del proceso de elaboración de la pasta de macambo.

La figura 15, El contenido de azúcares totales en el macambo mostró un incremento progresivo desde el inicio de la fermentación (0,408 %) hasta el producto final (0,740 %). Este comportamiento se debe a los cambios bioquímicos y térmicos que ocurren durante el procesamiento.

Durante la fermentación, el aumento se explica por la acción enzimática de microorganismos (levaduras y bacterias lácticas) que degradan los polisacáridos estructurales del cotiledón, liberando azúcares simples como glucosa y fructosa. Esta transformación es típica en fermentaciones controladas, donde las enzimas microbianas convierten parte de la materia orgánica en compuestos solubles.

En el secado, el incremento de azúcares se debe principalmente a la concentración de sólidos solubles por la pérdida de humedad. A su vez, el calor moderado favorece la ruptura de enlaces glicosídicos, aumentando la disponibilidad de azúcares reductores.

Durante el tostado, el contenido de azúcares continúa elevándose por la caramelización y reacciones de Maillard, procesos que no solo aumentan el nivel de azúcares libres, sino que también contribuyen al desarrollo del color, sabor y aroma característicos del macambo tostado.

Finalmente, en la pasta de macambo, los azúcares se estabilizan, reflejando la acumulación de azúcares simples generados a lo largo del proceso y manteniendo su importancia en las propiedades sensoriales y energéticas del producto final.

En conclusión, el aumento de los azúcares totales demuestra que el procesamiento del macambo, especialmente la fermentación y el tostado, promueve la formación y concentración de azúcares simples, esenciales para la calidad sensorial y el valor nutricional de la pasta final.

1.4.7. Polifenoles totales

1.4.7.1. Curva patrón de taninos:

Tabla 17

Concentración real de ácido tánico en los tubos en microgramos y su lectura en absorbancia.

Tubo	Concentración (ppm)	Absorbancia
1	0	0
2	10	0,036
3	25	0,081
4	50	0,165
5	100	0,324
6	200	0,664

Con estos datos se procedió a graficar la absorbancia vs la concentración de ácido tánico en Excel

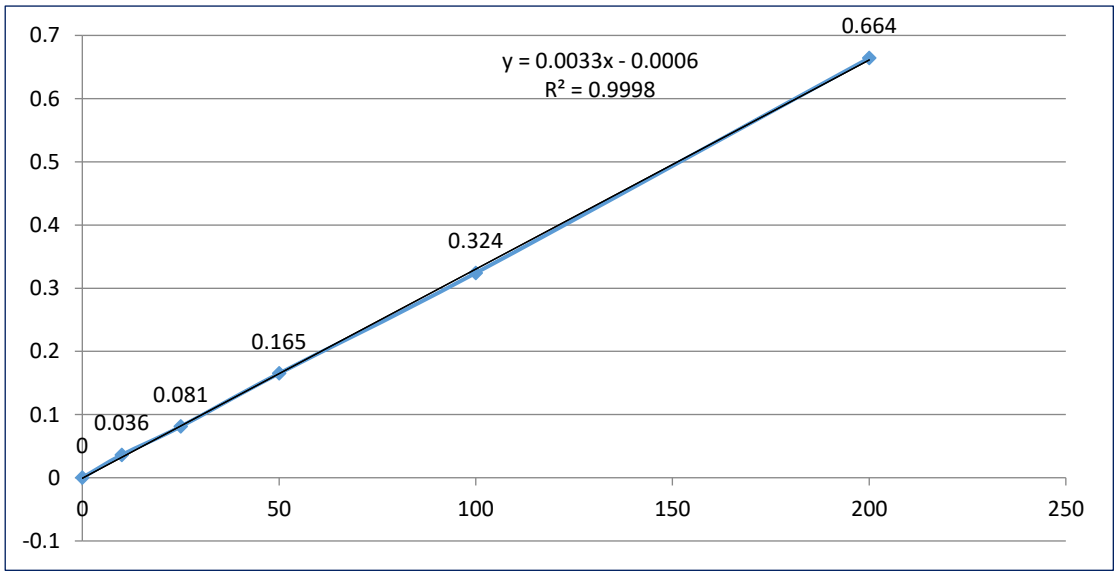


Figura 16
Absorbancia vs la Concentración de Ácido tánico del patrón

La figura 16, muestra la curva del patrón de ácido tánico, cuyo coeficiente de determinación (R^2) a través de una regresión lineal, nos permite observar que la recta está ajustada y que existe relación casi perfecta entre las variables, pudiendo continuar con el siguiente paso de la determinación de polifenoles totales de las muestras en sí.

Tabla 18
Análisis químico de las semillas de macambo en cinco etapas del proceso

Etapas de Proceso	% Polifenoles Totales
Inicio de Fermentación (IF)	2,283
Final de fermentación (FF)	2,220
Final de secado (FS)	3,495
Tostado Final (TF)	2,284
Producto Final – Pasta (PF)	2,142

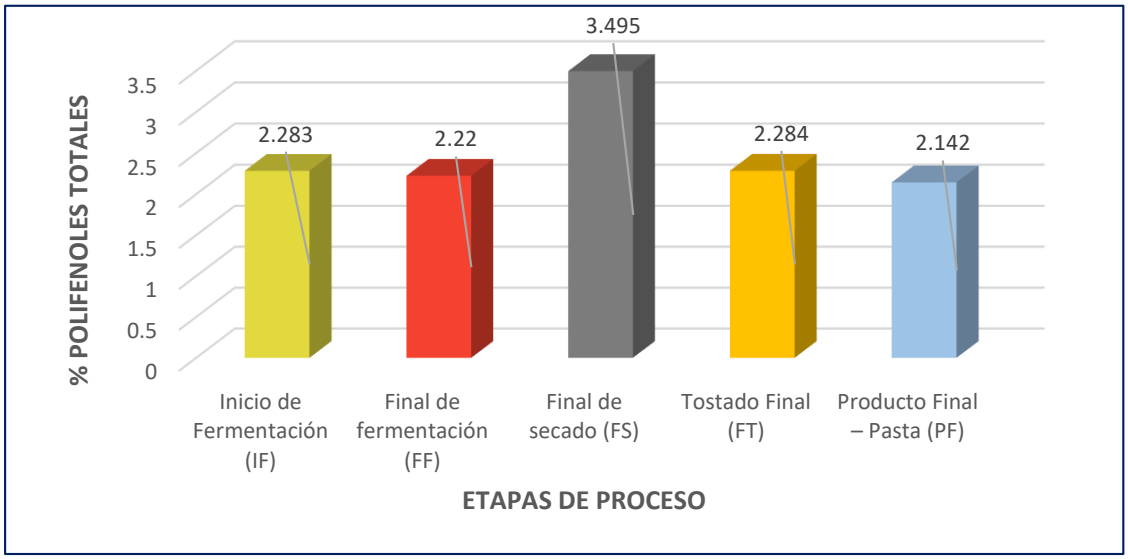


Figura 17
Variación del contenido de polifenoles totales en cinco etapas del proceso de elaboración de la pasta de macambo.

La Figura 17, muestra el contenido de polifenoles totales en las semillas de macambo presentó variaciones significativas a lo largo del proceso de transformación, iniciando con 2,283 % al comienzo de la fermentación, disminuyendo ligeramente al final de la fermentación (2,220 %), incrementándose notablemente en el secado (3,495 %), y reduciéndose nuevamente durante el tostado (2,284 %) y en la pasta final (2,142 %).

Durante la fermentación, la leve disminución de los polifenoles se atribuye a la oxidación enzimática de compuestos fenólicos, catalizada principalmente por polifenol oxidasa y peroxidasa, enzimas activadas por la ruptura de las células del cotiledón. Estas enzimas transforman los polifenoles en quinonas, que posteriormente se polimerizan en pigmentos marrones, reduciendo su concentración (Campos et al., 2025). Este proceso también contribuye al color característico del macambo fermentado.

El marcado incremento en la etapa de secado (3,495 %) se explica por la reducción del contenido de humedad, que concentra los sólidos totales, incluyendo los compuestos fenólicos. Además, el calor moderado del secado puede favorecer la liberación de polifenoles ligados a la matriz celular, aumentando su detectabilidad en el análisis (Millena et al., 2023). Además, las oxidaciones no enzimáticas de los polifenoles, como lo establecieron Chacón *et al.* (2021), quienes encontraron una disminución de 50% del contenido de (-) Epicatequina, cuya pérdida de estos polifenoles se evidencia en la disminución de la astringencia y el sabor amargo del chocolate.

Durante el tostado, el contenido de polifenoles desciende nuevamente debido a la degradación térmica y oxidación no enzimática de los compuestos fenólicos. A temperaturas cercanas a 120–150 °C, muchos polifenoles son sensibles al calor y se transforman en productos de reacción de Maillard o se volatilizan (Calvo et al., 2025). Asi mismo a medida que aumenta el tiempo de tostado, la concentración de polifenoles disminuye. Los resultados de disminución de polifenoles a mayor temperatura coinciden con lo descrito por Urbańska & Kowalska, (2019), quienes, atribuyen la pérdida de polifenoles por el efecto de la temperatura, debido a que ocurren reacciones de oxidación en los compuestos fenólicos, se polimerizan y forman compuestos insolubles de alto peso molecular

Finalmente, en la pasta de macambo, los polifenoles totales alcanzan 2,142 %, mostrando que, aunque parte de los compuestos fenólicos se degradan por efecto térmico, una fracción importante se conserva, lo que garantiza que la pasta mantenga actividad antioxidante y valor funcional.

En conjunto, estos resultados evidencian que el contenido de polifenoles totales está fuertemente influenciado por los procesos de oxidación, secado y tratamiento térmico, siendo el secado una etapa crítica para su concentración y el tostado la principal causa de su degradación parcial.

Santacruz y Mantuano (2021), menciona en consecuencia, el chocolate con alto contenido de cacao debería ser rico en polifenoles se sabe sin embargo que los polifenoles se degradan con el procesamiento, por lo que un chocolate con alto contenido de cacao no garantiza un elevado contenido de polifenoles.

1.5. Análisis microbiológico de la pasta de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.)

Los resultados obtenidos en el análisis microbiológico de cada una de las muestras se encuentran en la tabla 19, evidenciándose que los valores obtenidos se encuentran dentro el rango establecido por la norma ISO-6579-2002- /COR 1:2004.

Tabla 19

Resultados de análisis microbiológico de la muestra de licor de macambo

Salmonella sp en 25 g	OBSERVACIONES
Ausencia/25 g	Apto
Nota, <100; Es el límite inferior de detección del método.	

La ausencia de *Salmonella* sp. en 25 g de muestra evidencia que el producto obtenido es microbiológicamente seguro y apto para el consumo humano, cumpliendo con los estándares establecidos por el Codex Alimentarius (2025) y la normativa sanitaria peruana (DIGESA, 2022).

Este resultado se explica por la eficiencia del proceso térmico aplicado durante la elaboración del macambo, particularmente en las etapas de fermentación controlada a 50 °C, secado y tostado, donde las temperaturas alcanzadas son suficientes para inactivar microorganismos patógenos como *Salmonella* spp. Además, la reducción de la actividad de agua (a_w) y el bajo contenido de humedad del producto final limitan el crecimiento y la supervivencia bacteriana.

Asimismo, la ausencia del patógeno refleja la adecuada implementación de buenas prácticas de higiene, manipulación y control microbiológico durante todo el proceso, evitando contaminaciones cruzadas.

En conjunto, la no detección de *Salmonella* sp. (<100, límite inferior de detección del método) confirma que el tratamiento térmico y las condiciones higiénicas aplicadas fueron efectivas para garantizar la inocuidad del producto final, asegurando su calidad sanitaria y estabilidad microbiológica.

1.6. Análisis sensorial de la pasta de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.)

1.6.1. Perfil sensorial

Antes de la degustación, las muestras fueron codificadas y calentadas en baño maría a 40 o C. Posteriormente, cada miembro del panel procedió a la degustación de la muestra, colocando una pequeña porción de pasta en la región central de la lengua. En un lapso de menos de 20 segundos, se identificaron tres tipos de sabores. Estos son detectados tanto por las papilas gustativas de la lengua como por las paredes de la boca, y se detallan a continuación:

1.6.1.1. Los Sabores

Característico, Cacao, acidez, amargor y astringencia (considerados básicos).

El floral, frutal y nuez, café (considerados sabores específicos). Existen otros tipos de sabores, tales como el verde/crudo, moho y químico, que frecuentemente se manifiestan debido a deficiencias en el beneficio y tostado de las almendras.

La evaluación sensorial se llevó a cabo con el objetivo de determinar la preferencia hacia la pasta de macambo, calculando los valores medios obtenidos para cada atributo (olor, color y sabor). Posteriormente, los puntajes asignados fueron procesados estadísticamente mediante el Análisis de Varianza.

Se evaluó la preferencia de los panelistas en función de los diferentes tratamientos que constan de temperaturas y tiempos utilizando una escala hedónica de 9 puntos (1 a 9) de menor a mayor preferencia, donde se puede observar en el Anexo 5.

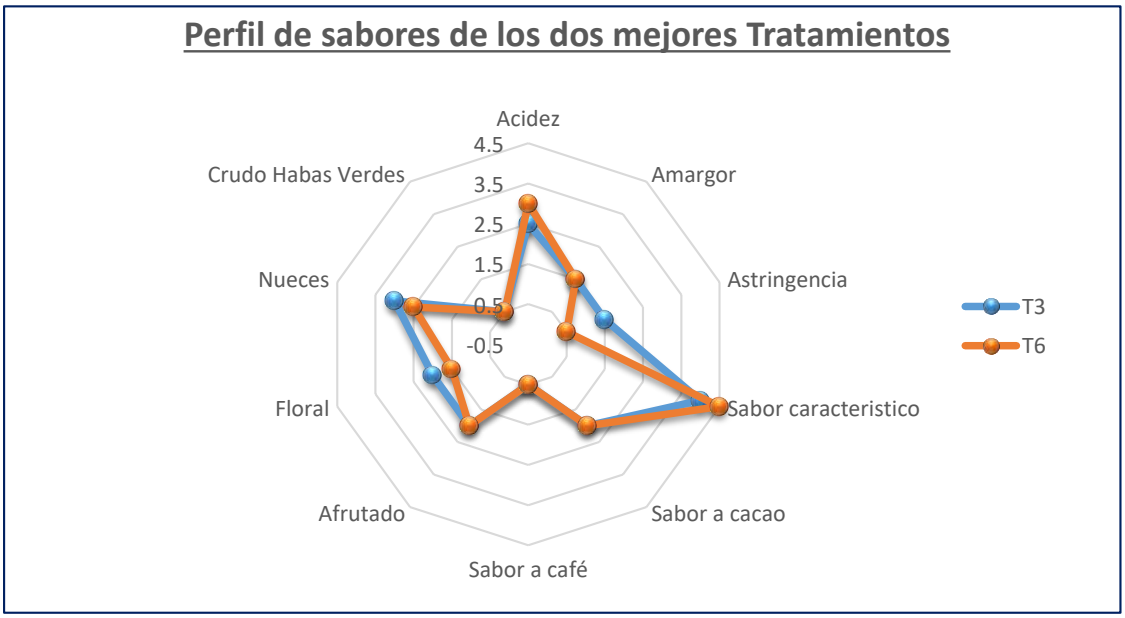


Figura 18
Resumen del perfil sensorial de la pasta de macambo

La figura 18, muestra un alto nivel en sabor característico en ambos tratamientos, pues el macambo es un fruto que posee características particulares muy penetrantes, que hace que siempre vaya a resaltar principalmente ello. Para las características sensoriales de café y habas verdes, se anotaron los valores más bajos, indicando que éstos son percibidos mínimamente.

Con estos resultados del perfil sensorial se demuestra que durante el proceso de elaboración de la pasta de macambo existen varias etapas para lo cual se logra desarrollar las características sensoriales, y no necesariamente es la fermentación aquel que logra el desarrollo de aromas y sabores, sino que es el tostado aquel que logra incrementar aún más las características sensoriales. Es por ello que los tratamientos **T3** a una temperatura de 130°C y tiempo de 35 minutos de tostado y **T6** a una temperatura de 140°C y tiempo de 35 minutos de tostado, obtuvieron mejores resultados en aroma, color y sabor. Es por ello que en esta prueba sensorial en el licor de macambo nos ofrece un panorama previo de algunas características sensoriales parecidas a la del cacao (familia del macambo) incluso pudiendo encontrar otras características particulares más; todo ello haciendo razonable la presencia de ello cuando se realiza tratamientos a altas temperaturas.

1.6.2. Análisis Sensorial

4.6.2.1. Olor

Tabla 20
Análisis de Varianza (ANOVA) para el atributo Olor

F.V.	Suma de cuadrados (S.C.)	Grados de libertad (G.L.)	Media cuadrática	F	Significancia p-valor
Tratamientos	2,37	8	0,30	13,81	< 0,0001 **
Error	0,39	18	0,02		
Total	2,76	26			
R2 =86%		C.V.= 2,68	N= 27		

(**) Altamente significativo

En la tabla 20 se muestra el análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) entre los tratamientos evaluados para el atributo sensorial **olor** de la pasta de macambo, con un valor de $F = 13,81$. Este resultado indica que las condiciones de procesamiento aplicadas (como las etapas de fermentación, secado, tostado y conchado) influyeron de manera directa sobre la percepción del olor en el producto final.

El elevado coeficiente de determinación ($R^2 = 86$ %) demuestra que los tratamientos explican gran parte de la variación observada en la respuesta sensorial, mientras que

el bajo coeficiente de variación (C.V. = 2,68 %) evidencia una alta precisión experimental y homogeneidad en las valoraciones realizadas por el panel sensorial.

Desde el punto de vista científico, las diferencias significativas en el olor pueden atribuirse a la formación y liberación de compuestos volátiles durante el proceso de fermentación y tostado, etapas en las que se generan alcoholes, aldehídos, ácidos y ésteres que determinan el perfil aromático característico del macambo. Según Beckett (2019) , en productos similares como el cacao, estas transformaciones químicas contribuyen al desarrollo de notas aromáticas agradables asociadas a reacciones de Maillard y oxidaciones enzimáticas

Tabla 21
Prueba de Tukey al 1 % para los promedios de los tratamientos en el atributo olor

Tratamientos	Medias	N	E.E	Tukey (pV =0.01)		
				a	b	c
T6	6,10	3	0,08	a		
T4	5,83	3	0,08	a	b	
T7	5,57	3	0,08		b	c
T5	5,37	3	0,08		b	c
T1	5,33	3	0,08		b	c
T2	5,33	3	0,08		b	c
T8	5,33	3	0,08		b	c
T3	5,20	3	0,08			c
T9	5,13	3	0,08			c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,01)

Los resultados obtenidos muestran diferencias significativas entre los tratamientos evaluados para el atributo olor ($F = 13,81$; $p < 0,0001$), confirmadas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,01$). El tratamiento T6 obtuvo la puntuación más alta (6,10) y se ubicó en el grupo “a”, seguido de T4 (5,83, grupo “a–b”), mientras que tratamientos como T3 y T9 presentaron las puntuaciones más bajas (5,20 y 5,13, grupo “c”). Esto indica que los tratamientos influyen directamente en la percepción sensorial del olor de la pasta de macambo.

La superioridad de T6 y T4 puede explicarse por las condiciones de procesamiento aplicadas, que probablemente favorecieron la formación de compuestos aromáticos volátiles durante la fermentación y el tostado. Estos compuestos, como aldehídos, alcoholes y ésteres, son responsables de las notas aromáticas características del producto. Por el contrario, los tratamientos con menor puntuación (T3 y T9) habrían desarrollado un perfil aromático menos intenso, posiblemente debido a un menor grado de fermentación, tostado inadecuado o diferencias en la manipulación de la semilla.

Desde un enfoque científico, el desarrollo del olor en la pasta de macambo se relaciona con procesos enzimáticos y reacciones de Maillard que ocurren durante el tostado, así

como con la actividad microbiana en la fermentación, que generan precursores de aroma. La presencia de estos compuestos se refleja en la alta aceptación de ciertos tratamientos frente a otros (Beckett, 2019; Cros et al., 2020).

En conclusión, los resultados indican que las condiciones de los tratamientos afectan significativamente la calidad sensorial del olor de la pasta de macambo, siendo T6 el más destacado. Esto sugiere que optimizar las etapas de fermentación y tostado permite potenciar la expresión aromática, contribuyendo a un producto final más atractivo para el consumidor.

4.6.2.2. Color

Tabla 22

Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo color

F.V.	Suma de cuadrados (S.C.)	Grados de libertad (G.L.)	Media cuadrática	F	Significancia p-valor
Tratamientos	1,91	8	0,24	14,68	< 0,0001 **
Error	0,29	18	0,02		
Total	2,21	26			
R2 =87 %		C.V.= 2,39		N= 27	

(**) Altamente significativo

En la tabla 22 se muestra el análisis de varianza (ANOVA) reveló diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados para el atributo color de la pasta de macambo ($F = 14,68$; $p < 0,0001$). Esto indica que las variaciones observadas en la tonalidad de la pasta no se deben al azar, sino a los efectos de los tratamientos aplicados durante el procesamiento.

El elevado coeficiente de determinación ($R^2 = 87$ %) evidencia que la mayoría de la variabilidad en la percepción del color se explica por los tratamientos, mientras que el bajo coeficiente de variación (C.V. = 2,39 %) refleja consistencia y precisión en las mediciones realizadas por el panel sensorial.

Desde un enfoque químico y físico, las diferencias observadas en el color se atribuyen a los cambios ocurridos durante la fermentación y el tostado. Durante la fermentación, la actividad microbiana genera transformaciones en los precursores fenólicos, mientras que el tostado provoca reacciones de Maillard y oxidaciones enzimáticas, que producen melanoidinas y otros compuestos responsables de la coloración marrón característica de la pasta de macambo (Afoakwa, 2016; Beckett, 2019).

En consecuencia, los resultados muestran que los tratamientos aplicados ejercen un efecto significativo sobre el color de la pasta, indicando que la optimización de las etapas de fermentación y tostado es clave para obtener un producto con **color uniforme, intenso y atractivo visualmente** para el consumidor.

Tabla 23
Prueba de Tukey al 1 % para los promedios de los tratamientos en el atributo color

Tratamientos	Medias	n	E.E	Tukey (pV =0.01)		
				a	b	c
T3	5,80	3	0,07	a		
T1	5,67	3	0,07	a	b	
T4	5,67	3	0,07	a	b	
T6	5,33	3	0,07		b	c
T8	5,13	3	0,07			c
T9	5,13	3	0,07			c
T7	5,13	3	0,07			c
T5	5,13	3	0,07			c
T2	5,13	3	0,07			c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,01)

La prueba de Tukey (p ≤ 0,01) evidenció que los tratamientos T3, T1 y T4 presentaron los colores más atractivos y homogéneos, ubicándose en los grupos “a” y “a–b”. En particular, el tratamiento T3, con una media de 5,80, se posicionó como el mejor tratamiento en términos de color, mostrando la tonalidad más intensa y agradable según la evaluación del panel sensorial.

Estas diferencias se explican por las transformaciones químicas y físicas que ocurren durante la fermentación y el tostado. La fermentación permite la modificación de precursores fenólicos, mientras que el tostado genera reacciones de Maillard y oxidaciones enzimáticas, que producen melanoidinas y otros compuestos responsables de la tonalidad marrón característica de la pasta de macambo (Beckett, 2019; Cros et al., 2020).

En conclusión, los resultados demuestran que los tratamientos ejercen un efecto significativo sobre el color, siendo T3 el tratamiento óptimo, ya que permite obtener un producto con color uniforme, intenso y atractivo, lo que contribuye a una mayor aceptación sensorial y calidad del producto final.

4.6.2.3. Sabor

Tabla 24
Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo sabor

F.V.	Suma de cuadrados (S.C.)	Grados de libertad (G.L.)	Media cuadrática	F	Significancia p-valor
Tratamientos	1,56	8	0,20	6,85	< 0,0004 **
Error	0,51	18	0,03		
Total	2,08	26			
R2 =75 %		C.V. = 3,00		N=27	

(**) Altamente significativo

El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos para el atributo sensorial sabor de la pasta de macambo (F = 6,85; p < 0,0004), indicando que las variaciones observadas se deben al efecto de los

tratamientos aplicados y no al azar. El coeficiente de determinación (R^2 = 75 %) evidencia que la mayoría de la variabilidad en la percepción del sabor se explica por los tratamientos, mientras que el coeficiente de variación (C.V. = 3,00 %) refleja la consistencia y precisión de las evaluaciones realizadas por el panel sensorial.

Las diferencias en el sabor pueden atribuirse a las transformaciones químicas ocurridas durante las etapas de fermentación, secado, tostado y conchado. Durante la fermentación, los microorganismos generan compuestos volátiles y precursores que contribuyen al desarrollo de notas dulces, ácidas y amargas. Posteriormente, el tostado y conchado promueven reacciones de Maillard y oxidaciones lipídicas, que producen compuestos aromáticos y sabores característicos, mejorando la complejidad sensorial del producto (Beckett, 2019; Cros et al., 2020).

En consecuencia, los resultados demuestran que los tratamientos ejercen un efecto significativo sobre el sabor de la pasta de macambo, confirmando que la optimización de las condiciones de fermentación, tostado y conchado es fundamental para obtener un producto con sabor uniforme, agradable y aceptable para el consumidor.

Tabla 25

Prueba de Tukey al 1 % para los promedios de los tratamientos en el atributo sabor

Tratamientos	Medias	N	E.E	Tukey (pV =0.01)	
				a	b
T3	6,03	3	0,10	a	
T8	5,87	3	0,10	a	b
T6	5,87	3	0,10	a	b
T1	5,67	3	0,10	a	b
T2	5,63	3	0,10	a	b
T4	5,53	3	0,10	a	b
T9	5,43	3	0,10		b
T5	5,33	3	0,10		b
T7	5,30	3	0,10		b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,01)

La prueba de Tukey (p ≤ 0,01) reveló que los tratamientos **T3, T8, T6, T1, T2 y T4** conforman el grupo “a” y “a–b”, mostrando los sabores más aceptables y equilibrados según el panel sensorial. En particular, **el tratamiento T3**, con una media de **6,03**, se posiciona como el **mejor tratamiento** en términos de sabor, evidenciando la mayor aceptación por parte de los evaluadores. Por el contrario, los tratamientos **T9, T5 y T7** pertenecen al grupo “b”, indicando un sabor menos preferido.

Estas diferencias pueden explicarse por las **transformaciones químicas y bioquímicas** que ocurren durante la fermentación, tostado y conchado. La fermentación activa la producción de compuestos volátiles y precursores que contribuyen a notas dulces, ácidas y amargas, mientras que el tostado y conchado favorecen **reacciones de Maillard y oxidaciones lipídicas**, responsables de la

complejidad aromática y del sabor característico de la pasta de macambo (Cros et al., 2020).

En consecuencia, los resultados demuestran que los tratamientos ejercen un **efecto significativo sobre el sabor**, siendo **T3 el tratamiento óptimo**, ya que permite obtener un producto con **sabor agradable, equilibrado y aceptable para el consumidor**, lo que contribuye directamente a la calidad sensorial de la pasta de macambo.

1.7. Análisis fisicoquímico de la manteca de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.)

La manteca de macambo *(Theobroma bicolor)*, fue extraída mediante calentamiento a 100°C en una estufa y prensada manualmente con una tela fina, este a su vez ha sido filtrada con papel Whatman # 1 en un matraz.

Se ha realizado los análisis físicos químicos básicos de la manteca de macambo, para determinar su calidad.

Tabla 26
Resultados físico químicos de la manteca de macambo (Theobroma bicolor).

Producto	Índice de peróxidos	Índice de acidez	Índice de saponificación	Índice de Iodo
Manteca (*Theobroma bicolor)*	89,44 meq O_2/kg	6,79 KOH/g	171,96 mg KOH/ g	33,35 g yodo/ 100 g

Respecto a la caracterización de la manteca de macambo se puede observar un índice de acidez de 6,79 mg de KOH/g de manteca, este índice de acidez es un indicador del contenido de ácidos grasos libres en el aceite, donde según Panreac Química S.A. (1999) citado por López (2020), establece que los valores de índice de acidez en un vegetal tomando como muestra representativa 5 g es de 4 – 14 mg de KOH/g de muestra, observando que el resultado obtenido se encuentra dentro de este rango. Este dato químico se refleja en la calidad de la manteca, describiendo así el el pre – envejecimiento. Si su valor es demasiado bajo, indica que el aceite está degradado, de lo contrario si su valor es demasiado alto, por lo general presenta un color más oscuro, indicador de un alto grado de oxidación o enranciamiento. La oxidación de aceites y Grasas se ve facilitada por un suministro de oxígeno y por la presencia de calor, la luz y catalizadores metálicos (por ejemplo, cobre y hierro), además se puede ver afectada por la duración del almacenamiento y por las condiciones en que se produce.

El índice de peróxidos obtenido es de 89,44 meq O_2/kg de manteca, dato que según Panreac Química S.A. (1999) citado por López (2020), se encuentra en el rango de 50 – 90 meq O_2/ kg, a partir de 0,5 g de muestra de manteca, este valor es un buen

indicador de la calidad de la manteca ya que valores por encima de este representan una mayor susceptibilidad a la oxidación, provocando entre otras cosas, un cambio en las propiedades organolépticas del mismo, es decir, un cambio en su sabor.

La absorción del oxígeno atmosférico por la manteca, y consecuentemente, el enranciamiento de la manteca, se ve acelerada por diversos factores, incluyendo la luz (radiación ultravioleta), la presencia de radicales, las enzimas lipoxigenasas y la temperatura; estos factores propician el enranciamiento. En contraposición, un aceite con alto contenido de antioxidantes presenta una velocidad de enranciamiento inferior en comparación con otro aceite con bajo contenido de antioxidantes. Los tocoferoles son los antioxidantes más comunes presentes en los aceites.

Como ya se ha indicado, el proceso se da por la reacción del oxígeno con el doble enlace del ácido graso, como los que tienen mayor concentración de ácidos grasos poliinsaturados (ácido linolénico); por eso aquellos aceites y Grasas con elevado contenido en Grasas saturadas, como el ácido palmítico, no se ven afectados por este fenómeno. (López, 2020)

El contenido de índice de saponificación es 171,96 mg KOH/ g manteca, indicador de pureza de las Grasas, y en comparación con la manteca de cacao que es de 193.80 según López (2020), se encuentra en un promedio considerable. Este procedimiento químico también se emplea como un indicador de cuantificación de la composición y calidad de los ácidos grasos presentes en aceites y grasas de origen animal o vegetal. Este análisis se conoce también como Índice de saponificación, un método de medición empleado para determinar el peso molecular medio de todos los ácidos grasos presentes. Este parámetro se emplea igualmente para establecer el porcentaje de materias insaponificables presentes en los cuerpos grasos, en el proceso de fabricación de jabones.

El índice de saponificación permite evaluó la calidad de la manteca de cacao al proporcionar información sobre su composición química. Variaciones en este índice de saponificación pueden indicar adulteración o deterioro de la Grasa. (López,2020).

El índice de yodo posee un valor de 33,35 g yodo/ 100 g de manteca, donde según Panreac Química, S.A. (1999) citado por López (2020), establece que los valores de índice de iodo en un vegetal tomando como muestra representativa 0,4 g es de 21 – 50 g de yodo/ 100g de muestra, observando que el resultado obtenido se encuentra dentro de este rango, lo que nos indica que tiene dobles enlaces necesarios para ser una manteca insaturada, pues según Mejía 2012, el índice de yodo es una medida de las instauraciones presentes en los ácidos grasos que conforman un triglicérido (dobles

enlaces), se realiza para comprobar la pureza y la identidad de las Grasas, clasificándolos según valor de resultado en secantes, semi secantes y no secantes, además es una medida de saber la relación entre el grado de insaturación y el grado de enranciamiento, puesto que los glicéridos de ácidos grasos con 2 o 3 dobles enlaces son más sensibles a la oxidación (Beckett 2019).

1.7.1. Rendimiento

4.7.1.1. Pasta

Se realizó un balance de masa de la pasta de macambo, teniendo como base 50 Kg de semillas de macambo despulpadas, usando mermas por etapas relevantes durante el proceso. Los cálculos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 27
Rendimiento de la pasta de macambo

Etapa	Masa entrada (kg)	Merma (%)	Rendimiento etapa (%)	Masa salida (kg)	Rendimiento acumulado (%)
Fermentación	50	35,00	65,000	32,5	65,000
Secado hasta 7 % H.	32,5	55,00	45,000	14,625	29,250
Selección y clasificación	14,625	1,50	98,500	14,405625	28,811
Tostado	14,405625	5,00	95,000	13,685344	27,371
Quebrado y descascarillado	13,685344	12,00	88,000	12,043103	24,086
Molienda y conchado	12,043103	0,50	99,500	11,982887	23,966

Como puede observarse en la tabla 27, el procesamiento de 50 kg de semillas de macambo (*Theobroma bicolor*) permitió obtener finalmente *11,98 kg de pasta*, con un *rendimiento acumulado de 23,97 %.* Este resultado refleja las pérdidas progresivas que ocurren en cada etapa del proceso y que son propias del tratamiento poscosecha y transformación de granos.

Durante la *fermentación,* la merma fue del 35 %, obteniéndose un rendimiento del 65 %. Esta disminución se explica por la pérdida de pulpa y agua debido a la acción de microorganismos, lo cual favorece el desarrollo de compuestos aromáticos y la reducción de compuestos amargos, aspectos fundamentales para la calidad sensorial del producto final.

En la etapa de *secado*, el rendimiento se redujo a 45 %, como consecuencia de la eliminación del contenido de humedad hasta aproximadamente 7 %. Este proceso es esencial para evitar el crecimiento microbiano y asegurar la conservación de las semillas antes de las siguientes operaciones.

La *selección y clasificación* presentó una pérdida mínima del 1,5 %, correspondiente al descarte de semillas defectuosas o impurezas, lo que contribuye a la homogeneidad del material procesado. En el *tostado*, el rendimiento fue del 95 %, con una merma del 5 % originada por la evaporación de humedad residual y la pérdida de componentes volátiles que contribuyen al aroma característico del macambo.

Durante el *quebrado y descascarillado*, se registró una pérdida del 12 %, asociada a la eliminación de la cáscara, fracción no comestible que podría aprovecharse como subproducto para la obtención de harina rica en fibra o infusiones. Finalmente, en la *molienda y conchado*, se obtuvo un rendimiento del 99,5 %, con una pérdida mínima del 0,5 %, alcanzándose *11,98 kg de pasta de macambo*, producto de textura fina y alto contenido graso, apto para la obtención de manteca y torta en etapas posteriores.

4.7.1.2. Manteca

Se calculó el rendimiento en base a la cantidad de pasta que se obtuvo. Los cálculos se muestran en la tabla 28

Tabla 28
Rendimiento de la manteca de macambo

Flujo	Cantidad (kg)	% Manteca
Entrada		
Pasta de macambo	11,98	100,00%
Salida		
Manteca de macambo	6,74	56,26%
Torta (sólidos de macambo)	5,24	43,74%

En la tabla 28, el proceso de extracción de manteca de macambo a partir de 11,98 kg de pasta permitió obtener 6,74 kg de manteca y 5,24 kg de torta, lo que equivale a un rendimiento del 56,26 % y 43,74 %, respectivamente. Estos resultados demuestran que el macambo (*Theobroma bicolor*) posee un elevado contenido graso, comparable con el reportado para el cacao (*Theobroma cacao*), cuyo rendimiento en manteca se sitúa entre 50 y 55 % bajo condiciones controladas de extracción (Vera et al.,2024.).

El rendimiento obtenido evidencia la eficiencia del proceso y confirma que el macambo puede considerarse una fuente potencial de grasa vegetal de interés agroindustrial. La manteca de macambo presenta características fisicoquímicas y sensoriales similares a las de la manteca de cacao, lo que abre oportunidades para su aplicación en la elaboración de chocolates, coberturas, productos de repostería y cosméticos naturales.

Asimismo, la torta residual, que representa el 43,74 % de la masa inicial, constituye un subproducto con valor agregado, ya que conserva proteínas, fibra y otros compuestos bioactivos que podrían aprovecharse en la formulación de alimentos balanceados o

productos funcionales. Este aprovechamiento integral del fruto contribuye a la sostenibilidad del proceso y al desarrollo de cadenas productivas locales.

CONCLUSIONES

Los resultados experimentales obtenidos en esta investigación evidencian el alto potencial del macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.) como materia prima para la elaboración de pasta y manteca, constituyéndose en una alternativa agroindustrial viable y de valor agregado.

1. Se seleccionaron frutos de la variedad “enano”, reconocida por los pobladores por sus características físicas, recolectados en chacras del Centro Poblado Menor Estancia, distrito de Tabalosos, provincia de Lamas, departamento de San Martín.

2. En la evaluación sensorial, con nueve tratamientos (variación de temperatura y tiempo de tostado), se determinó que:

- El tratamiento T6 (140 °C / 35 min) obtuvo las mayores puntuaciones en aroma (6.10) y color (5.80).
- El tratamiento T3 (130 °C / 35 min) alcanzó la mejor calificación en sabor (6.03), con perfiles predominantes a nuez, frutas y cacao.
- Los demás tratamientos presentaron notas de sabor crudo o sobre-tostado.

3. La composición química proximal de la pasta de macambo fue: humedad 2.54 %, proteína 19.20 %, grasa bruta 56.30 %, fibra cruda 5.15 %, ceniza 3.13 %, azúcares totales 0.740 % y polifenoles totales 2.142 %.

4. La manteca de macambo presentó: índice de peróxido 89.44 meq O_2/kg (indicador de buena calidad), índice de acidez 6.79 KOH/g, índice de saponificación 171.96 mg KOH/g y valor de yodo 33.35 g/100 g, todos dentro de los rangos de referencia para grasas de calidad, lo que confirma su pureza y estabilidad.

5. Los análisis microbiológicos demostraron que tanto la pasta como la manteca cumplen con la NTS Nº071-MINSA/DIGESA-V.01 (RM Nº591-2008/MINSA) para productos deshidratados, garantizando un alimento inocuo y seguro para el consumo, respaldado por la aplicación de buenas prácticas de manufactura e higiene durante todo el proceso.

6. Se obtuvo un rendimiento de 11.98 kg que equivalen a un 23.96 % de pasta de macambo en relación a su peso inicial de semillas que fue de 30 kg, así mismo se obtuvo 6.74 kg de manteca que equivalen a un 56.30%.

RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos, se plantean las siguientes recomendaciones:

1. **Fomentar la elaboración y uso del macambo** (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.) para la producción de pasta y manteca como una alternativa agroindustrial de alto valor agregado, promoviendo su inclusión en planes de desarrollo productivo regional.

2. **Profundizar investigaciones técnicas** que evalúen metodologías alternativas en las etapas de despulpado y fermentación, considerando que las semillas presentan abundante pulpa adherida y una testa más gruesa que la del cacao. Estas características pueden dificultar la fermentación y acelerar la penetración de calor durante el tostado, afectando el embrión. Asimismo, se recomienda optimizar parámetros de tiempo y temperatura de tostado para potenciar aroma, color y sabor.

3. **Generar mayor evidencia científica** sobre las propiedades físico-químicas y nutricionales del macambo, realizando análisis proximales y funcionales completos. Esto permitirá posicionarlo como un sustituto y/o complemento del cacao en diversos productos alimenticios, facilitando su industrialización y acceso a mercados especializados, impulsando así el desarrollo agroindustrial en la región.

4. **Incentivar pruebas piloto en la industria chocolatera**, evaluando la viabilidad de incorporar pasta y manteca de macambo como insumos en la formulación de chocolates y derivados, aprovechando su similitud composicional con el cacao.

5. **Se recomienda potenciar el aprovechamiento de la pasta de macambo** en la industria alimentaria, debido a su alto valor nutricional y sus características sensoriales similares a las del cacao. Este producto puede emplearse como materia prima para la elaboración de chocolates, barras energéticas, galletas, bebidas funcionales, helados y otros productos de repostería, contribuyendo así al desarrollo de alimentos saludables y con valor agregado.

6. **Se recomienda promover la investigación y el aprovechamiento de la manteca de macambo** como alternativa en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica. Su composición grasa y propiedades emolientes la hacen apta para la elaboración de chocolates, productos de repostería, jabones, cremas y ungüentos naturales. Asimismo, se sugiere desarrollar estudios orientados a optimizar los procesos de extracción y refinado, evaluar su estabilidad físico-química y determinar su potencial sustituto de la manteca de cacao.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarado, & Cevallos. (2021). *Elaboración de bombones a base de Macambo (Theobroma bicolor) con relleno de bebidas tradicionales del Ecuador* (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Ecuador.

AOAC. (2016). *Official Method 2016.01 Salmonella spp. in Select Foods and Environmental Surfaces*. Official Methods of Analysis of AOAC International.

AOAC (Association of Official Analytical Chemist). (2016). *Official Methods of Analysis of Association of AOAC International* (20.ª ed., G. W. Latimer, Ed.). Maryland, USA: AOAC International.

Beckett, S. (2019). *La ciencia del chocolate*. Zaragoza: Editorial Acribia S.A.

Calvo, A. M., et al. (2025). *The Impact of Controlled Fermentation Temperature on the Formation of Aroma Precursors in Cacao Beans*. **Fermentation**, 11(4), 167. MDPI.

Campos, S. M., et al. (2025). *The Role of Microbial Dynamics, Sensorial Compounds, and Physicochemical Parameters in Cocoa Fermentation*. **Foods**, 14(1), 137. MDPI.

Cárdenas-Mazon, N. V., Cevallos-Hermida, C. E., Salazar-Yacelga, J. C., Romero-Machado, E. R., Gallegos-Murillo, P. L., & Cáceres-Mena, M. E. (2018). Uso de pruebas afectivas, discriminatorias y descriptivas de evaluación sensorial en el campo gastronómico. *Dominio de las Ciencias, 4*(3), 253-263. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6560198

Chacón Ortiz, C. Y., Mori Culqui, P. L., & Chavez Quintana, S. G. (2021). Antioxidantes y polifenoles totales de chocolate negro con incorporación de cacao (Theobroma cacao L.) crudo. *Revista de Investigaciones Altoandinas, 23*(4), 266–273. https://doi.org/10.18271/ria.2021.331

Cros, E., Davrieux, F., & Meyer, J. (2020). *Cocoa Fermentation: Microbial Dynamics and Flavor Development*. *Current Opinion in Food Science*, 31, 12–18.

Dávila Zamora, E. C. (2023). *Efecto de la fermentación en el contenido de metales pesados del grano de cacao (Theobroma cacao) en Tingo María* (Tesis doctoral). Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

https://repositorio.unheval.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/fa46dce7-4b38-4730-99b3-daa004b350f3/content

Delgadillo Aguilar, C. V. (2023). *Influencia de presecado, frecuencia de remoción y fermentación en la calidad de granos de cacao (Theobroma cacao L.), Ayacucho* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/31bb254c-06f9-4532-8e5c-1ac7b2a753e2/content

DIGESA. (2022). *Norma sanitaria para la inocuidad de los alimentos procesados y bebidas envasadas destinados al consumo humano.* Ministerio de Salud del Perú.

Erazo Bravo, K., Tuárez, D., Fernández, Á., Torres, Y., & Vera, J. (2021). Efecto de la fermentación de cacao (Theobroma cacao L.), variedad nacional y trinitario, en cajas de maderas no convencionales sobre la calidad física y sensorial del licor de cacao. *Revista de Investigación Talentos, 8*(2), 42–55. https://doi.org/10.33789/talentos.8.2.153

Gálvez, L., Reyes, A., Avendaño, C., Hernández, E., Mendoza, A., & Díaz, V. (2016). Pataxte (Theobroma bicolor Humb. & Bonpl.): especie subutilizada en México. *Agroproductividad, 9*(1), 41–47.

Goicochea Trauco, E., Granda Santos, M. S., & Chavez Quintana, S. G. (2021). Elaboración de brownies con chocolate moca a partir de pasta de macambo (Theobroma bicolor) y tres variedades de café (Coffea arabica). *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable, 5*(3), 34–38. https://doi.org/10.25127/aps.20213.816

Gutiérrez-Paredes, R., Gonzales-Fuentes, G., & Chávez-Pinchi, M. (2022). Evaluación de la aplicación de tecnologías de fermentación y secado de cacao (Theobroma cacao L.) tipo CCN-51 y Criollo. *Revista Amazónica de Ciencias Básicas y Aplicadas*. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

Hartel, R. W., Elbe, J. H. von, & Hofberger, R. (2018). *Confectionery science and technology*. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61742-8

Leyva Huamán, A. C., & Maylle Avendaño, E. J. (2024). Implementación de métodos de fermentación y la calidad del licor de macambo (Theobroma bicolor) en el fundo El Príncipe. Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

https://repositorio.unheval.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/fa46dce7-4b38-4730-99b3-daa004b350f3/content

Loo Miranda, J. L. M. (2019). Variación de la conductividad eléctrica del medio acuoso por inmersión de granos de cacao CCN-51 con diferentes índices de fermentación (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. https://core.ac.uk/download/pdf/199654779.pdf

López, M. J. (2020). Determinación de las propiedades fisicoquímicas y composición de ácidos grasos de los aceites en las semillas de dos morfotipos de macambo Theobroma bicolor (Humb. & Bompl.). Universidad de la Amazonía Peruana. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAP_3b84cc875ad66c5e52bbca2196a74322

Millena, C. G., et al. (2023). *Effect of Fermentation Stages on the Nutritional and Mineral Composition of Cocoa Beans*. **Food Chemistry Advances**, 2(3), 100128.

Ministerio de Comercio Exterior y Turismo [MINCETUR]. (2023). *Principales normas técnicas para cacao*. https://www.mincetur.gob.pe/reglamentostecnicos/informacion_general/eventos/Julio_2023/Sala_Cacao_1Principales_Normas_Tecnicas_para_Cacao.pdf

Ministerio de Salud del Perú [MINSA]. (2008). *Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para alimentos y bebidas de consumo humano* (Resolución ministerial N° 591-2008/MINSA, aprobado por la NTS N° 071-MINSA/DIGESA-V-01). http://www.minsa.gob.pe/portal/06transparencia/normas.asp

Ministerio de Salud del Perú [MINSA]. (2025). *Tabla peruana de composición de alimentos* (11.ª ed. digital). file:///C:/Users/DELL/Downloads/TPCA-2025.pdf

Morales Cán, 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* [Tesis de pregrado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b42b7961-cdac-4779-b893-bbfe0a50b10b/content

Murillo Pilay, G. K., & Soria Paula, G. T. (2023). *Métodos de fermentación en el cacao (Theobroma cacao) CCN 51 con la norma INEN 176 en la parroquia Guasagranda, La Maná* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. https://repositorio.utc.edu.ec/items/50b3644b-5c6a-4312-9d21-8487c5b495c8

Ordoñez, E. S., León-Arévalo, A., & Rivera-Rojas, H. (2019). Cuantificación de polifenoles totales y capacidad antioxidante en cáscara y semilla de cacao (*Theobroma cacao L.*), tuna (*Opuntia ficus indica Mill*), uva (*Vitis vinífera*) y uvilla (*Pourouma cecropiifolia*). *Revista de Investigaciones Altoandinas, 21*(2), 119–130. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172019000200003

Paradas Vásquez, E., Lovo, L., Arias, A., & Molina, M. (2019). Rescate de patashte (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.) y cushta (*Theobroma angustifolium*), dos especies promisorias en peligro de extinción en El Salvador. *Revista Minerva, 2*(1), 109–122. https://doi.org/10.5377/revminerva.v2i1.12531

Quinteros, A., Chumacero, J., & Castro, P. (2018). Efecto de la temperatura y tiempo de tostado en la aceptabilidad sensorial de pasta alimenticia de macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.). *Agroindustrial Science, 8*(1), 27–31. https://doi.org/10.17268/agoind.sciendo.2018.01.04

Rea Armijos, J. F., & Flores Mantuano, V. M. (2024). *Evaluación de acidez total de la mezcla de dos variedades de cacao, fino de aroma y CCN-51* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Machala]. https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/23486/1/Trabajo_Titulacion_3901.pdf

Rixe Fasabi, D. I., & Vela Rengifo, C. M. (2017). *Licor a partir de la semilla de Theobroma bicolor (macambo) y su valor nutricional* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4934

Santacruz Terán, S. G., & Mantuano Morán, W. A. (2021). Efecto del procesamiento de cacao en el contenido y actividad antioxidante de compuestos fenólicos. *Revista ESPAMCIENCIA, 12*(1), 55–66. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i1.221

Toker, O. S., Palabiyik, I., & Konar, N. (2019). Chocolate de calidad y conchado. *Trends in Food Science & Technology, 91*, 446–453. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.047

Torres, N. (2020). *Estudio de prefactibilidad de planta de procesamiento de cacao* [Tesis de pregrado, Universidad San Francisco de Quito]. http://bit.ly/COPETheses

Sanclemente, & Tigero, J. (2018). *Sustitución de Theobroma cacao por Theobroma (pataxte) y su aplicación en repostería* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/41752

Urbańska, B., & Kowalska, J. (2019). Comparación del contenido total de polifenoles y la actividad antioxidante del chocolate obtenido a partir de granos de cacao tostados y sin tostar de diferentes regiones del mundo. *Antioxidants, 8*(8), 283. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572021000400266#B30

Vera Benavides, J., Vásquez, L., Alvarado, K., Reyes, J., Intriago, F., Naga, M., & Castro, V. (2023). Effects of two fermentative methods on cacao (*Theobroma cacao L.*) Trinitario, induced with *Rhizobium japonicum* to reduce cadmium. *Revista Colombiana de Investigación Agroindustriales, 10*(1), 95–106. https://doi.org/10.23850/24220582.5460

Vargas Cabrera, E. F. (2022). *Elaboración de chocolate con sustituto de pasta de majambo (Theobroma bicolor) y leche en polvo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. https://repositorio.unsm.edu.pe/item/6bb7a34e-2899-4e85-a200-a404a8ead43a

Vera Chang, J. F., Vásquez Cortez, L. H., Valverde Burgos, E. A., Rodríguez Cevallos, S. L., Uvidia Vélez, M. V., Palacios Benites, J. C., & Intriago Flor, F. G. (2024). Elaboración de barras de chocolate a partir de almendras de cacao de montaña (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.) con adición de pasta de frutas deshidratadas de naranja (*Citrus* × *sinensis*) y mango (*Mangifera indica*). *Agrosilvicultura y Medioambiente, 2*(1), 71–90. https://doi.org/10.47230/agosilvicultura.medioambiente.v2.n1.2024.71-90

Zapata Quevedo, K. L. (2023). *Post cosecha y caracterización de cacao macambo (Theobroma bicolor Humb. & Bonpl.) y su efecto en la calidad* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/7045

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de catación – Escala hedónica 9 puntos

JUEZ……

FECHA: ……/……/……
HORA:……..

PRODUCTO A EVALUÓ: **PASTA DE MACAMBO**

Frente a usted se presentan cuatro muestras de **PASTA DE MACAMBO**. Por favor, observe y pruebe cada una de ellas e indique el grado en que le gusta o le disgusta cada atributo de cada muestra, de acuerdo al puntaje/categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea de acuerdo al código de la muestra.

CÓDIGO	**CALIFICACIÓN PARA CADA ATRIBUTO**		
	OLOR	**COLOR**	**SABOR**

PUNTAJE	**CATEGORIA**	**PUNTAJE**	**CATEGORIA**
1	Me disgusta muchísimo	6	me gusta ligeramente
2	Me disgusta mucho	7	me gusta bastante
3	me disgusta bastante	8	me gusta mucho
4	me disgusta ligeramente	9	me gusta muchísimo
5	ni me gusta ni me disgusta		
¡Gracias por su colaboración!			

Observaciones:

_____
_____
_____
_____

Anexo 2. Operaciones del proceso de Beneficio de las semillas de Macambo.



Materia prima seleccionada



Quebrado



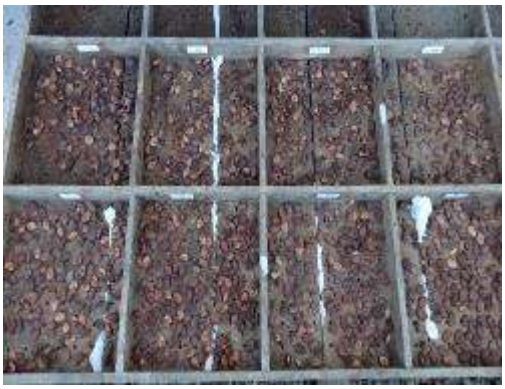
Despulpado



Semillas despulpadas



Fermentación (T° controlada)



Secado

Anexo 3. Operaciones del proceso de elaboración de pasta y manteca de macambo.



Tostado



Semillas tostadas



Descascarillado (cáscara- nibs)



Q



Molienda 1



molienda 2 (Licuado)

Pasta de Macambo



Moldeado





Tabletas de Macambo



Extracción de la Grasa



Grasa extraída



Manteca de Macambo



Muestras para catación

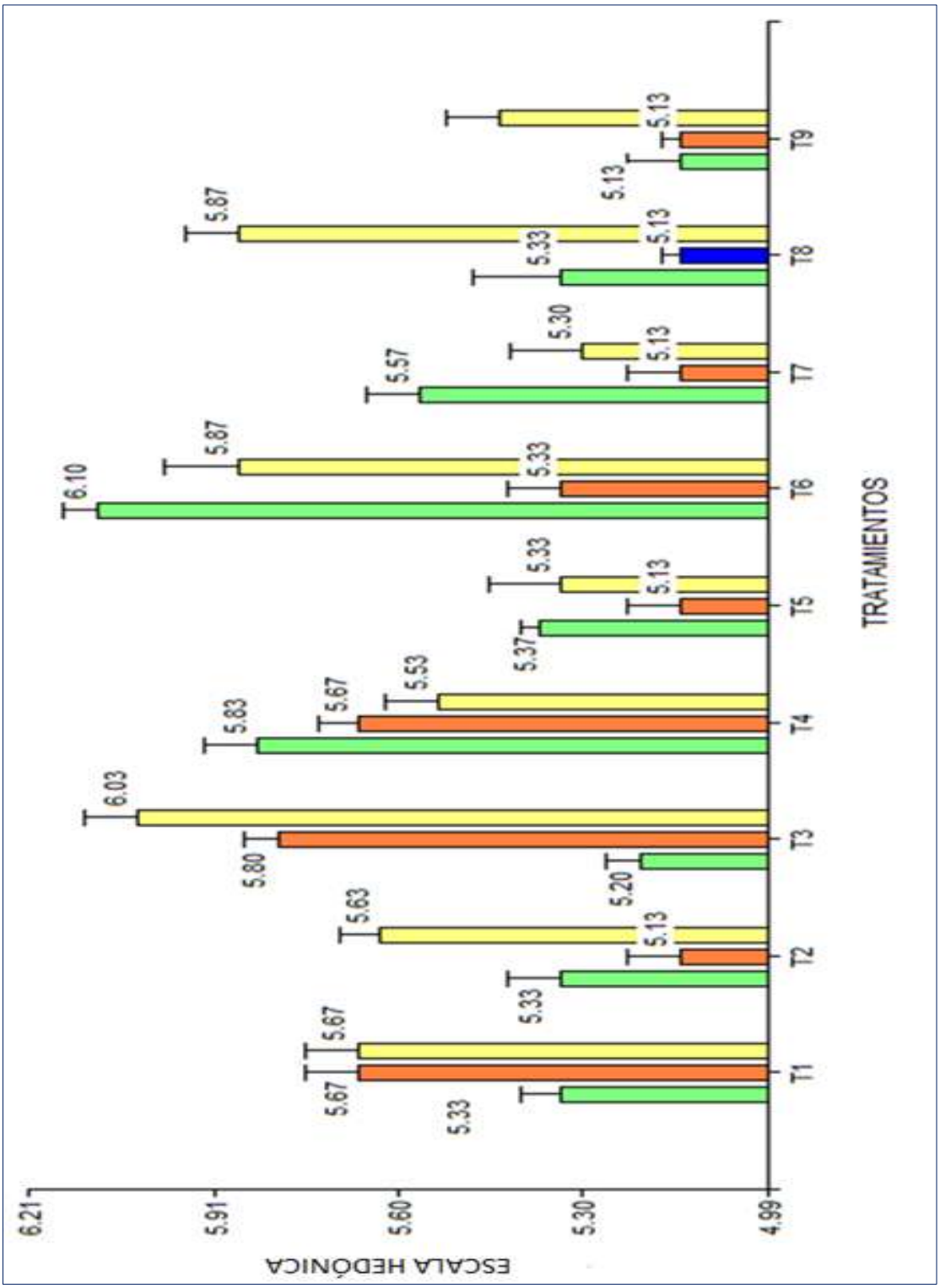
Anexo 4. Resultados de humedad de las semillas de macambo durante el Secado

RESULTADO DE HUMEDAD DE LAS SEMILLAS DURANTE EL SECADO						
DIAS DE SECADO	**N° MUESTRA**	**PESO PLACA**	**PESO INICIAL**	**PESO FINAL**	**% MATERIA SECA**	**% HUMEDAD**
# 0	**1**	46.40	11.52	51.5	44.27	55.73
	2	45.99	11.93	50.57	38.39	61.61
	3	41.01	12.12	45.79	39.44	60.56
	PROMEDIO	**44.47**	**11.86**	**49.29**	**40.70**	**59.30**
# 1	**1**	49.52	12.34	55.54	48.78	51.22
	2	38.80	10.06	43.05	42.25	57.75
	3	46.03	10.67	51.21	48.55	51.45
	PROMEDIO	**44.78**	**11.02**	**49.93**	**46.53**	**53.47**
# 2	**1**	39.79	13.55	48.02	60.74	39.26
	2	40.44	10.85	46.77	58.34	41.66
	3	46.40	10.59	52.52	57.79	42.21
	PROMEDIO	**42.21**	**11.66**	**49.10**	**58.96**	**41.04**
# 3	**1**	46.03	12.37	55.53	76.80	23.20
	2	49.52	11.84	59.05	80.49	19.51
	3	45.98	11.06	54.72	79.02	20.98
	PROMEDIO	**47.18**	**11.76**	**56.43**	**78.77**	**21.23**
# 4	**1**	46.40	12.05	56.11	80.58	19.42
	2	45.99	10.63	54.66	81.56	18.44
	3	40.44	10.25	48.95	83.02	16.98
	PROMEDIO	**44.28**	**10.98**	**53.24**	**81.72**	**18.28**
# 5	**1**	46.03	10.31	55.28	89.72	10.28
	2	49.52	10.68	58.85	87.36	12.64
	3	45.99	10.74	55.36	87.24	12.76
	PROMEDIO	**47.18**	**10.58**	**56.50**	**88.11**	**11.89**
# 6	**1**	46.02	11.81	56.59	89.50	10.50
	2	49.52	10.96	59.39	90.05	9.95
	3	46.40	11.17	56.44	89.88	10.12
	PROMEDIO	**47.31**	**11.31**	**57.47**	**89.81**	**10.19**
# 7	**1**	41.01	10.45	50.62	91.96	8.04
	2	39.51	10.71	49.37	92.06	7.94
	3	49.52	10.99	59.56	91.36	8.64
	PROMEDIO	**43.35**	**10.72**	**53.18**	**91.79**	**8.21**
# 8	**1**	48.42	10.59	58.27	93.01	6.99
	2	38.8	11.66	49.63	92.88	7.12
	3	41.01	11.43	51.62	92.83	7.17
	PROMEDIO	**42.74**	**11.23**	**53.17**	**92.91**	**7.09**

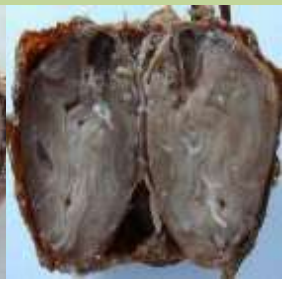
Anexo 5. Resultados de la evaluación sensorial de los tratamientos de la Pasta de Macambo

Ttos	Rep	OLOR	COLOR	SABOR	TEXTURA
T1	1	**5.4**	5.8	**5.7**	**5.1**
T1	2	5.2	5.5	5.5	5.2
T1	3	5.4	5.7	5.8	5
T2	1	5.2	5.1	5.7	5
T2	2	5.3	5.3	5.5	5.5
T2	3	5.5	5	5.7	5.3
T3	1	5.3	5.7	5.9	5.6
T3	2	5.1	5.9	6	5.2
T3	3	5.2	5.8	6.2	5.4
T4	1	**5.8**	5.8	5.5	5.5
T4	2	6.0	5.6	5.7	5.4
T4	3	5.7	5.6	5.4	5.7
T5	1	**5.4**	5	5.4	5.5
T5	2	5.3	5.3	5.5	5.6
T5	3	5.4	5.1	5.1	5.5
T6	1	6.0	5.5	6.1	5.3
T6	2	6.1	5.2	5.8	5.1
T6	3	6.2	5.3	5.7	5.4
T7	1	5.6	5.1	5.3	5
T7	2	5.7	5	5.1	5.5
T7	3	5.4	5.3	5.5	5.3
T8	1	5.3	5.1	5.7	5.5
T8	2	5.6	5.2	5.9	5.4
T8	3	5.1	5.1	6	5.2
T9	1	5.3	5.1	5.4	5.4
T9	2	5	5.1	5.6	5.1
T9	3	5.1	5.2	5.3	5.2

Anexo 6. Figura de análisis sensorial de los tratamientos de la Pasta de Macambo



Anexo 7. Verificación de los cambios de color por la muerte del embrión.

DIA 1	DIA2	DIA 3	DIA4
			
DIA 5	**DIA6**	**DIA 7**	**DIA 8**
			

Anexo 8. Equipos utilizados en los análisis fisicoquímicos



Mufla



Montaje de extracción de Grasas Soxhlet



Destilador de nitrógeno



Incubadora para fermentación



Balanza analítica



pHmetro



Espectrofotómetro

Violeta Andrea Quinteros Gardini

Aprovechamiento del Macambo (Theobroma bicolor Humb. & Bonpl.) para la elaboración de pasta y manteca como alternat...

Revisión de tesis finales - Repositorio Institucional de la UNSM

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::3117:621776312

Fecha de entrega
8 sept 2026, 11:41 GMT-5

Fecha de descarga
8 sept 2026, 11:48 GMT-5

Nombre del archivo
FIAI - Violeta Andrea Quinteros Gardini.pdf

Tamaño del archivo
2.6 MB

94 páginas

26.220 palabras

142.867 caracteres

18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

16% Fuentes de Internet
1% Publicaciones
9% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.