

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**



TESIS

**“Influencia de los métodos de pre-tratamiento de la semilla de copoazú
(*theobroma grandiflorum*) en la actividad antioxidante, índice de
calidad y rendimiento de la manteca cruda extraída
por prensado hidráulico”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL**

AUTOR(ES):

Bach. CALSIN SANTUYO, Rosa Mariluz

Bach. TUNTI MAMANI, Yessenia Verónica

ASESOR:

M.Sc. FLORES ARIZACA, Manuel Jesús

Puerto Maldonado, agosto 2025

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**



**“Influencia de los métodos de pre-tratamiento de la semilla de copoazú
(*theobroma grandiflorum*) en la actividad antioxidante, índice de
calidad y rendimiento de la manteca cruda extraída
por prensado hidráulico”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL**

AUTOR(ES):

Bach. CALSIN SANTUYO, Rosa Mariluz

Bach. TUNTI MAMANI, Yessenia Verónica

ASESOR:

M.Sc. FLORES ARIZACA, Manuel Jesús

Puerto Maldonado, agosto 2025

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme, darme fuerza para seguir adelante y hacer posible este logro.

A mis Amados Padres Faustino y Fernanda, quienes nunca se han rendido, por su esfuerzo y por esos alientos, motivación constante, su soporte incondicional en todas las etapas de la vida y permanente apoyo en todo el proceso de la realización de este trabajo de investigación.

A mi hermano, por su aliento, sus consejos y su motivación para realizar y lograr este trabajo de tesis.

Yessenia Verónica Tunti Mamani

A Dios, por guiarme, por darme perseverancia, fuerza para seguir adelante hasta llega a este logro.

A mis queridos Padres Hugo Calsin Mamani y Carmen Santuyo Callata, quienes nunca me dejaron sola, por su motivación constante, apoyo emocional y estar ahí en todos los momentos de la vida y permanente apoyo en todo el proceso de la realización de este trabajo.

A mis hermanas, por sus alientos para realizar y lograr este trabajo de tesis.

A mi hija que es mi motor y motivo para realizar este trabajo de investigación, quien me llena de energías.

Rosa Mariluz Calsin Santuyo

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, donde recibí mi formación profesional, a todos los docentes de la escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por formarnos profesionales competitivos y con valores Éticos, gracias por su paciencia y enseñanzas que cada uno de ellos contribuyeron y son parte de nuestra formación durante los años de estudio en la Universidad.

A nuestro asesor M.Sc. Jesús Manuel Flores Arizaca, por su apoyo, paciencia, exigencias, tiempo y ayuda en el desarrollo de esta investigación

A nuestros Padres y hermanos por su apoyo, confianza constante y ser nuestro soporte y motivación.

Al Blgo. Jorge Miguel Inga Pezo y Blgo. Paul Adrián Franco Romaina, por su tiempo y apoyo.

A todas las personas que llegaron a apoyar de una u otra manera durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

TURNITIN_ROSA CALSIN & YESSSENIA TUNTI

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Nacional
Amazonica de Madre de Dios

Trabajo del estudiante

2%

2

repositorio.unamad.edu.pe

Fuente de Internet

2%

3

alicia.concytec.gob.pe

Fuente de Internet

1%

4

issuu.com

Fuente de Internet

1%

5

es.scribd.com

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

PRESENTACIÓN

En la tesis se han abordado temas relacionadas a la evaluación del rendimiento y la variación de los índices de calidad de la manteca de Copoazú (*T. grandiflorum*) extraída por prensado hidráulico en frío, utilizando semillas fermentadas y sin fermentar, con y sin presencia de la cáscara en la semilla, con previo tratamiento de deshidratación en corriente convectivo de aire (estufa calefactora) y deshidratación por exposición directa a los rayos del sol, llevados a cabo en el campus de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (Puerto Maldonado). Este trabajo consta de las unidades:

Capítulo I Problema de investigación, dónde se problematiza el problema objetivo de investigación, describiéndose los objetivos y la hipótesis correspondiente.

Capítulo II: Marco teórico, se describe la base teórica del trabajo de investigación enfocándonos en la matriz vegetal (semilla de Copoazú), proceso de extracción de aceites y grasas por prensado hidráulico a diferentes condiciones.

Capítulo III: Metodología de investigación, se presenta la metodología desarrollada para validar la hipótesis a través de trabajos experimentales utilizando los diseños experimentales comparativos completamente aleatorizados con bloques (DBCA), haciendo uso el Desing Expert 13 versión educativa, así mismo se describe la metodología del análisis de los índices de calidad y antioxidantes de la manteca de *T. grandiflorum*.

Capítulo IV: Resultados de trabajo de investigación, se presenta los resultados de la investigación con énfasis en a) Características morfológicas de la semilla de Copoazú, b) Extracción de grasa por método Soxhlet, c) extracción de manteca por prensado hidráulico a diferentes condiciones de extracción.

Conclusión, dónde se presenta las conclusiones arribadas en el trabajo de investigación. Invitamos a los lectores a realizar la lectura completa de la tesis desarrollada para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial.

RESUMEN

Se estudió el efecto de los pre-tratamientos de la semilla de Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) sobre el rendimiento, la actividad antioxidante y los índices de calidad de la manteca cruda extraída por prensado hidráulico. Se empleó un diseño experimental multinivel con tres factores: tipo de tratamiento de semilla (fresca o fermentada), presencia de cáscara (con o sin cáscara) y tipo de secado (solar directo o convectivo-estufa). El rendimiento promedio de la manteca cruda fue de $36,61 \pm 1,52\%$, siendo significativamente influenciado por el tratamiento de la semilla y la presencia de cáscara, mientras que el tipo de secado no mostró efectos significativos. Los análisis de calidad, como el índice de peróxido (IP), yodo (IY) y saponificación (IS), no variaron considerablemente con los pre-tratamientos, pero la presencia de cáscara afectó el índice de acidez, con valores más bajos en las muestras sin cáscara. La actividad antioxidante, evaluada por el método DPPH, no se vio afectada por los pre-tratamientos, presentando un promedio de $10,524 \pm 0,066$ μmoles de ET/g. La composición de ácidos grasos presentó variaciones dependiendo del tratamiento, destacándose ácidos como el oleico (17,2 a 17,5 %), esteárico (11,7 a 12,4 %) y araquídico (3,7 a 3,8 %), palmítico (2,7 %) y linoleico (1,7 a 1,8 %). Los pre-tratamientos tuvieron un efecto significativo sobre el rendimiento y la calidad de la manteca, con una menor actividad antioxidante y calidad en algunos casos. La manteca obtenida es apta para uso cosmecéuticas por su relación de actividad antioxidante y contenido de omega 9 y omega 6.

INTRODUCCIÓN

El copoazú (*Theobroma grandiflorum*) es un árbol frutal originario de la Amazonía y perteneciente a la familia de las esterculiáceas, pariente cercano del cacao. Se encuentra de manera silvestre en la Amazonía de Bolivia, Brasil, Perú y Colombia (Hernández y Barrera, 2004). En Perú, el departamento de Madre de Dios es el mayor productor nacional de este fruto. Las semillas de copoazú constituyen una parte importante del fruto (20%) y poseen un alto contenido de grasa (50-60%), con potenciales aplicaciones en las industrias cosmética, farmacéutica y alimentaria (Mosquera, 2014). La grasa obtenida de sus semillas es conocida por su capacidad para nutrir y mejorar la piel, gracias a su notable capacidad de absorción de agua y otras propiedades beneficiosas. Investigaciones también han demostrado que esta grasa no contiene grasas trans, una característica relevante para los productores de grasas especiales (M.V., 2002).

La manteca de copoazú, con su alto contenido de ácidos grasos, es ampliamente utilizada en la industria cosmética. Además, debido a su viscosidad, superior a la de la manteca de cacao (Lannes, 2000), se ha sugerido como un posible sustituto de esta última. Los estudios muestran que las semillas de copoazú contienen un 64.85% de grasa (García & Wada, 2005), lo que las convierte en un recurso importante tanto para la industria alimentaria como para la cosmética (Gondim Thomazini & Souza, 2001).

Durante el proceso de fermentación de las semillas, se producen reacciones bioquímicas que generan precursores de sabor, como aminoácidos, péptidos de cadena corta y azúcares reductores (Mattietto, 2001; Counet et al., 2008). Estos cambios químicos incrementan el contenido de ácidos grasos libres y modifican índices como el de saponificación, peróxidos, yodo y los valores de extinción (estructuras conjugadas) en la manteca de copoazú (Afoakwa, 2014). El secado de las semillas, ya sean frescas o fermentadas, bajo la acción directa del sol, ha sido un tema de debate debido al impacto que los fotones pueden tener en la estructura molecular de los triglicéridos y flavonoides, aspectos que aún no se han estudiado en profundidad.

Uno de los desafíos para el uso masivo de la semilla de copoazú es el laborioso proceso de pelado, ya que su cáscara es dura e impermeable. Incluso al someterla a tratamiento con agua a 100°C o vapor saturado, su estructura no cambia significativamente. Hasta la fecha, no se han realizado estudios exhaustivos sobre el impacto de la cáscara en la calidad de la manteca natural destinada a la industria cosmética.

El objetivo de esta investigación es establecer la relación entre los métodos de pre-tratamiento de las semillas de *T. grandiflorum*) y la variación en los índices de calidad, la actividad antioxidante y el rendimiento de la manteca cruda obtenida mediante prensado hidráulico.

INDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO.....	
PRESENTACION.....	
RESUMEN.....	
ABSTRACT.....	
INTRODUCCION	
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	3
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.4 VARIABLES	4
1.4.1 <i>Independientes</i>	4
1.4.2 <i>Dependientes</i>	4
1.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	4
1.6 HIPÓTESIS	5
1.7 JUSTIFICACIÓN	6
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 ANTECEDENTES DE ESTUDIO	8
2.2 MARCO TEÓRICO	11
2.2.1 <i>El Copoazú</i>	11
2.2.2 <i>Índices de calidad de grasas</i>	14
2.2.3 <i>Antioxidantes</i>	19
2.2.4 <i>Postcosecha y cambios fisicoquímicos de la semilla de Copoazú.</i>	23
2.2.5 <i>Proceso industrial de producción de aceites y grasas.</i>	27
2.2.6 <i>Contexto general de la agroindustria del copoazú</i>	33
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	36
3.1 TIPO DE ESTUDIO	36
3.2 DISEÑO DE ESTUDIO	36
3.3 POBLACIÓN, MUESTRA Y LUGARES DE EJECUCIÓN	37
3.3.1 <i>Población</i>	37
3.3.2 <i>Muestra</i>	37
3.3.3 <i>Lugar de ejecución</i>	38
3.4 MÉTODOS Y TÉCNICAS	38
3.4.1 <i>Materiales, equipos y reactivos</i>	38
3.5 METODOLOGÍA	40
3.5.1 <i>Pre-tratamiento del fruto de Copoazú</i>	40
3.5.2 <i>Determinación de las características morfológicas de la semilla</i>	46
3.5.3 <i>Extracción de la manteca por prensado hidráulico de las semillas de Copoazú</i>	46
3.5.4 <i>Métodos y Técnicas para el Análisis Fisicoquímico de la Manteca</i>	47
3.5.5 <i>Actividad Antioxidante (Método DPPH)</i>	48
3.5.6 <i>Análisis de ácidos grasos por Cromatografía de Gases y espectrometría de Masas (CG-MS)</i>	48
3.5.7 <i>Extracción de grasas de semilla de copoazú por el método soxhlet</i>	49

3.6	TRATAMIENTO DE DATOS	50
3.6.1	<i>Diseño experimental para la optimización del proceso de extracción de manteca de Copoazú por prensado hidráulico.</i>	51
3.6.2	<i>Análisis Estadístico</i>	52
CAPITULO IV: RESULTADOS		56
4.1	RESULTADOS DESCRITOS EN LA METODOLOGÍA.....	56
4.1.1	<i>Procedencia de la muestra.</i>	56
4.1.2	<i>Pre-tratamiento del fruto de Copoazú</i>	56
4.1.3	<i>Proceso de adecuación</i>	58
4.2	ANÁLISIS PROXIMAL	67
4.3	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LA SEMILLA DE COPOAZÚ.....	68
4.4	EXTRACCIÓN DE GRASA POR EL MÉTODO DE SOXHLET	72
4.5	EXTRACCIÓN DE MANTECA POR PRENSADO HIDRÁULICO	74
4.5.1	<i>Efecto de los diferentes tratamientos en el rendimiento</i>	74
4.5.2	<i>Efectos de las variables independientes sobre parámetros de respuesta</i>	77
4.5.3	<i>Efecto de variables independientes en los parámetros de respuesta (índice de calidad)</i>	80
4.5.4	<i>Efecto de la variable independiente en el Análisis de antioxidante.</i>	104
CAPITULO V: CONCLUSIONES		113
CAPITULO VI: SUGERENCIAS		115
CAPITULO VII: REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA		116
ANEXOS		

ÍNDICE DE FIGURAS

1. a) Fruto de Copoazú (<i>Theobroma grandiflorum</i>) y b) Copoazú (<i>Theobroma grandiflorum</i>), flores y sección del fruto.Fuente: (Hernández and León, 1992).....	11
2. Fases generales del proceso industrial de aceites y grasas	28
3. Esquema básico de prensa hidráulica artesanal.....	31
4. Prensa hidráulica aplicada a la extracción de aceite de oliva	32
5. Elementos de una prensa común expeller.....	33
6. Producción (t.) de fruto de Copoazú en el Departamento de Madre de Dios desde 2009 a 2016	34
7. Representación esquemática del efecto de las variables en la respuesta utilizados en el estudio	37
8 Árbol y Futo de Copoazú.....	40
9 Fruto de Copoazú.....	41
10. Fruto de copoazú quebrado (A) y pulpa junto a la semilla(B).....	41
11. Fruto de copoazú quebrado (A) y pulpa junto a la semilla(B).....	42
12. Semilla fresca de copoazú	42
13. Cajas de madera para la fermentación (a) y semilla en proceso de fermentación de Copoazú (b)	43
14. Semillas de Copoazú pelada, fermentada (a) y fresca (b)	43
15. Semilla de Copoazú deshidratada en secador solas de madera (a), con cascara (b) y sin cascara (c).	44
16. Deshidratación de semilla de Copoazú en estufa, fermentada con cascara(a) y sin cascara (c), fresca con cascara (b) y sin cascara (d).....	44
17. Flujograma experimental del estudio, para la obtención de manteca de semilla de Copoazú	45
18. Semilla de Copoazú triturada o molida.....	46
19. Fruto de Copoazú.....	56
20. Fruto de copoazú quebrado (A) y pulpa junto a la semilla(B).....	57
21. Semilla Fresca de Copoazú.	58
22. Semilla fresca con cascara de Copoazú.....	58
23 Semilla fresca de Copoazú pelada.	59
24. Cajón para la fermentación de semilla de copoazú en primer día de fermentación (a), semilla en tercer día de fermentación (b), semilla en el cuarto día de fermentación (c) y semilla fermentada fase final a los 45 °.....	60
25. Semilla de copoazú sin cascara(a) y semilla pelada y partida (d).	61
26. Radiación de la energía incidida a las muestras como función al tiempo en la deshidratación de las semillas fermentadas con cascara.	63
27. Radiación de la energía incidida a las muestras como función al tiempo en la deshidratación de las semillas fermentadas con cascara.	64

28. Radiación de la energía incidida a las muestras como función al tiempo en la deshidratación de las semillas fermentadas con cascara.	64
29. Radiación de la energía incidida a las muestras como función al tiempo en la deshidratación de las semillas fermentadas con cascara.	65
30. Secador solar de madera (a), Semilla de Copoazú en procedo de deshidratación en 4 rumas (b) y (c) software Logger pro – 3.14, con sensor de luz (registra la intensidad de exposición al sol de las semillas).	66
31. Semilla de Copoazú deshidratada por secado solar, fermentada con cascara (a) y sin cascara (c) y semilla fresca con cascara (b) y sin cascara(d).	66
32. Deshidratación de semilla de Copoazú en estufa, fermentada con cascara(a) y sin cascara (c), fresca con cascara (b) y fresca sin cascara (d).	67
33. Semillas de <i>T. grandiflorum</i> , A: Semilla fresca con cascara, B: Cascara de la semilla fermentadas, C: semilla fermentada sin cascara	69
34. Corte longitudinal de la semilla de copoazú fermentada y sus partes(A : semilla fresca y B. semilla fermentada) (Cajo pinche y Díaz Viteri 2017). C: Corte longitudinal de la almendra de copoazú fermentada y secas (Lopes 2000).	69
35. Morfología de las semillas fresca y fermentada de <i>T. grandiflorum</i> Copoazú (características del mesófilo), 1: Semilla fresca y 2: semilla fermentada: A: cotiledón y B: tejido translucido.	70
36. Se muestra las características del mesófilo, Mesófilo FM-Cotiledón. 1A-1B. <i>Theobroma bicolor</i> . Este cotiledón recién doblado (1A) oculta un tejido traslúcido (B) (B = tejido translúcido; C = cotiledón;). Barras = 10 mm (5A), 10 µm (5B), ... 70	
37. 1 y 2: muestran reserva de lípidos y proteínas, observadas por SEM (microscopia electrónica de barrido),3: Fusión de los glóbulos de los lípidos de la Semilla <i>T. grandiflorum</i> . de los lípidos barras = 10 µm (1,), 20 µm (2),1 µm (3), ... 71	
38. Secciones longitudinales a través de las capas de semillas <i>T. grandiflorum</i> , M: cavernas mucosas, V: haces vasculares. Marcado (margen izquierdo): testa (gris claro), capa esclereidea o empalizada exotegmal (gris oscuro), parénquima del tegmen (negro) y 2: Celdas de almacenamiento de <i>T. grandiflorum</i> (b) A: aleuron(proteínas), S: grano de almidón, L: vacuola lipídica, Secciones ultrafinas. 72	
39. Grafica tipo muestra – Vs – contenido de grasas (b.h) SE-SC Semilla Fresca sin cáscara; SE-CC semilla fresca con cáscara, SF-SC semilla fermentada sin cáscara; y SF-CC semilla fermentada con cáscara	74
40. Rendimiento de manteca de Copoazú extraído por prensado hidráulico (g/100g) resultado del efecto de los diferentes tratamientos.....	77
41: Efecto de variables independientes en el rendimiento de manteca extraída, A) tratamiento del grano; B) presencia de casca; C) Tipo de Deshidratación.	80
42: Efecto de variables independientes en el rendimiento de manteca extraída, entre: 1: (A: tratamiento del grano y B: presencia de casca); 2 (A: Tratamiento de gano y C: Tipo de Deshidratación).	80
43: Efecto de los factores en el índice de Peróxido, A: tratamiento de grano; B: Presencia de cascara y C: Tipo de deshidratación	84
44: resultado del Efecto de variables independientes en el Índice de peróxidos de manteca extraída en semilla sin fermentar, entre: A: tratamiento del grano y B: presencia de casca, C: Tipo de Deshidratación.	87

45: resultado del Efecto de variables independientes en el Índice de peróxidos de manteca extraída en semilla sin fermentar, entre: A: tratamiento del grano y B: presencia de cascara, C: Tipo de Deshidratación.	87
46: Efecto de los parámetros en el índice de Yodo A: tratamiento de grano; B: Presencia de cascara y C: Tipo de deshidratación	88
47: resultado del Efecto de variables independientes en el Índice de Yodo de manteca extraída en semilla sin fermentar, entre: A: tratamiento del grano y B: presencia de cascara, C: Tipo de Deshidratación.	91
48: resultado del Efecto de variables independientes en el Índice de Yodo de manteca extraída en semilla con cascara, entre: A: tratamiento del grano y B: presencia de cascara, C: Tipo de Deshidratación.	92
49: resultado del Efecto de variables independientes en el Índice de Yodo de manteca extraída en semilla sin cascara, entre: A: tratamiento del grano y B: presencia de cascara, C: Tipo de Deshidratación.	92
50: Efecto de los factores en el Índice de Saponificación; A: tratamiento de grano; B: Presencia de cascara y C: Tipo de deshidratación	93
51: resultado del Efecto de variables independientes en el Índice de Saponificación de manteca extraída de la semilla de Copoazú, semilla deshidratada por deshidratación Solar: A: tratamiento del grano y B: presencia de cascara, C: Tipo de Deshidratación.	95
52: Resultado del Efecto de variables independientes en el Índice de Saponificación de manteca extraída de la semilla de Copoazú, semilla deshidratada por deshidratación convectiva en estufa, entre: A: tratamiento del grano y B: presencia de cascara, C: Tipo de Deshidratación.	96
53: El efecto de los factores en el Índice de Acidez; A: tratamiento de grano; B: Presencia de cascara y C: Tipo de deshidratación	97
54: resultado del Efecto de variables independientes en el Índice de Acidez de manteca extraída en semilla sin fermentar, entre: A: tratamiento del grano y B: presencia de cascara, C: Tipo de Deshidratación.	100
55: resultado del Efecto de variables independientes en el Índice de Acidez de manteca extraída en semilla sin fermentar, entre: A: tratamiento del grano y B: presencia de cascara, C: Tipo de Deshidratación.	100
56: resultado del Efecto de variables independientes en el punto de fusión de manteca extraída en semilla por deshidratación Solar directo entre, entre: A: tratamiento del grano y B: presencia de cascara, C: Tipo de Deshidratación.	103
57: resultado del Efecto de variables independientes en el puto de fusión, de manteca extraída en semilla por deshidratación convectiva entre: A: tratamiento del grano y B: presencia de cascara, C: Tipo de Deshidratación.	103
58: Cromatograma A1= Manteca de semilla fermentada sin cascara secado de forma natural por un tiempo de 24 h. En la figura A1 presenta con mayor % el ácido Oleico con una concentración de 15.5 %, seguido de ácido esteárico 11%.	112

ÍNDICE DE TABLAS

1. Variables e indicadores	4
2. Partes del fruto de Copoazú (%).....	13
3. Composición proximal de granos de Copoazú y Cacao.....	13
4. Características fisicoquímicas de la manteca de granos de Copoazú y su comparación con normas referenciales	17
5. Composición de los ácidos grasos de la manteca de Copoazú y cacao	18
6. Ventajas y desventajas de principales técnicas de extracción de aceites y grasas	30
7. Plan experimental seguido en el estudio	36
8. Normas Correspondiente para el Análisis Físico Químico de la manteca de semilla de Copoazú.	48
9: Matriz de factores y niveles (DesignExpert 13)	51
10: Matriz de Respuesta para el estudio de extracción de manteca de semilla de copoazú.....	51
11. Matriz de diseño en escala codificada	52
12. Análisis ANOVA para el diseño factorial a x b x c.....	54
13 Rendimiento del Fruto de Copoazú	58
14 Secado de semilla fermentada con cascara por deshidratación solar por 24 horas	62
15. De secado de semilla fermentada sin cascara por deshidratación solar por 24 horas	63
16 de secado de semilla fresca con cascara por deshidratación solar por 24 horas ..	64
17 de secado de semilla fresca sin cascara por deshidratación solar por 24 horas....	65
18 Análisis proximal de la Semilla de Copoazú.	67
19 Características físicas y morfológicas de la semilla de copoazú (<i>T. grandiflorum</i>)	68
20. Promedio de extracción de la grasa por el metodo soxhlet.....	73
21. Resultado de extracción de manteca de Copoazú de acuerdo al diseño factorial con tres factores	75
22. ANOVA para modelo factorial seleccionado.....	78
23. Resultado de índice de calidad de extracción de manteca de Copoazú.....	81
24. Análisis estadístico de resultados de índice de calidad indicados en la Tabla 20 (n=24).....	82
25. Índice de calidad (autores varios).	83
26. ANOVA del índice de peróxidos	84
27. Estadísticas de ajuste para Índice de Peroxidos.....	86
28. ANOVA de índice de Yodo	89
29. Estadísticas de ajuste para Índice de Yodo	90
30. ANOVA de índice de Saponificación.....	93

31. Estadísticas de ajuste para índice de Saponificación	94
32. ANOVA de índice de Acidez.....	98
33. Estadística de ajuste para el índice de Acidez	99
34. ANOVA de Punto de Fusión.....	101
35. Estadística de ajuste para Punto de Fusión	102
36. Resultados de análisis de antioxidantes de la manteca extradida de semilla fresca y deshidratadas por estufa 70° C y por radiación solar directa a 24 horas de copoazú.	104
37. Resultados de análisis de antioxidantes de la manteca, extraída de semilla fermentada y deshidratadas por estufa a 70°C y radiación solar de copoazú.	105
38. resultados de análisis de ácidos grasos de la manteca, extraída de semilla fermentada de copoazú.....	108
39. resultados de análisis de ácidos grasos de la manteca, extraída de semilla fresca de copoazú.....	109
40. Composición de los ácidos grasos de la manteca de Copoazú y cacao	111

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del Problema

Los países amazónicos, incluido Perú, poseen un alto potencial para la producción de frutas propias de la región y su valorización agroindustrial. Entre estas, el Copoazú (*Theobroma grandiflorum*).

El fruto del *T. grandiflorum* presenta un alto potencial económico y propiedades funcionales, nutraceuticas y bioactivas, con aplicaciones en las industrias alimentaria, confitería, nutraceutica y cosmeceutica (Salgado et al., 2011). Su composición incluye 38 % de pulpa, 43 % de cáscara, 17 % de semilla y 2 % de placenta (Pereira, Abreu y Rodrigues, 2018). La industria alimentaria utiliza principalmente la pulpa para elaborar mermeladas, refrescos, néctares y helados, mientras que las semillas, por su contenido graso, se emplean como sustituto del cacao en la fabricación de chocolate. Esto ha impulsado la búsqueda de alternativas para aprovecharlas en las industrias cosmética y farmacológica.

Sin embargo, a pesar de su potencial, las semillas de Copoazú continúan siendo un subproducto de escaso valor comercial, a pesar de sus destacadas cualidades nutritivas y su utilidad como insumo para productos cosméticos y sustitutos del chocolate (Hernández et al., 2006; Hernández y Barrera, 2009). Estas semillas contienen un 64,85 % de grasa, lo que las hace valiosas para las industrias alimentaria y cosmética (Castro-Robayo, 2010; Gondim et al., 2001). Durante la fermentación, ocurren reacciones bioquímicas que producen precursores del sabor, como aminoácidos, péptidos de cadena corta y azúcares reductores, además de pigmentos fenólicos que influyen en

el color, aroma y sabor de los granos (Kongor et al., 2013; Loayza-lozano, 2014).

La extracción de manteca de las semillas de Copoazú ofrece una oportunidad para agregar valor a este subproducto, pero requiere investigaciones orientadas a mejorar los procesos productivos y la calidad del producto final. Desde un enfoque tecnológico, es esencial estudiar la influencia de los métodos de pretratamiento y las tecnologías de extracción de grasas y aceites, con el objetivo de optimizar la obtención de manteca y fortalecer el sector agroindustrial del departamento de Madre de Dios.

Estudios previos, como los de Santos-Lopes (2000), Galeano-G., Cuellar A. y Schinella (2012), Ramos et al. (2016) y Cuellar-Álvarez et al. (2017), han demostrado que los procesos de fermentación y deshidratación afectan las características sensoriales, fisicoquímicas y antioxidantes de las semillas de Copoazú, principalmente con un enfoque en su uso como sustituto del cacao. Sin embargo, es necesario ampliar estos estudios para comprender mejor cómo influyen estos procesos en la calidad de la manteca extraída.

Una particularidad de las semillas de *T. grandiflorum*, en comparación con el cacao, es su tegumento más grueso, lo que dificulta el proceso de quietud y separación del cotiledón, reduciendo el rendimiento de los nibs (Santos-Lopes, 2000). Este problema afecta especialmente a las pequeñas empresas que producen manteca y pasta de Copoazú, donde el pelado se realiza manualmente. Un estudio que evalúe la extracción de manteca con y sin cáscara permitiría identificar diferencias significativas en el rendimiento.

Actualmente, la mayor parte de la literatura científica sobre el Copoazú se enfoca en su pulpa o en aplicaciones para el sector chocolatero, mientras que los estudios sobre su manteca son limitados. Esta investigación busca abordar los problemas descritos, con énfasis en los procesos de acondicionamiento de las semillas y su impacto en la calidad, actividad antioxidante y rendimiento de la manteca. Estos hallazgos podrían ser de gran interés para las industrias alimentaria y cosmética.

En el proceso de extracción de manteca de Copoazú, observaciones realizadas en Industrias Alimenticias Amazónicas (INALA EIRL) han

identificado que el pelado es una de las etapas más críticas. La literatura describe métodos como inmersión en soluciones alcalinas, vaporización flash, acción enzimática y fricción mecánica; Sin embargo, no se cuenta con informes específicos sobre el pelado de semillas frescas o deshidratadas de Copoazú. En la producción de chocolates, el descascarillado ocurre tras la fermentación y el tostado mediante reducción de tamaño y separación neumática, un procedimiento diferente al de la producción de manteca con fines cosméticos. Las características morfológicas de la semilla, como su cutícula y cáscara, hacen que este proceso sea más complejo. Además, no existen estudios que evalúen el efecto del contenido de cáscara fresca en la calidad y rendimiento de la manteca extraída por prensado hidráulico o expresión mecánica.

1.2 Formulación del problema

¿Qué relación se presenta, entre las condiciones de Pre-tratamiento de la semilla de Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y la variación de los índices de calidad, actividad antioxidante y el rendimiento en manteca cruda, obtenida por prensado hidráulico?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Establecer la relación que se presenta, entre las condiciones de pretratamiento de la semilla de Copoazú (*Theobroma grandiflorum*), en la variación de los índices de calidad, actividad antioxidante y el rendimiento en la manteca cruda, obtenida por prensado hidráulico.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ❖ Evaluar el efecto de la deshidratación convectiva en estufa y exposición directa al sol de la semilla fermentada y sin fermentar, con y sin cáscara en los índices de calidad de la manteca extraída mediante prensado hidráulico.

- ❖ Evaluar el efecto de la deshidratación convectiva en estufa y exposición directa al sol de la semilla fermentada y sin fermentar, con y sin cáscara en la actividad antioxidante de la manteca extraída mediante prensado hidráulico.
- ❖ Evaluar el efecto de la deshidratación convectiva en estufa y exposición directa al sol de la semilla fermentada y sin fermentar, con y sin cáscara en el rendimiento de la manteca extraída mediante prensado hidráulico.

1.4 Variables

1.4.1 Independientes

- ✓ Condiciones de pre-tratamiento de la semilla de Copoazú (*Theobroma grandiflorum*): a) Tipo de deshidratación: convectiva en estufa y exposición directa al sol; b) Semillas fermentadas y sin fermentar; y c) Semillas con y sin cáscara.

1.4.2 Dependientes

- ✓ Variación en los índices de calidad de la manteca de Copoazú (*Theobroma grandiflorum*)
- ✓ Actividad antioxidante de la manteca cruda de copoazú
- ✓ Rendimiento en manteca cruda obtenida.

1.5 Operacionalización de Variables

Tabla 1. Variables e indicadores

VARIABLES	INDICADORES	ÍNDICES
	Variables Independientes	
Condiciones de pretratamiento de la semilla de Copoazú	X1: Condiciones de la semilla de Copoazú	A: Fermentado
		B: Sin fermentar
	X2: Tipo de deshidratación	C: Secado mediante exposición directa al sol
		D: Secado en aire convectivo
		G: Semilla sin cáscara (pelada)

VARIABLES	INDICADORES	ÍNDICES
Variables Independientes		
	X3: Presencia de cáscara en la semilla	H: Semilla con cáscara (sin pelar)
Variables Dependientes		
Variación en los índices de calidad de la manteca de Copoazú	Y1: índice de acidez	mg de KOH/g
	Y2: ácidos grasos libres	% ácido oleico
	Y3: índice de saponificación	mg de KOH/g
	Y4: índice de yodo	g I ₂ /100 g
	Y5: índice de peróxidos	mEq O ₂ /kg
Actividad antioxidante de la manteca cruda obtenida	Y6: Actividad antioxidante	Eq-Trolox Cl 50µg/g
Rendimiento en manteca cruda obtenida	Y7: Cantidad manteca extraída por cada 100 g muestra en base seca	g/100 g

1.6 Hipótesis

Las semillas de Copoazú (*Theobroma grandiflorum*), sometidas a fermentación, deshidratadas en corriente convectiva de aire, con cascara presentan alta actividad antioxidante, índices de calidad comparables con mantecas de uso cosmético; en tanto, las semillas sin fermentar, peladas y secadas al sol, tienen una baja actividad antioxidante, índices de calidad inferiores a mantecas de uso cosmético; los rendimientos en manteca extraídas en todos los casos no difieren significativamente.

1.7 Justificación

Las semillas oleaginosas son una fuente esencial de lípidos, tanto para la nutrición humana como para fines industriales. La grasa extraída de las semillas de Copoazú se distingue por su alto contenido de ácido oleico (omega 9), superior al del cacao, lo que le confiere propiedades beneficiosas para la salud, como la inhibición del colesterol LDL («malo») y el aumento del colesterol HDL («bueno»), mejora de la circulación sanguínea (Lopes, Pezoa-García y Amaya-Farfán, 2008). Además, esta grasa es reconocida por sus propiedades emolientes y su capacidad para nutrir y mejorar la piel, características que la hacen ideal para su uso en productos dermatológicos y farmacológicos (Gilabert-Escrivá et al., 2002).

Desde una perspectiva tecnológica, las semillas de Copoazú representan un recurso subvalorado con un gran potencial de aprovechamiento gracias a su elevado contenido de grasa (50 %-60 %), lo que las convierte en una materia prima atractiva para las industrias cosmética, farmacéutica y alimentaria (Mosquera et al., 2014). Asimismo, el Copoazú posee propiedades antioxidantes y es una fuente importante de ácidos grasos como el oleico, araquídico y linoleico, lo que refuerza su valor para aplicaciones en estas industrias (Alviárez et al., 2016).

Una característica destacada de la grasa de Copoazú es su mayor viscosidad en comparación con la manteca de cacao (Lannes, Medeiros y Gioielli, 2004), lo que la posiciona como un sustituto posible de esta última. Debido a estas propiedades y su alto contenido de ácidos grasos, resulta relevante desarrollar investigaciones orientadas a obtener una manteca de calidad.

A nivel local, el departamento de Madre de Dios ha experimentado un crecimiento sostenido en la producción de Copoazú desde la década de 1990. Según Vásquez (2016), la producción aumentó de 67,1 toneladas en 2009 a 1.293,2 toneladas en 2016, lo que representa un incremento del 1.827%. En 2017, el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) reportó 294 hectáreas cosechadas, una producción de 524 toneladas y un rendimiento promedio de 1.781 kg/ha. Estos datos destacan al Copoazú como un cultivo estratégico en términos socioeconómicos, donde la valorización de

subproductos como las semillas puede contribuir significativamente al desarrollo económico local.

Sin embargo, actualmente no existen informes detallados sobre los efectos del pelado, los métodos de deshidratación o la fermentación en la calidad de la manteca de Copoazú. Por ello, esta investigación busca cubrir este vacío, promoviendo el desarrollo de nuevos productos y estrategias para valorizar los subproductos, mejorar la calidad de la manteca y contribuir al avance de la investigación.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de Estudio

La mayor parte de la literatura científica concernientes al Copoazú están, principalmente, relacionados a la pulpa, su caracterización, deshidratación, desarrollo de bebidas funcionales, etc.; en cuanto a la semilla, los estudios están enmarcados a la aplicación como sustituto de derivados de cacao y chocolate.

Los escasos estudios encontrados relacionados a la manteca de Copoazú, vinculados al objetivo de la investigación, son convenientemente clasificados en dos grupos: y aquellos que destacan las propiedades como un potencial producto funcional o sustituto de la manteca cacao empleado en la industria alimentaria o cosmética.

Primero, los estudios en relación con la influencia de los procesos (fermentación y secado) que sufre la semilla de Copoazú, que afectan la calidad de la manteca de Copoazú, podemos citar los siguientes:

- ❖ Cuellar Á. et al., (2017) estudiaron el efecto del tiempo de fermentación sobre el contenido fenólico y actividad antioxidante de las semillas de Copoazú, mostrando que al inicio de fermentación (primeros días) ocurre un aumento del nivel de contenido fenólico y actividad antioxidante, sin embargo, luego del sexto día empieza un rápido decrecimiento. En consecuencia, estos efectos podrían manifestarse también en la manteca de Copoazú. La actividad antioxidante se analizó empleando los métodos de ABTS, DPPH, FRAP. Según, los estudios que destacan las propiedades de la manteca de Copoazú como un potencial producto

funcional o sustituto de la manteca cacao empleado en la industria alimentaria o cosmética (Cuellar-Alvarez et al. 2017).

- ❖ Moreno et al., (2013) y Alviárez et al., (2016) ambos estudios, realizaron estudios de caracterización en ácidos grasos, índices de calidad, potencial antioxidante y contenido de compuestos fenólicos de la manteca a partir de semillas de Copoazú en madurez fisiológica (sin fermentación); concluyendo que la manteca de Copoazú posee cualidades para su uso en la industria cosmética y alimentaria, destacando sus propiedades antioxidantes en contenido de compuestos fenólicos y fuente importante de ácidos grasos insaturados y menor de saturados en comparación a la manteca de cacao. (Moreno et al. 2013; Alviárez et al. 2016)
- ❖ Galeano et al., (2012) Evaluaron el contenido polifenólico y la actividad antioxidante durante el proceso de beneficio (fermentación, secado y tostado) de los granos de copoazú; concluyendo que las semillas fermentadas presentan mayor contenido de actividad antioxidantes, en contraste con el secado y tostado donde puede disminuir hasta en un 41% aprox. (Galeano-G., Cuellar A. y Schinella 2012).
- ❖ Criollo et al., (2010) La evaluación de la fermentación de las almendras Copoazú incluyó la evaluación de varios factores, entre ellos la duración de la extracción de la pulpa (a las 24 y 48 horas), el contenido inicial de pulpa (al 30% y al 100%), la temperatura de la masa en tres puntos (superior, medio e inferior), el pH, la humedad, la acidez, la prueba de corte y el análisis sensorial. La fermentación se ve ralentizada por el grosor de la cáscara de la almendra Copoazú, y un mayor contenido inicial de pulpa se traduce en mayores niveles de acidez, lo que requiere una actividad microbiana más robusta para generar suficiente calor en la masa. Removiendo la masa durante 24 horas y utilizando almendras despulpadas, se consiguió una fermentación completa en 9 días. El licor de almendras de Copoazú posee atributos sensoriales similares a los de los cacaos criollos. (Criollo, Criollo y Sandoval-Aldana 2010).
- ❖ Nogales et al., (2006) Se examinaron los cambios físicos y químicos que tienen lugar durante el secado al sol de granos de cacao Criollo

(*Theobroma cacao* L) descascarillados manualmente, fermentados y secados al sol. El estudio incluyó un periodo de fermentación de 5 días, seguido de 5 días de secado al sol con 6 horas diarias de exposición al sol en un patio de cemento. Según el estudio, la temperatura de las judías aumentó durante el día, en función de las condiciones del entorno. Las características químicas variaron en función de la duración del proceso de secado y del diseño del fermentador, mientras que los parámetros físicos no se vieron influidos por estos últimos.(Nogales, Graziani De Fariñas y Ortiz De Bertorelli 2006).

- ❖ Mattietto, (2001) estudió la comparación de las transformaciones fisicoquímicas durante el proceso fermentativo de las semillas de Copoazú y cacao, la fermentación fue monitoreada a través de temperatura, pH y acidez, revelando, entre los principales, la influencia en la acidez, pH, composición de fenoles totales y ácidos grasos. Se encontró que la cantidad de lípidos de las almendras de Copoazú es mayor a diferencia del cacao (50,08 % cacao y 58,83% Copoazú fresco) y (53,59 cacao y 60,25% Copoazú fermentado) (Mattietto 2001).
- ❖ Santos Lopes A., (2000) estudió los cambios fisicoquímicos que ocurren en las etapas de semillas frescas, fermentación y tostado, de cacao y Copoazú, además de comparar la calidad nutricional o proteica (de polvo o torta desgrasada). Se concluyó que hay una similitud en la composición centesimal entre las semillas cacao y Copoazú (exceptuando en contenido de lípidos donde el Copoazú presentó valores significativamente superiores), sin variación significativa entre fermentadas y sin fermentar; además, en la composición físico-química de los nibs de la semilla se obtuvo un 9,82% de proteína en semillas sin fermentar y 9,80 % de proteína en semillas fermentadas. se obtuvo un contenido de 25,26+, 0,14 % (b.h) y 24,32 % (b.s) de proteína en torta desgrasada de semilla no fermentada, 26,61+0,1 % (b.h) y 24,32 % (b.s) de proteína en torta desgrasada de semilla fermentada y 28,14 % de (b.h.) y 26,11% (b.s) de proteína en torta desgrasada de semilla fermentada y tostada. donde se evidenció que el mayor valor biológico o proteico es de

Copoazú (almendra Fermentada tostada) con $3,00 \pm 0,20$ (NPR), contenido de proteína en torta 28,14 % de (b.h.) y 26,11% (b.s) y el valor biológico de cacao (almendras tostadas) es $2,03 \pm 0,19$ (NPR), contenido de proteína en torta 28,71 % de (b.h.) y 24,24 % (b.s) , esta calidad biológica no es alterada por la fermentación, pero si mejorada por el tostado, las almendras tostadas promovieron un mayor incremento en el crecimiento de los animales que las semillas frescas y las almendras fermentadas, tanto para el cacao como para copoazú (Santos-Lopes 2000).

2.2 Marco teórico

2.2.1 El Copoazú

El Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) es un árbol frutal originaria de la amazonia, de la familia de las esterculiáceas, familiar del cacao, que se encuentra distribuido en forma silvestre en la Amazonia de Brasil, Bolivia, Perú y Colombia (Hernandez y Barrera 2004) y (Hernández and León, 1992). En Perú, el Departamento de Madre de Dios representa el mayor productor a nivel nacional.

2.2.1.1 Taxonomía del Copoazú

La familia *Sterculiaceae* comprende aproximadamente 65 géneros y cerca de 1000 especies, distribuidas predominantemente en regiones tropicales y subtropicales. En Brasil, esta familia incluye alrededor de 115 especies y once géneros, entre ellos Copoazú. (Rojas et al., 1996)

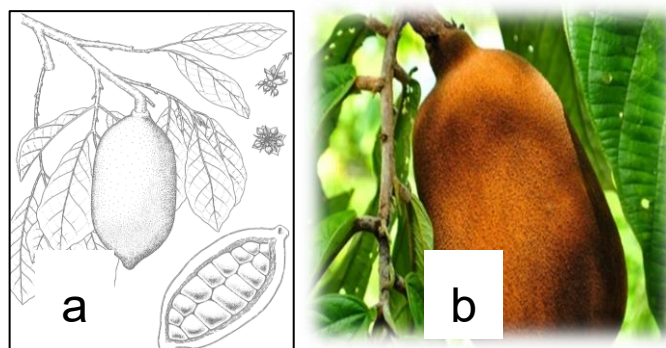


Figura 1. a) Fruto de Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) y b) Copoazú (*Theobroma grandiflorum*), flores y sección del fruto. Fuente: (Hernández and León, 1992)

Según el reporte de Integrated Taxonomic Information System (ITIS [sin fecha]) se indica que la taxonomía del copoazú se clasifica de la siguiente manera:

Reino: Planta

Subreino: Tracheobionta

Familia: Sterculiaceae

Subfamilia: Byttnerioideae

División: Magnoliophyta

Tribu: Theobromeae

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Dilleniidae

Género: Theobroma

Especie: grandiflorum

Nombre Científico: *Theobroma Grandiflorum*

Nombre común: Copoazú, copoasu, cupuazu, cupuassu, cacao blanco.

2.2.1.2 Partes del fruto de Copoazú y su aprovechamiento.

El fruto de Copoazú es considerado una baya drupácea, presentando una forma alargada y con extremos redondeados, pudiendo variar de 15 a 35 cm de largo y un ancho 10 a 15 cm (Calzavara, Muller y Kahwage 1984). El fruto es marrón, vellosa y blanda, de 12 a 25 cm de largo, tiene un diámetro de 10 a 12 cm y pesa de 1 a 2 kg. La cascara es dura, con un espesor de 1 a 3 cm, cubierta por un polvo marrón. Cada fruto contiene entre 20 y 50 semillas rodeadas de una pulpa mucilaginosa (Franco y Shibamoto 2000).

Uno de los principales aspectos del fruto, que lograron promover su cultivo y aprovechamiento, es las partes que lo componen, como se aprecia en la siguiente Tabla 2.

La pulpa y las semillas representan las partes aprovechables del fruto con potencial agroindustrial. La pulpa está compuesta en gran proporción por almidón, polisacáridos de pectina, y fibra dietética, principalmente en forma de fibras insolubles, que mejora los parámetros de textura de los

productos lácteos. Las semillas se pueden procesar para producir un producto parecido al chocolate llamado “*cupulate*”¹ (Alves et al. 2007; Genovese y Lannes 2009).

Tabla 2. Partes del fruto de Copoazú (%)

Parte del Fruto	Autores			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Corteza (%)	43,4	44,6	43	42,22
Pulpa (%)	38,49	37,7	38,5	41,01
Semilla (%)	17,19	17,7	16	17,29
Placenta (%)	2,85	N.R.	2,5	N.R.

N.R.: No reportado

Fuente: (1) Venturieri, 1998 citado por (Vasconcelos 1999); (2) De (Carvalho et al. 1999), (3) De (Araújo Jorge 2011); (4) De (Rojas C. y Villagra H. 2016).

2.2.1.3 Composición proximal de la semilla de Copoazú

Un análisis de composición centesimal, de varios autores, de las semillas secas y frescas es presentado en la Tabla 3.

Tabla 3. Composición proximal de granos de Copoazú y Cacao

COMPOSICIÓN	AUTORES				
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
Humedad (%)	5,66	5,35	4,69	6,06	6,07
Proteínas (%)	20,0	9,80	9,76	10,78	11,49
Gorduras (%)	50,8	63,13	60,25	53,59	53,59
Carbohidratos (%)	15,9	16,09	19,6	23,27	22,03
Fibra (%)	9,6	3,31	3,44	3,8	4,77
Cenizas (%)	3,7	2,32	2,26	2,05	2,05

Fuente: (a) Chaar (1980) citado por (Azevedo 2001); (b) (Lopes 2000); (c) (Mattietto 2001); (d) (Mattietto 2001); (e) (Lopes 2000).

Conforme a la Tabla 3, la composición química de los granos de Copoazú es similar al cacao, resaltando en ambos el contenido de lípidos, superiores al 50%, que en algunos casos el Copoazú llega a poseer

¹ Término empleado en Brasil en idioma portugués.

valores superiores que el cacao. Estas variaciones pueden atribuirse a diversos factores, tales como variedad, manejo agrícola, clima, técnicas de postcosecha, etc.

La composición fisicoquímica del cotiledón de Copoazú es caracterizada por presentar alto valor nutricional, principalmente grasas y proteínas. El estudio realizado por (Lopes 2000) muestra el significativo valor biológico de las proteínas de Copoazú aplicado "*in vivo*". Con respecto a los lípidos, el Copoazú posee importante contenido de ácidos grasos insaturados (oleico y linoleico) y menor de saturados (palmítico). (Moreno et al. 2013).

2.2.1.4 Características fisicoquímicas de la manteca de Copoazú

En la industria de producción de aceites y grasas para consumo alimenticio, las materias primas (semillas, pulpa de frutos, tejido animal) deben cumplir ciertos requisitos. Para una escala de producción industrial, el contenido lipídico mínimo en la materia prima debe ser en torno a 15%; en semillas oleaginosas de 18 a 70%, en pulpas de fruta de 30 a 58%, en tejidos animales de 60 a 90%, y peces de 10 a 20%. (Gunston e and Norris 1983) citado por (Gioielli 1996) Como se vio anteriormente, en la composición proximal, las semillas de Copoazú pueden considerarse esencialmente oleaginosas y con cantidad de lípidos semejante al cacao (Gunstone and Norris 1983) citado por (Gioielli 1996).

La composición de la semilla incluye humedad (5,30%), proteínas (7,81%), fibras (5,56%) y carbohidratos (23,09%). La semilla de cupuassu es muy rica en grasas (660% peso seco), que son 91% digeribles por humanos. El perfil de ácidos grasos incluye palmítico (11,22 % 11,70 %), esteárico (37,86 % 38,15 %), oleico (37,83 % 39,79 %), araquídico (7,44 % 7,97 %), y ácidos linoleicos (2,37% 247%) (Cohen y Jackix, 2005).

2.2.2 Índices de calidad de grasas

En la Tabla 4 se presenta la propiedad fisicoquímica o índice de calidad de la manteca de Copoazú, realizada por estudios anteriores y comparados con normas referenciales.

Se aprecia una amplia variación en los índices de calidad de la manteca de Copoazú estudiadas, en algunos casos con valores de acidez superiores a lo permitido por las normas de Codex Alimentarius y la Norma Técnica Peruana, inclusive en semillas que no sufrieron procesos de fermentación. En el estudio de (Luccas 2001) encontró diferentes contenidos de índice de peróxidos, con variación de 4,7 a 26,0 meq de O₂/kg (25-27°C), empleando semillas de Copoazú de diversos lugares de cultivo.

Una elevada acidez de la manteca de Copoazú está relacionada con la cantidad de ácidos grasos libres, es resultado de la reacción de hidrolisis de los triglicéridos y decurrente aumento del nivel de mono y diglicéridos. Esto puede inferir que las semillas de Copoazú no fueron adecuadamente manipuladas y/o almacenadas, o la extracción de la manteca no fueron en condiciones adecuadas (Luccas 2001).

En caso de que la manteca de Copoazú posea bajos índices de calidad establecidos por las normas, se han estudiado técnicas de neutralización química, con resultados eficaces, como lo registrado por (Luccas 2001; Ruscheinsky 2005).

2.2.2.1 Ácidos Grasos

En el aspecto de la salud, los ácidos grasos saturados favorecen el aumento del nivel de colesterol sanguíneo, uno de los factores de riesgo de arterosclerosis. Por el contrario, los ácidos grasos poliinsaturados y monoinsaturados ayudan a disminuir el nivel de colesterol sanguíneo. El mecanismo de actuación de los ácidos grasos poliinsaturados es disminuyendo las lipoproteínas de baja densidad (LDL o llamado "colesterol malo") y las de alta densidad (HDL o colesterol "bueno"). Sin embargo, el efecto de los ácidos grasos monoinsaturados es la reducción de LDL, que tienden a depositarse en las paredes arteriales, pero puede mantener el nivel de HDL, controlando el exceso de colesterol de la circulación sanguínea, el aceite de oliva sería el más referencial. (Baur, 1995) citado por (Gioielli 1996).

Con el fin de caracterizar la composición de ácidos grasos de estudios anteriores y su comparación con la manteca de cacao, se presenta la

Tabla 5. Los ácidos grasos de las semillas de Copoazú tienen un perfil similar al de otras grasas de importancia, como la manteca de cacao. Su contenido de lípidos puede aportar beneficios a la salud humana y puede encontrar aplicaciones en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria (Itriago et al. 2017).

Además, se puede evidenciar que los ácidos grasos más representativos de la manteca de Copoazú son los ácidos oleicos con un promedio de 40,5% y esteárico con 34%. También están presentes otros ácidos grasos, como el araquídico, el palmítico, el linoleico, el bénico, el galadoleico y el palmitoleico, pero en concentraciones más bajas.

Las diferencias que pueden percibirse entre los perfiles de ácidos grasos, de los estudios anteriores, podría conferirse a diversos factores entre ellos, el origen, ecotipo, postcosecha de la semilla, almacenamiento de granos y método de extracción de la manteca (Luccas 2001) y Guhei et al., 2008). Por otro lado, (Mattietto 2001) demostró que la fermentación no altera significativamente en el porcentaje de ácidos grasos de los granos de Copoazú.

Al igual que en la manteca de cacao, la manteca de Copoazú posee un predominio de ácidos grasos saturados, pero con mayor contenido de ácidos grasos insaturados que la manteca de cacao. Este elevado contenido de ácidos grasos monoinsaturados puede ser el motivo que la manteca de Copoazú es más suave que la manteca de cacao (Luccas 2001). Por lo tanto, se puede concluir que la grasa de Copoazú tiene el potencial de servir como sustituto de la manteca de cacao, con propiedades nutraceuticas aún mejores. Esto se debe a que la composición y concentración de ácidos grasos muestran un mayor contenido de ácidos grasos insaturados y un menor contenido de ácidos grasos saturados. (Moreno et al. 2013).

Tabla 4. Características fisicoquímicas de la manteca de granos de Copoazú y su comparación con normas referenciales

Características fisicoquímicas	Unidad de medida	(Mogrovejo y Torres 2020) (1)	(Alviárez et al. 2016) (2)	(Vasconcelos et al. 1975) (3)	(Moreno et al. 2013) (4)	(Lucas 2001) (5)	(CODEX Alimentarius 2016)- Manteca de Cacao	(Codex Alimentarius, 2015) Grasas y Aceites Comestibles	NTP 209.001:1983 - Aceites Vegetales Comestibles
Densidad	g/ml	--	0,88 ± 0,1	0,907	--	--	--	--	--
Humedad	%	--	--	--	--	0,13	--	--	≤ 0,1
Índice de refracción		--	1,38	1,458	1,459 a 1,465	1,458	--	--	
Acidez Libre	%AGL oleico		--	2,11	--	3,3	1,75 max.	--	≤ 0,2
Índice de acidez	mg KOH/g muestra	0,77	1,04 ± 0,1	4,2	1,372 a 3,872	--		4,00	
Índice de saponificación	mg KOH/g muestra	94,91	188,15 ± 1,5	174,6	155,893 a 324,700	191	--	--	--
Índice de Yodo	g de I/g de aceite	35,33	49,33 ± 1,5	45,9	42,94 a 49,63	45	--	--	--
Índice de Peróxidos	meq de O ₂ /kg (25-27°C)	9,22	2,98	--	4,7 a 26,0	2,03		< 15	≤ 5
Punto de Fusión	°C			32-34		33,9	--	--	--
Materia insaponificable	% (m/m)		--	--	--	--	0,35 max.	--	--

Tabla 5. Composición de los ácidos grasos de la manteca de Copoazú y cacao

Ácidos grasos		Copoazú (Alviárez et al. 2016)	Copoazú (Vasconcelos et al. 1975)	Copoazú (Gilbert- Escrivá et al., 2002b)	Copoazú (Cohen y Jackix 2009)	Copoazú (Itriago et al. 2017)	Copoazú (Pugliese 2010)	Copoazú (Silva et al. 2009)	Cacao (Silva et al., 2009)
Ácido mirístico	C14:0	0,03	--	--	0,08	0,6	--	--	--
Ácido palmítico	C16:0	7,26	5,8	8,5	11,25	8	7,54	6,97	25,11
Ácido palmitoleico	C16:1	0,12	--	0,2	0,4	--	--	0,12	0,29
Ácido esteárico	C18:0	29,27	38,3	34,6	38,09	32,7	32,6	33,08	33,33
Ácido oleico	C18:1	36,30	42,8	42	38,79	40	41,31	42,32	36,47
Ácido linoleico	C18:2	3,60	8,3	3,4	2,39	3,1	4,9	3,55	3,52
Ácido α linolénico	C18:3	0,20	--	--	0,22	0,3	0,2	0,13	0,08
Ácido araquídico	C20:0	11,22	4,8	9,9	7,97	10,4	10,51	11,1	1,02
Ácido galadoleico	C20:1	0,35	--	--	--	--	0,34	0,41	0,09
Ácido bénico	C22:0	2,11	--	1,3	0,74	1,4	1,72	2,32	0,09
Saturados (%)		50,42	48,9	54,3	58,13	53,3	52,81	53,47	59,55
Monoinsaturados (%)		36,78	42,8	42,2	39,19	40	42,12	42,85	36,85
Poliinsaturados (%)		3,8	8,3	3,4	2,61	3,4	5,07	3,68	3,6

2.2.3 Antioxidantes

La tendencia de consumo de alimentos, que además de sus nutrientes, promueven beneficios a la salud y reducen riesgos de enfermedades degenerativas, es atribuida a los compuestos bioactivos y su capacidad antioxidante (Yadav et al. 2016). En esta tendencia, la industria alimentaria y los centros investigación desarrolla diversos estudios relacionados a los alimentos funcionales, prebióticos, probióticos y nutraceuticos (Bigliardi y Galati 2013).

La oxidación es un proceso donde los electrones son transferidos de un átomo a otro, es decir, la molécula pierde un electrón y luego es oxidado. En el cuerpo humano la oxidación y radicales libres son generados principalmente durante la respiración aeróbica, aunque también existe factores externos, tales como el consumo de cigarro, contaminación de aire, exposición a luz ultravioleta y radiación ionizante (Teow, 2005).

Las especies reactivas del oxígeno (Reactive Oxygen Species, ROS) incluyen; a los radicales libres, tales como superóxidos ($O_2^{\bullet-}$), hidroxilos ($HO^{\bullet}$), peróxidos ($ROO^{\bullet}$), alcóxidos ($RO^{\bullet}$) y óxido nítrico ($NO^{\bullet}$); así como determinadas especies no radicales capaces de oxidarse y/o que se transforman fácilmente en radicales libres, como: $HClO$, $HBrO$, O_3 , $ONOO^-$, O_2 , o H_2O_2 (Halliwell and Whiteman 2004) citado por (Gallego 2016)

Además de dañar las células y causar diversas enfermedades, los ROS pueden potencialmente causar oxidación en productos alimentarios (Teow, 2005).

Los antioxidantes son sustancias que bloquean o retrasan la oxidación de otras moléculas inhibiendo el inicio o la propagación del proceso de oxidación. Esto se consigue impidiendo que se produzca la reacción oxidativa en primer lugar (Gallego 2016). Los antioxidantes son un componente esencial del mecanismo de defensa del cuerpo humano contra las ROS debido a este aspecto de su función. (Yadav et al. 2016).

El cuerpo humano, en su proceso de adaptación, ha desarrollado mecanismos de defensa para reducir los daños hechos por los radicales

libres a través de la autoproducción de enzimas antioxidantes, tales como, glutatión peroxidasa, catalasa, superóxido dismutasa (SOD) y el Citocromo P450, pero requiere cofactores de micronutrientes como el selenio, el hierro, el cobre, el zinc y el manganeso para una actividad catalítica óptima. Además de ello, la dieta de antioxidantes es considerado muy positiva, y necesaria en un estado de estrés oxidativo, para controlar y/o finalizar la cadena de reacción de radicales libres a través de la donación de protones y, con ello, reducir el riesgo de enfermedades crónicas (Teow, 2005 and Yadav et al. 2016).

Los antioxidantes sintéticos y los antioxidantes naturales son las dos categorías principales que pueden dividirse en subcategorías al hablar de las propiedades de los antioxidantes.

2.2.3.1 Antioxidantes sintéticos

Los antioxidantes sintéticos han sido utilizados desde comienzos del siglo XX (Velioglu et al. 1998). Sólo una parte de los antioxidantes sintéticos disponibles en el mercado se han considerado adecuados para su uso en la industria alimentaria. Ello se debe a que es necesario garantizar que sus formas oxidadas y productos de reacción con los constituyentes de los alimentos no presenten toxicidad ni actividad cancerígena. Los permitidos actualmente son el Butil Hidroxi Anisol (Butyl Hydroxy Anisol, BHA), Butil hidroxi tolueno (Butyl Hydroxy Toluene, BHT), galato de propilo (Propyl Gallate, PG), Terbutil Hidroquinona (Tert Butylhydroquinone, TBHQ), galato de octilo (Octyl Gallate, OG) y galato de dodecilo (Dodecyl Gallate, DG) (Makahlhe, 2015) Citado por (Gallego 2016).

A pesar de ser muy eficaces y rentables, los antioxidantes sintéticos pueden ser perjudiciales para la salud de los consumidores. Además, la necesidad de envasar los productos durante largos periodos de tiempo ha impulsado la búsqueda de nuevas sustancias naturales que puedan sustituir a los antioxidantes comerciales sin suponer ningún riesgo para la salud humana. (Berdal et.al., 2010) citado por (Gallego 2016).

2.2.3.2 Antioxidantes Naturales

Antioxidantes naturales son aquellos que provienen de fuentes naturales, tales como las frutas, vegetales y carnes (Yadav et al. 2016).

Los antioxidantes naturales más utilizados en aplicaciones alimentarias son el ácido ascórbico (vitamina C) y sus derivados (ascorbato sódico, ascorbato cálcico, palmitato de ascorbilo), los tocoferoles, los ácidos fenólicos y los flavonoides. (Seppanen et.al., 2010) citado por .(Gallego 2016) Los carotenoides y los compuestos nitrogenados, como alcaloides, aminoácidos y aminas, junto con ciertas proteínas, se encuentran entre los demás compuestos naturales que poseen actividad antioxidante. (Velioglu et al. 1998).

La vitamina C ha sido señalado como responsable de la regeneración de la vitamina E. El β -caroteno y otros carotenoides son también conocidos en proveer protección antioxidante a tejidos ricos en lípidos, incluso se señala que puede trabajar sinérgicamente con la vitamina E. (Yadav et al., 2016).

Los compuestos polifenólicos, también conocidos como compuestos fenólicos, son un amplio grupo de sustancias químicas que comparten la característica común de tener un anillo aromático con uno o más sustituyentes hidroxilo. Abarcan más de 8.000 compuestos distintos y han demostrado una importante actividad antioxidante.(Sotero et al. 2011).

2.2.3.3 Antioxidantes en el Copoazú (*Theobroma grandiflorum*)

En el estudio realizado por (Sotero et al. 2011) a cuatro frutos amazónicos, de la familia *Sterculiaceae*, se encontró que el copoazú(*Theobroma grandiflorum*) presenta una excelente actividad antioxidante y una importante concentración de compuestos fenólicos. De estos compuestos fenólicos la familia química de los flavonoides reportó una importante presencia.

En cuanto al Copoazú, según (Pugliese 2010), la semilla es la parte del fruto que posee mayores niveles de capacidad antioxidante, que puede llegar a ser hasta cinco veces superior que la pulpa en los niveles de

capacidad antioxidante y cantidad de polifenoles totales. Sin embargo, las semillas de Copoazú poseen menor contenido de polifenoles que las semillas de cacao (Martini 2004)

La cuantificación de los compuestos fenólicos en la semilla de copoazú realizada por (Cuellar-Alvarez et al. 2017), registró 840,14 mg/g en contenido de fenoles totales, 12,64 mg/g en antocianina totales, 363,73 mg/g en flavonoides totales, 10,06 mg/g en catequina y 5,74 mg/g en epicatequina. (Pugliese 2010), declara que las flavonas están principalmente compuestas de sulfato glucorónidos.

Así mismo, la actividad antioxidante de la semilla de copoazú, puede presentar diferentes niveles, de acuerdo a la metodología empleada, como lo estudiado por (Cuellar-Alvarez et al. 2017), quien observó una actividad antioxidante de 1438,17 $\mu\text{mol Trolox/g}$ empleando el método DPPH², 925,45 $\mu\text{mol Trolox/g}$ en ABTS³ y 624,67 $\mu\text{mol aa/g}$ empleando la metodología FRAP⁴.

El potencial antioxidante del Copoazú frente a antioxidantes sintéticos es demostrado por (Galeano-G., Cuellar A. y Schinella 2012), quien reveló que los extractos metanólicos de granos de Copoazú, que incluso fueron fermentados, secados y tostados, lograron presentar mayor actividad antioxidante que el compuesto sintético BHT.

Otro estudio, por (Oliveira y Genovese 2013), revela que tanto las pastas de Copoazú como los de cacao demostraron efectos positivos sobre el perfil de lípidos y el estado antioxidante en ratas STZ-diabéticas, demostrando sinergismo entre los ácidos grasos y los compuestos fenólicos para contribuir a la reducción de la hipertrigliceridemia causada por la falta de insulina. El autor también sugiere que, considerando los ácidos grasos específicos y el perfil fenólico, la pasta de Copoazú puede ser superiores al cacao.

² DPPH: radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo

³ ABTS: radical 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)

⁴ FRAP: capacidad de Reducción férrica del plasma.

De acuerdo con (Mattietto 2001), (Pugliese 2010) y (Cuellar-Alvarez et al. 2017), el procesamiento de la semilla de Copoazú, tales como fermentación, secado y tostado, genera diversas transformaciones fisicoquímicas en la semilla de Copoazú, incluyendo los niveles de compuestos fenólicos y actividad antioxidante, aspectos que son desarrollados a continuación.

2.2.4 Postcosecha y cambios fisicoquímicos de la semilla de Copoazú.

2.2.4.1 Fermentación de la semilla de Copoazú

El proceso tecnológico de fermentación de la semilla de Copoazú es realizado tradicionalmente empleando los criterios para la fermentación del cacao. Este proceso es considerado un prerrequisito para la muerte de la semilla y generación de los precursores de sabor y aroma a chocolate, causado por reacciones fisicoquímicas y realizado por diversas técnicas o métodos (Braudeau, 1979 apud Graziani et al., 2003). En el estudio realizado por Vas(Vasconcelos 1999) concluye que los cambios fisicoquímicos y transformaciones bioquímicos observados a lo largo del proceso de fermentación de las semillas de copoazú son similares a los referidos al cacao.

La temperatura es el primer efecto físico e indicador del estado de fermentación, generado por reacciones exotérmicas de hidrólisis de proteínas y carbohidratos catalizados por enzimas proteolíticas y levaduras (Lemus et.al., 2001) citado por (Criollo, Criollo y Sandoval-Aldana 2010). El calor producido de la fermentación, en semillas de cacao y copoazú (*Theobroma grandiflorum*), puede normalmente alcanzar un máximo de 45 a 50°C después de 72 horas (tercer día), estabilizándose y disminuyendo lentamente en los próximos días(Lopes 2000); (Vasconcelos 1999) y (Mattietto 2001). Sin embargo, de acuerdo con(Criollo, Criollo y Sandoval-Aldana 2010), a diferencia del cacao, el proceso fermentativo de las semillas de Copoazú puede mostrar retraso (más tiempo de fermentación) debido al mayor grosor de la cascarilla (alrededor de 0,54 mm de Copoazú y 0,26 mm de cacao), su alto

contenido de pulpa inicial y elevada acidez. Según (Ramos et al. 2016) sugiere que la fermentación de semillas de Copoazú contenga entorno de un 15% de pulpa para obtener un mejor desarrollo de compuestos volátiles aromáticos, asociados a características de fino chocolate.

A nivel de composición centesimal, estudios realizados por (Criollo, Criollo y Sandoval-Aldana 2010) y (Vasconcelos 1999) registraron un aumento de aproximadamente 10% de humedad en el cotiledón durante el proceso de fermentación, debido al fenómeno de equilibrio osmótico y exudación de la pulpa que se difunde desde la testa hacia el cotiledón. Otro componente, con importante variación en el cotiledón, son los azúcares (sacarosa, glucosa y fructuosa) que son hidrolizados y consumidos a lo largo de la fermentación hasta concentraciones casi insignificantes en sacarosa y glucosa (Mattietto 2001). En cuanto al resto de macronutrientes afectados por la fermentación en el cotiledón de Copoazú (proteínas, lípidos, fibra, etc.), según (Mattietto 2001), no hay concordancia entre varios autores, incluso con variaciones no significativas, debido a diversos factores como variedad, madurez, condiciones climáticas, etc.

Durante el proceso fermentativo el ácido acético y láctico, resultado de la degradación microbiana de la pulpa, son difundidos al cotiledón y, por consiguiente, se aumenta la acidez (con disminución de pH) hasta el tercer o cuarto día, para luego presenciar un decrecimiento de la acidez (aumento de pH) y estabilización hasta el final del proceso (Meyer et al., 1989 apud Graziani, 2003, (Lopes 2000). En el estudio realizado por (Vasconcelos 1999), en la fermentación de semillas de Copoazú, observó la reducción del pH inicial del cotiledón (semilla fresca) de 6,3 hasta 4,39 en el sexto día, etapa final del proceso fermentativo, resultados semejantes fueron obtenidos por (Lopes 2000).

De acuerdo a la literatura consultada, el ácido acético es el principal y predominante durante la fermentación; mientras que el ácido láctico aparece con menor concentración, producto del metabolismo de bacterias lácticas. En el caso estudiado por (Mattietto 2001), el ácido acético inició

con menos de 0,1%, alcanzado 0,97% el cuarto día y terminando con 0,52% en el séptimo día; mientras en el ácido láctico no fue detectado en el primer día, pero alcanzó 0,50% el tercer día y se redujo hasta no ser detectado en el séptimo día de fermentación.

El efecto de la fermentación en los compuestos fenólicos, tales como la antocianina, responsables del color purpura en cotiledón de granos frescos de cacao son hidrolizados u oxidados por procesos enzimáticos (por ejemplo, por polifenol oxidasa y glucosidasas) a antocianidinas y luego polimerizados con catequinas para formar taninos complejos, consecuentemente modificando la pigmentación de color purpura a marrón y reducción de astringencia en el sabor final, considerado buena fermentación (Kongor et al. 2013).

Esta degradación de compuestos fenólicos totales (CFT) es observada en la semilla de Copoazú, reduciendo progresivamente su concentración en cada etapa de proceso, como lo referido por (Mattietto 2001) quien inició con 109, 72 mg/g antes de la fermentación a 57,46 mg/g al final de la fermentación y 44,52 mg/g en los granos secos. Según (Galeano-G., Cuellar A. y Schinella 2012), esta variación del contenido de polifenoles afecta simétricamente en la actividad antioxidante, quien evidenció mayor actividad antioxidante en granos fermentados que los secos y tostados.

El estudio realizado por (Cuellar-Alvarez et al. 2017), en la etapa de fermentación de granos de Copoazú, evidenció que tanto el CFT y actividad antioxidante hubo un aumento en el día 6 de la fermentación y, luego, un rápido decrecimiento en los siguientes días. Resultado diferente fue encontrado por (Mattietto 2001) quien solo observo un decrecimiento progresivo.

El efecto de la fermentación en la calidad de la manteca de Copoazú podría asemejarse a los resultados observados en el cacao. TOKU-APPIAH (2016), evidenció el incremento del índice de acidez, índice de iodo, índice de peróxidos y ácidos grasos libres de la manteca de cacao conforme aumenta el tiempo de fermentación, atribuido a procesos bioquímicos de hidrolisis y oxidativos de triglicéridos.

2.2.4.2 Deshidratación de la semilla de Copoazú.

Aunque el objetivo fundamental de secado es reducir la humedad de las semillas de cacao o Copoazú para garantizar su conservación, continúan cambios fisicoquímicos en el cotiledón procedentes de la fermentación, que mejoran las características sensoriales, hasta una reducción de humedad menor a 7% o la inactivación de las enzimas (Kyi et al. 2005) y (Afoakwa et al. 2015). En un secado natural debe realizarse en un buen piso de preferencia de madera ya que las semillas de cacao tienen la característica de ser “higroscópica” (absorbe olores) (Quiroz V. 2012).

Conforme a (Galeano-G., Cuellar A. y Schinella 2012) y (Lopes 2000) la semilla de Copoazú, luego de la fermentación, se somete a un proceso de secado hasta llegar a una humedad en un rango de 5 a 10%, condición apropiada para su almacenamiento y transporte.

El aumento de pH y la disminución de acidez de los granos fermentados durante el secado son efectos que provienen y continúan del proceso fermentativo. Según (Lopes 2000), Guehi et al., (2010) y (Afoakwa et al. 2015) et al., con estudios en granos de Copoazú y caca fermentados, entienden este efecto como resultado de la migración de ácidos volátiles, desde el cotiledón hacia el exterior, principalmente de ácido acético. (Mattietto 2001) evidenció una reducción de ácido acético en granos de Copoazú de 0,52% (al final de la fermentación) a 0,11% en el grano seco. Además, se comprobó que secados rápidos y temperaturas elevadas producen endurecimiento de la cascara que dificultan la migración o evaporación de ácidos volátiles, recomendando el uso de secado solar o artificial con temperaturas moderadas (Jinap et al., 1995). Citado por (Afoakwa et al. 2015), y (Hii et al. 2009) apud Guehi et al., 2010). Como explicación complementaria, Liao (1978) apud (Afoakwa et al. 2015) señala que la reducción de acidez durante el secado puede ser también atribuidos a los procesos de oxidación enzimática.

En cuanto a los efectos del secado en los índices de calidad de la fracción lipídica, y considerando las similitudes del Copoazú al cacao, (Afoakwa et al. 2015) observó el incremento de ácidos grasos libres durante el

periodo de secado en los granos de cacao fermentados, atribuido a la actividad enzimática de la lipasa, presente de forma natural en los granos, y actúan descomponiendo los triglicéridos en grupos separados de ácidos grasos y glicerol, por tanto, liberando los ácidos grasos. Así mismo, Guehi et al., (2010) observó que el secado, ya sea solar o artificial (60°C), incrementa los niveles de ácidos grasos libres por debajo del valor crítico de 1.75%⁵ en granos de cacao fermentados, similar resultado obtuvo Zahouli et al. (2010) sin diferencias significativas entre varios métodos de secado. De acuerdo con Guénot et al. (1976) apud Guehi et al. (2010) altos contenidos de ácidos grasos libres por encima de 1,75% se observan en semillas de cacao de baja calidad.

2.2.5 Proceso industrial de producción de aceites y grasas.

Los aceites y grasas se encuentran de forma natural en una gran variedad de fuentes vegetales y animales. Es denominado “aceite” cuando se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente y “grasa” cuando están solidas a la misma temperatura (20°C) (Goioelli, 1999).

Sólo se han explotado comercialmente unos 30 aceites vegetales y grasas animales en todo el mundo, a pesar de la abundancia de semillas y frutos secos que pueden utilizarse para obtener aceite. Entre ellos, aproximadamente una docena se consideran de importancia mundial. Los cuatro aceites principales que más se comercializan son el aceite de soja, el de palma, el de colza y el de girasol, que juntos representan alrededor del 80% de la producción mundial.(FAO 2008).

Para el procesamiento industrial de aceites y grasas comestibles, las materias primas (semillas, pulpa de frutas y tejidos animales) deben cumplir ciertos requisitos. Para que el procesamiento sea viable económicamente, el nivel mínimo de lípidos en la materia prima debe ser alrededor de 15%, por ejemplo; 18 a 70% en semillas oleaginosas poseen; 30 a 58% en pulpas

⁵ Contenido máximo de ácidos grasos libres (expresado en ácido oleico) en manteca de cacao establecido por la DIRECTIVA 2000/36/CE - relativa a los productos de cacao y de chocolate destinados a la alimentación humana.

de frutas; 60 a 90% en tejidos animales; y 10 a 20% en peces (Gunstone & Norris, 1983 apud Goioelli, 1999.)

A escala industrial, la producción industrial de aceites y grasas generalmente esta simplificada en las siguientes fases:

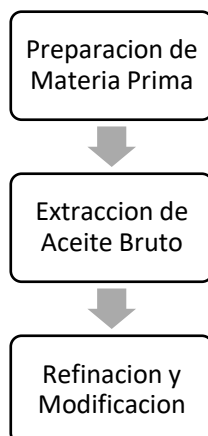


Figura 2. Fases generales del proceso industrial de aceites y grasas

Fuente: (Gioielli 1996).

Así mismo, cada fase comprende diversas etapas y procesos específicos ajustados a las características o matriz de la materia prima para la obtención del producto final (aceite o grasa).

(Pons 2015) también resume estas fases de la siguiente forma: “(...) limpieza para eliminar materias extrañas, secado para disminuir la humedad de la semilla, pelado de la semilla, tratamiento térmico para facilitar la extracción del aceite, extracción por prensado (métodos mecánicos) y/o por solvente (métodos químicos) del aceite contenido en las semillas. La separación del aceite de la mezcla resultante (conocida como micela), compuesta además por solventes e impurezas, se realiza a través de posteriores procesos de evaporación y condensación del solvente, con vista a su reutilización posterior. La refinación, destilación y desodorización del aceite crudo completan este proceso, haciendo el producto apto para el consumo humano.” (p.12).

2.2.5.1 Pretratamiento o Acondicionamiento.

La importancia de esta etapa se fundamenta en su efecto para lograr la idoneidad y mayor rendimiento posible del material oleaginoso, comprendido principalmente la limpieza, secado y trituración de las

semillas. La limpieza es primer proceso previo a la extracción de aceite, eliminando materiales extraños (hojas, tierra, etc.) y defectuosos no deseados en la materia prima, empleando cribas o tambores rotatorios. En el caso de semillas y granos es común controlar la humedad, a través de un secado solar o artificial, para mejorar la eficiencia de extracción y destruir bacterias y mohos (Pons 2015) y (Bailey, 2001) Citado por (Miranda 2015)

Opcionalmente se puede someterse a un calentamiento de la masa triturada (ejemplo: vapor de agua a 90°C) para facilitar el proceso de extracción. La trituración y calentamiento, además de la ruptura celular, permite la coagulación de las proteínas e inactivar las enzimas, facilitando el flujo intercelular del aceite (permeabilidad) y evitando la degradación del producto final. Es necesario el control de temperatura para evitar la formación de colores y sabores indeseados (Belitz, Grosch y Schieberle 2008).

(Bailey, 2001) Citado por (Miranda 2015) refiere los estudios que demuestran la eficiencia de extracción de aceite mediante el empleo de calentamiento o cocción de la masa; uno de los efectos es la unión de gotas dispersas (formando gotas de mayor tamaño) que puedan fluir con mayor facilidad.

El acondicionamiento también permite reducir la humedad al 3% aproximadamente para luego realizar el proceso de extracción (Belitz, Grosch y Schieberle 2008).

2.2.5.2 Proceso de Extracción.

Históricamente, los dos procesos más comunes para recuperar el aceite a partir de semillas oleaginosas son el prensado y la extracción con solventes; también clasificados en mecánicos, químicos o aquellos que comprenden combinación de los dos (Pons 2015) (Pons, 2015). Aunque en los últimos años y en una etapa inicial a nivel industrial se viene promoviendo la extracción por fluidos supercríticos (Mohd et al. 2012). Para tener como referencia las principales técnicas, ventajas y desventajas se muestra la Tabla 6.

Desde una perspectiva ambiental, el proceso industrial de obtención de aceite a través de solventes, principalmente el hexano, implica fuertes agresiones al medio ambiente por las emisiones de los solventes orgánicos a la atmosfera(Pons 2015).

Tabla 6. Ventajas y desventajas de principales técnicas de extracción de aceites y grasas

Tipo de Extracción	Técnicas	Ventajas	Desventajas
Por Prensado	Prensado en frío y almacenamiento a baja temperatura (4°C) en la oscuridad	Los aceites presentan mejor conservación de los componentes antioxidantes, comparada con la extracción por solventes.	Rendimientos bajos o extracción parcial de aceite
	Prensa tornillo “expeller” con calentamiento (25 a 30°C)		
Por solventes	Método Soxhlet, usando generalmente hexano	Favorece las características funcionales del aceite como la retención de agua y la estabilidad de emulsión	Provoca pérdidas ligeras de antioxidante. Alto costo de los solventes orgánicos. Es cuestionado por los efectos en la salud y medio ambiente por el uso del hexano.
Con Fluidos Supercríticos	Uso del CO ₂ en estado supercrítico	Mejor pureza. El rendimiento del aceite se puede aumentar con mejora de la presión, pero la temperatura alta lo afectará ligeramente.	Instalaciones muy costosas

Fuente: (Mohd et al. 2012).

Como regla general, aquellas semillas oleaginosas o materiales con bajo contenido lipídico (menor a 20-25%) son directamente llevados a un proceso de extracción por solvente y los materiales con elevados contenidos lipídicos (mayor a 25%) son prensados, obteniendo una torta que posee entorno de 10 a 15% de grasa, residuo aprovechado mediante extracción por solventes. (Hoffmann, 1989) citado por (Gioielli 1996);(Belitz, Grosch y Schieberle 2008).

2.2.5.2.1 Extracción Discontinua (Prensado)

La extracción por prensado puede clasificarse en dos tipos: Discontinuo (por bach) y el prensado Continuo (expeller).

El prensado discontinuo representa la técnica más antigua de extracción de aceites, basado en la aplicación de presión sobre la masa de material oleaginoso, acondicionadas en mallas, especie de bolsas, telas u otro material inerte e inocuo que permita retener la torta y dejar fluir la parte liquida. Como esquema referencial se muestra la figura 3.

En un proceso de extracción de aceite, la variable de la presión es de suma importancia, ya que una mayor presión provoca una mayor ruptura de las células que almacenan el aceite en la semilla, lo que se traduce en una mayor eficacia de la extracción de aceite. El rendimiento de la operación de prensado es directamente proporcional a la presión y al tiempo de prensado; cuanto mayor sea la presión, más eficaz será el sistema, y con un tiempo de prensado más largo, se aprovechará mejor la ruptura de las células que almacenan el aceite debido a la presión mecánica. (Bailey, 2001) citado por (Miranda 2015).

La prensa discontinua de tipo cerrado, como se muestra en la figura 3 y también llamada prensa de jaula, consiste en una caja finamente perforada donde se coloca el material que se va a prensar, y el aceite que sale por las perforaciones se recoge aplicando presión.

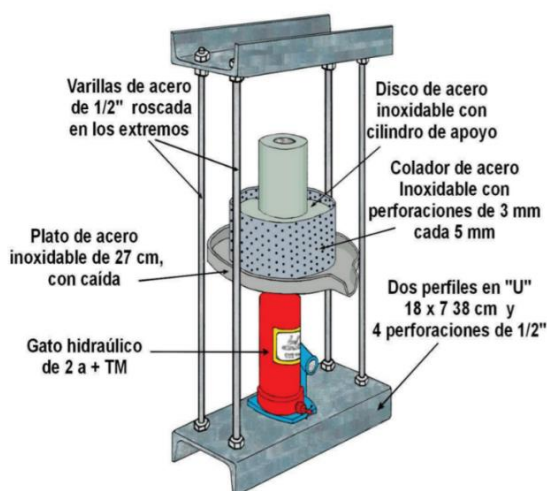


Figura 3. Esquema básico de prensa hidráulica artesanal

Fuente: (ITICAB, 2013) citado por (Miranda 2015)

El tipo básico ha sufrido modificaciones para eliminar la caja perforada debido a su engorrosa y costosa fabricación mecánica. La modificación más común consiste en una serie de anillos dispuestos verticalmente que permiten que el aceite obtenido durante la operación de prensado gotee a lo largo de ellos y se acumule en un recipiente colocado en la base de la prensa. (Liñeiro, 1944), como puede mostrarse en la siguiente Figura 4 aplicada en extracción de aceite de oliva.



Figura 4. Prensa hidráulica aplicada a la extracción de aceite de oliva

Fuente: <http://www.oleoturismia.com>

Como referencia a la presión ejercida, (Bernardini, 1985) citado por (Gioielli 1996) sugiere emplear inicialmente una presión de 300 a 400 Kg/cm², aumentando gradualmente hasta una presión final de 1000 a 1400 Kg/cm². Mientras se demande menos contenido de aceite residual en la torta, mayor será la potencia necesaria (Kwh/t de semilla) y menor la capacidad (t de semilla/día).

2.2.5.2.2 Extracción Continua (expeller)

El prensado hidráulico, y sus limitaciones frente a la demanda de producción intensiva conllevó a que actualmente no sea muy utilizado. El equipo hidráulico original ha sido sustituido en gran medida por prensas de tornillo, como las expellers, que se utilizan para una amplia gama de materias oleaginosas.

Las " expeller ", también llamadas prensas continuas en Norteamérica, están compuestas por un tronco alargado y cónico. Un tornillo gira en su

interior sobre el mismo eje, arrastrando la harina en su espiral de modo que el espacio entre la harina y la carcasa disminuye gradualmente. El cono tiene una serie de perforaciones que permiten la salida del aceite, mientras que la harina prensada y extraída sale por la punta del cono, por encima de la ranura del tornillo. En algunas máquinas, este mismo sistema se ha aplicado a la inversa, es decir, la camisa exterior es cilíndrica y el tornillo que empuja el material es cónico. (Liñeiro, 1944).

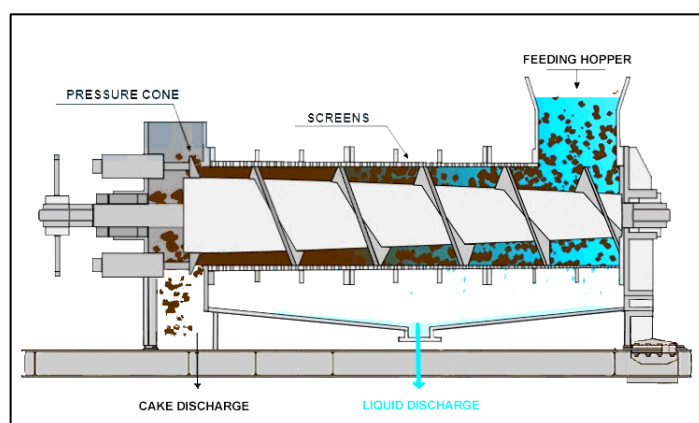


Figura 5. Elementos de una prensa común expeller.

Fuente: <http://shredding-machine.com>

Cuando la temperatura no es una preocupación primordial, y en particular cuando las semillas tienen un alto contenido de aceite, utilizar la máquina continua es más ventajoso, ya que ofrece una mayor eficacia y facilidad de uso. (Liñeiro, 1944).

El método de prensado (tanto discontinuo como continuo) tiene una ventaja significativa, ya que es un proceso puramente mecánico y no implica la adición de ningún aditivo químico, lo que garantiza que el aceite resultante sea más saludable y conserve todas sus propiedades organolépticas, como el sabor, el color y la textura.

2.2.6 Contexto general de la agroindustria del copoazú

La diversa literatura consultada indica que el desarrollo del cultivo de Copoazú se inició en Brasil en la segunda mitad del siglo XX. Por consecuencia, el Copoazú ha venido liderando a nivel mundial la producción y procesamiento industrial del Copoazú, consolidando mercados en las diferentes regiones de Brasil y generando interés de

nuevos mercados (exportaciones) en países de Europa, Asia y Estados Unidos. (Rodríguez, 1996 apud Ruschensky, 2005; Bayle, 2015).

Según **Dirección Regional de Agricultura (2021)** el copoazú tiene un rendimiento 1352 Kg/Ha, en el 2020 fue de 36 Ha y en 2021 hasta julio fue de 41 Ha sembradas esto implica que será mayor la producción de copoazú en Madre de Dios.

Según **Dirección Regional de Agricultura (2022)** la producción de copoazú en el 2022 fue de 299.58 toneladas y la superficie de cosecha fue 295 ha.

A nivel nacional, conforme a Vásquez (2016), solo el Departamento de Madre de Dios registra estadísticas de producción de Copoazú, desde el 2009, con una tendencia creciente, aumentando de 67,1 t. a 1293,2 t. del fruto, desde el 2009 a 2016, respectivamente Figura 6.

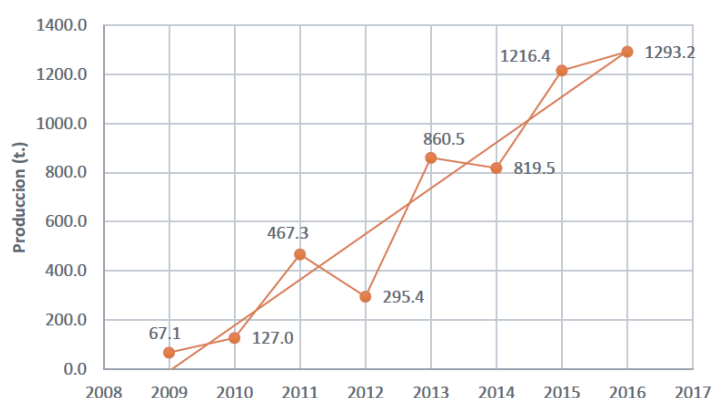


Figura 6. Producción (t.) de fruto de Copoazú en el Departamento de Madre de Dios desde 2009 a 2016

Fuente: Vásquez (2016) a partir de datos del INEI⁶ y la DRA⁷

La producción en Madre de Dios inicia en la década del 90, a través del fortalecimiento de la cadena productiva y aceptación en el mercado local, continuando su crecimiento en la década del 2010 (Vasquez, 2016).

En la región se utiliza la pulpa de Copoazú para la preparación de mermeladas, jugos, yogurt, néctares y dulces, procesada por pequeñas empresas agroindustriales; mientras que la semilla es mayormente

⁶ INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática

⁷ Dirección Regional de Agricultura de Madre de Dios

desaprovechada; en pequeños volúmenes y de forma artesanal la semilla es procesada para la elaboración de “*copulate*” o “chocoazú”⁸ que es un equivalente al chocolate (Avila V. y Silva R. 2008; Pizzini 2007).

En los últimos años el problema del escaso valor del subproducto “semilla”, viene tomando interés por diversas instituciones (ONG, Universidad, empresas, etc.) proponiendo alternativas como el intensivo procesamiento para la industria de chocolate y obtención de manteca de Copoazú para uso cosmético.

⁸ El término “copulate” o “chocuazu” empleado en Perú de comercialmente para un producto similar al chocolate,.

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de estudio

Es una investigación tipo experimental y correlacional.

3.2 Diseño de estudio

Para el estudio se utilizó el diseño factorial, considerándose 3 factores y cinco respuestas, completamente aleatorizado, con tres repeticiones en cada punto experimental, para el cual se ha utilizado el software de Design Expert 2013, versión estudiante. El plan experimental y la matriz de diseño se muestran en la tabla 7 y 8 respectivamente. La representación esquemática del estudio se observa en la Figura 7.

Tabla 7. Plan experimental seguido en el estudio

Tratamiento de la semilla	Presencia de cáscara	Tipo de secado	Variables Respuesta
Semilla fermentada (SF)	Con cáscara (SFCC)	Solar directo (SSD)	Índices de calidad
		Corriente Convectiva de aire (SCCA)	Actividad antioxidante
	Sin cáscara (SFSC)	Solar directo (SSD)	Rendimiento
		Corriente convectiva de aire (SCCA)	Índices de calidad
Semilla sin fermentada (SSF)	Con cáscara (SSFCC)	Solar directo (SSD)	Actividad antioxidante
		Corriente Convectiva de aire (SCCA)	Rendimiento
		Solar directo (SSD)	Índices de calidad

Tratamiento de la semilla	Presencia de cáscara	Tipo de secado	Variables Respuesta
	Sin cáscara (SSFSC)	Solar directo (SSD) Corriente convectiva de aire (SCCA)	Índices de calidad Actividad antioxidante Rendimiento

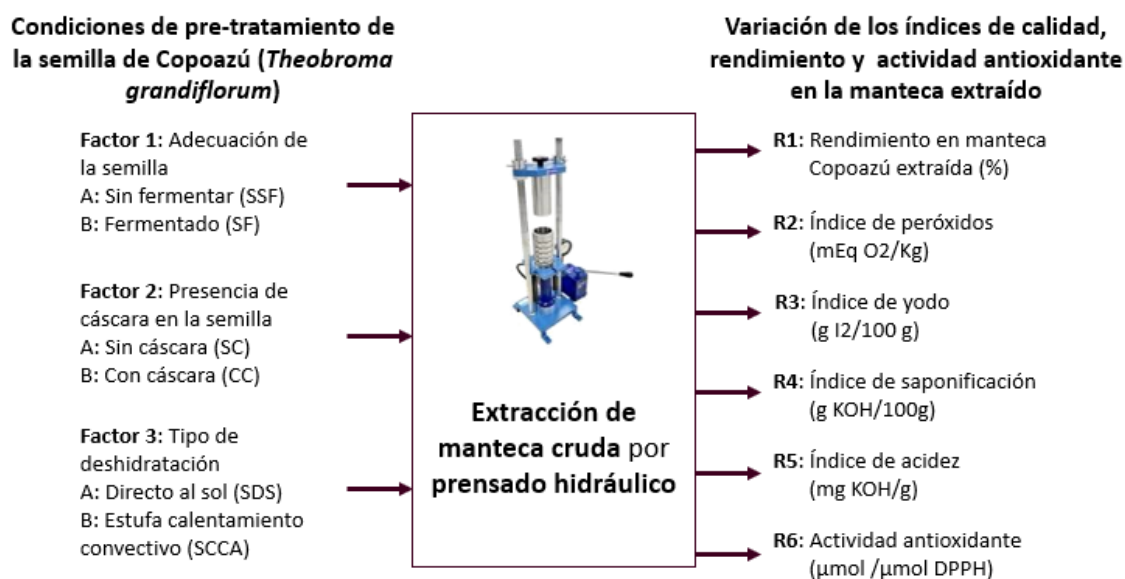


Figura 7. Representación esquemática del efecto de las variables en la respuesta utilizados en el estudio

3.3 Población, muestra y lugares de ejecución

3.3.1 Población

Para el trabajo de investigación, se emplearon frutos provenientes del predio agrícola del Sr. Nicolas Huanca Quispe, con una extensión de cultivo del fruto de Copoazú de 10 Ha, el mismo es integrante en la Asociación de productores el Progreso “Yanaocas”, ubicado en la comunidad Unión Progreso, km 83 carretera Puerto Maldonado–Cusco, Distrito de Inambari, provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios.

3.3.2 Muestra

Por las características de la prensa hidráulica, cuya capacidad máxima de prensado fue de 2 Kg muestra y según el número tratamientos experimentales considerados en la matriz de diseño, se utilizó 20 Kg de

semilla fermentada y 20 Kg de semilla sin fermentar. La manteca extraída con la prensa hidráulica a escala banco, se recogió en un envase de vidrio de 500 ml, y luego se ha mantenido a temperatura de 4 °C y en un ambiente cerrado hasta el momento del análisis fisicoquímicos y cromatográficos correspondientes.

3.3.3 Lugar de ejecución

La investigación se ejecutó en el laboratorio de ingeniería de procesos, laboratorio de investigación y planta piloto de frutas de Carrera profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional amazónica de Madre de Dios. Los análisis cromatográficos y de los índices de calidad se han llevado a cabo en los siguientes laboratorios:

- ❖ Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) laboratorio de Cromatografía.
- ❖ Universidad Nacional del Altiplano (UNA)-PUNO, laboratorio de Bromatología de la carrera profesional de Ingeniería Agroindustrial.

3.4 Métodos y técnicas

3.4.1 Materiales, equipos y reactivos

a. *Materiales de Laboratorio*

- ❖ Campanas desecadoras de vidrio al vacío, de 5 Litros.
- ❖ Matraz Erlenmeyer 50,100 y 150 ml., Probetas graduadas 100ml, Vasos de precipitación de 50,100 y 200 ml
- ❖ Bandejas de mallas metálicas, Espátula, Bagueta, Cuchillo, Tubos de ensayo, Gradillas, Placas Petri
- ❖ Cucharilla, Envase de vidrio 500 ml y 300 ml, Probeta 500 ml, Pizeta, Papel filtro, Mortero

b. *Materiales de campo*

- ❖ Cajones fermentadores, ejecutados en madera.
- ❖ Baldes de 5 galones, ejecutados en PVC

- ❖ Bandeja de madera para secado

c. Reactivos

- ❖ Hidróxido de sodio (NaOH) al 0,1 N, Fenolftaleína al 1%, Solvente: mezcla de disolvente Ácido Acético Glacial; cloroformo.
- ❖ Ioduro de potasio, Tricloruro, Solución de almidón (%), Disolución de patrón de $S_2O_3 Na_2$, 0,1 N
- ❖ Hidróxido de potasio al 0.1 N, Ácido clorhídrico 0,5 Mol/L, Alcohol etílico al 96 %

d. Equipos e Instrumentos

- ❖ Estufa universal automática de marca METRATEST, temperatura máxima 200°C GERMANY.
- ❖ Balanza analítica marca AND. modelo AC ADAPTERDC12V serie N° 14243897.
- ❖ pH metro digital con microprocesador de la nueva línea Hanna Instruments, caracterizado por una gran precisión en las mediciones y amplia versatilidad. Tienen rango pH de 2 a 16, con resolución hasta 0,001 pH.
- ❖ Molino metálico manual con mango de madera Marca corona.
- ❖ Equipo Soxhlet compuesto por un refrigerante y un extracto, marca Ding Xin Yi.
- ❖ Termómetro de alcohol de 0°C-100°C
- ❖ Prensa hidráulica de acero inoxidable con una presión de 5 a 1000v.
- ❖ Baño termostático Electric wáter bath with, voltaje 220, 50 Hz, Temperatura
- ❖ Despulpadora de acero inoxidable AISI 304 con un tamiz perforado de 1,2 mm, Un motor completo con poleas, bandas y cárter de protección.

- ❖ Refractómetro Escala del índice de refracción: 1 3000 – 1 7000 nD, Precisión: 0,0002 nD, Escala de °Brix: 0 - 95 %

3.5 Metodología

3.5.1 Pre-tratamiento del fruto de Copoazú

a. *Materia prima*

Los frutos de Copoazú fueron recolectados del predio agrícola del Sr. Nicolas Huanca Quispe, cuya extensión de cultivo del fruto de Copoazú de 10 Ha, perteneciente a la Asociación de productores el Progreso “Yanaocas”, ubicado en la comunidad Unión Progreso, km 83 carretera Puerto Maldonado–Cusco, Distrito de Inambari, provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios, se recolectaron frutos maduros(100 Kg), según las características que indica(Hernández & Barrera, 2004)



Figura 8 Árbol y Futo de Copoazú.

b. *Selección y clasificación*

En esta etapa, se realizó manualmente la separación de frutos con problemas de madurez, fungosos y en mal estado (deteriorados con daños mecánicos a consecuencia del transporte, entre otros), se realizó en mesas de acero inoxidable AISI 304, de la planta Piloto de la Carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial.



Figura 9 Fruto de Copoazú.

c. Lavado y desinfección

El lavado del fruto de Copoazú se realizó en un equipo llamado; lavador de rodillos, con una aspersion de agua. Los frutos fueron sometidos a un lavado con agua potable, para así eliminar la tierra, polvo y partículas extrañas, que vienen adheridas a la cáscara del fruto con la ayuda de un escobillón. La desinfección fue por inmersión en agua, con dilución de hipoclorito de sodio 0,5-1 %, durante 10 minutos (reduciendo microorganismos presentes), seguidamente se enjuagan los frutos con agua corriente.

d. Quebrado o partido de los frutos

Previo al despulpado, se realizó la ruptura o separación de la pulpa, junto a la semilla y cáscara, manualmente se golpeó el fruto con un mazo de madera, para facilitar la apertura de este; se retiró la pulpa y semilla de la cascara.

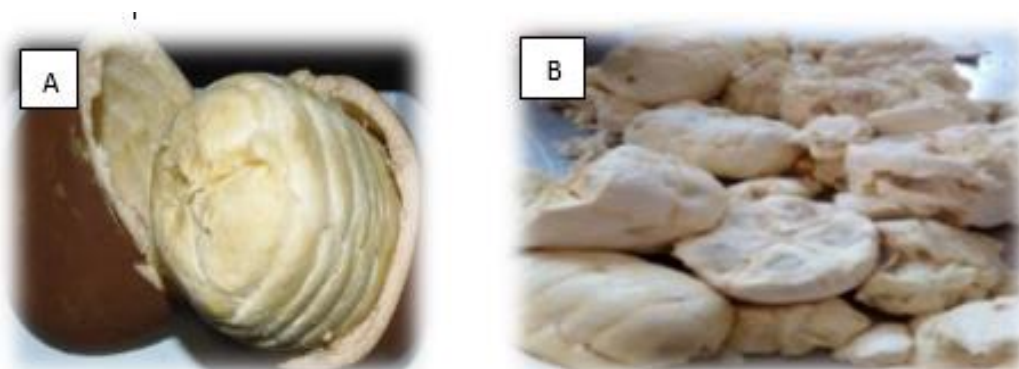


Figura 10. Fruto de copoazú quebrado (A) y pulpa junto a la semilla(B).

e. *Despulpado.*

Se realizó en una pulpeadora mecánica (malla con orificio de 8mm de diámetro) de 3HP, construida en acero inoxidable AISI, separándose las semillas de la pulpa. Las semillas obtenidas, se recepcionaron en recipientes de acero inoxidable AISI 304, para pasar la siguiente etapa.



Figura 11. Fruto de copoazú quebrado (A) y pulpa junto a la semilla(B).

f. *Selección y pelado de semilla fresca de Copoazú*

Las semillas frescas, se seleccionaron y pelaron manualmente en una mesa de acero inoxidable, con la ayuda de un cuchillo realizando incisiones en la parte central de las semillas; desprendiendo la cascara de las almendras.



Figura 12. Semilla fresca de copoazú

g. *Fermentación de semillas*

Se realizó en cajas de madera de la especie de tornillo (resistente a la acidez de la pulpa de copoazú, no absorbe humedad y no presenta olores que pudieran transferirse a las semillas), con dimensiones 100x50x60 cm, divididas en dos compartimientos de 50x50x60 cm, los cajones tuvieron un orificio en la base internade un diámetro de 0,5 cm, espaciados a 2,5 cm, para facilitar la exudación de lixiviados en la masa).

Se colocaron 50 kg de semillas fresca, se obtuvieron 40 kg de semilla fermentada, con remoción cada 24 horas, temperatura ambiente (28-30 °C) el cual se empleó para los diferentes procesos.



Figura 13. Cajas de madera para la fermentación (a) y semilla en proceso de fermentación de Copoazú (b)

h. Pelado

Esta operación se realizó manualmente, con la ayuda de un cuchillo, realizando incisiones en la parte central de las semillas y así ir desprendiendo las cascarillas de las almendras. Esto se realizó, para las semillas frescas sin fermentar y las semillas fermentadas de copoazú, para luego realizar la deshidratación.

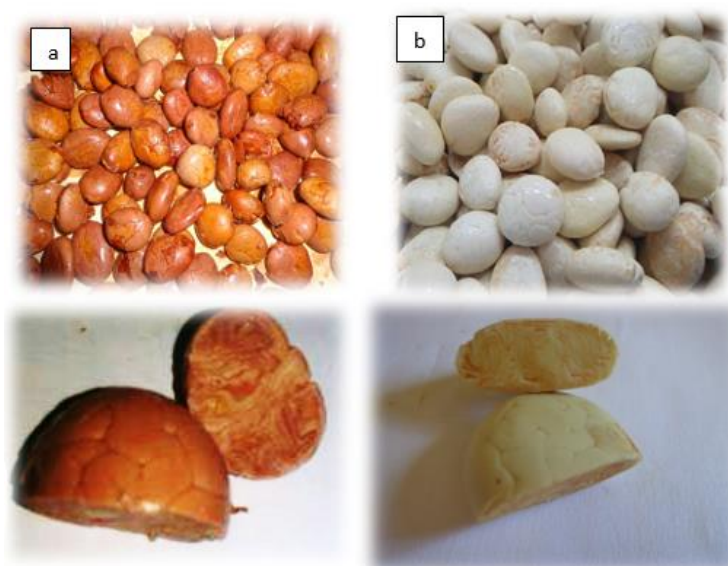


Figura 14. Semillas de Copoazú pelada, fermentada (a) y fresca (b)

i. Deshidratación de la semilla con exposición directa al sol

Se emplearon bandejas de madera, colocando las semillas en 4 rumas de 5kg cada uno. La intensidad de la luz solar durante 24 horas se controló

mediante el software Logger pro – 3.14, el cual cuenta con un sensor de luz, registrándose así la intensidad de exposición al sol de las semillas, a las condiciones que indican en la Tabla 07 y Tabla 08.



Figura 15. Semilla de Copoazú deshidratada en secador solas de madera (a), con cascara (b) y sin cascara (c).

j. Deshidratación de la semilla -Artificial y/o en estufa (secador de aire convectivo)

Las semillas, fueron deshidratadas en una estufa con corriente de aire convectivo, se empleó bandejas de mallas acondicionadas a la estufa con aire forzado a 70 °C, durante 13 horas, en donde se colocaron 10 kg de semilla, divididas en bandejas, de 5 kg cada una, a las condiciones que indican en la Tabla 07 y Tabla 08.



Figura 16. Deshidratación de semilla de Copoazú en estufa, fermentada con cascara(a) y sin cascara (c), fresca con cascara (b) y sin cascara (d).

3.1.1.1 Diagrama de bloques para la extracción de Manteca de la semilla de Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*)

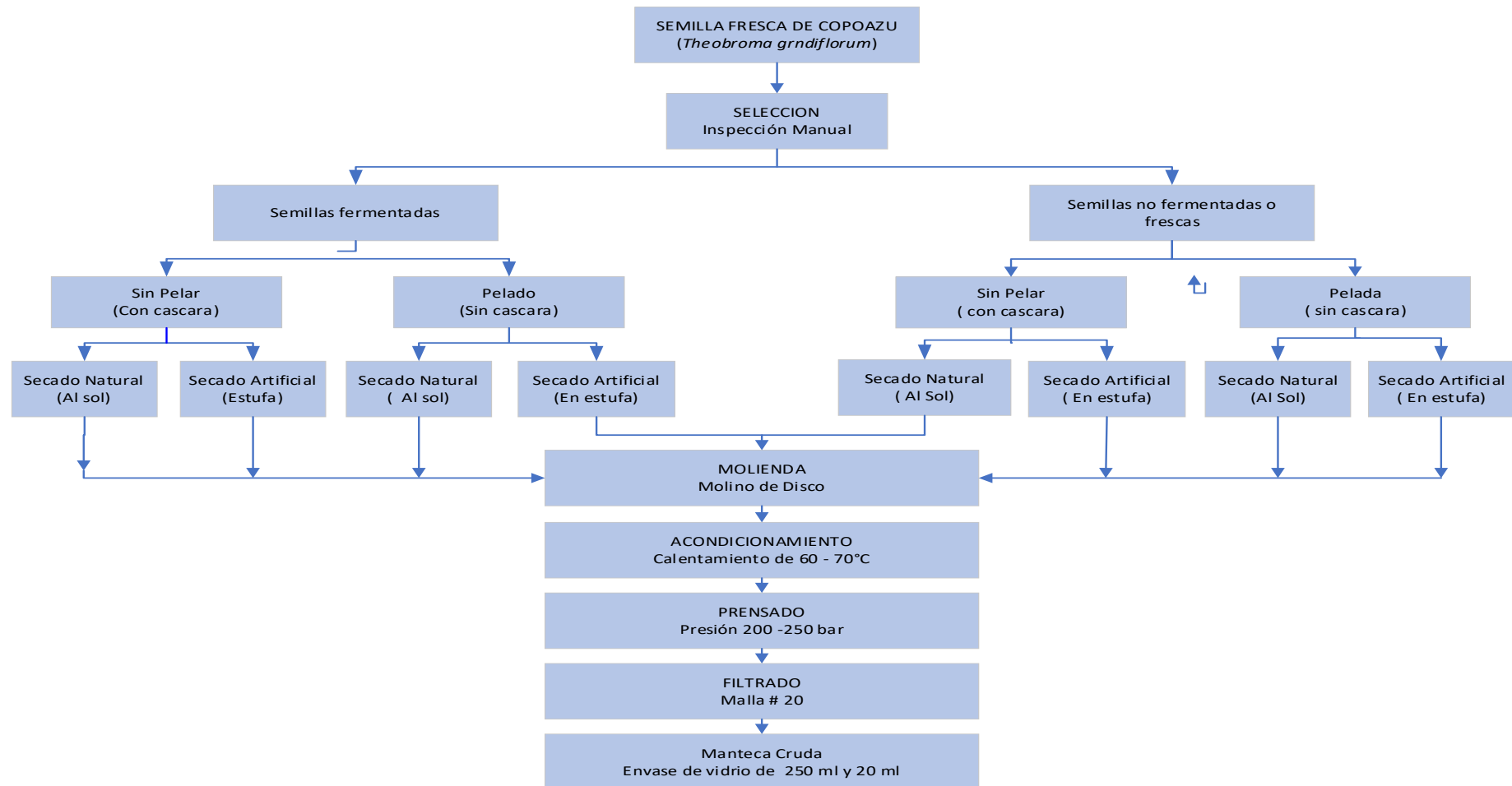


Figura 17. Flujograma experimental del estudio, para la obtención de manteca de semilla de Copoazú

3.5.2 Determinación de las características morfológicas de la semilla

La caracterización morfológica, consistió en el análisis de estereoscopio de las semillas frescas y fermentadas, las muestras se sometieron a un corte transversal longitudinal, con una cuchilla afilada; obteniéndose dos mitades. Para observar los glóbulos grasos, las muestras se rociaron con una solución de azul de metileno, luego se observaron y fotografiaron en un estereoscopio trinocular con luz polarizada, según la recomendación realizada por (Scussel, et al., 2014).

3.5.3 Extracción de la manteca por prensado hidráulico de las semillas de Copoazú

Para establecer las condiciones óptimas del proceso de prensado hidráulico de la muestra, se determinaron las condiciones óptimas con muestras frescas y muestras fermentadas, considerando las siguientes variables independientes o factores de diseño: Tratamiento de grano (A); Presencia de cascara (B); Tipo de deshidratación (C), tal como se aprecia en la Tabla 11. Para optimizar se utilizó el Diseño de Superficie Respuesta, Diseño Compuesto Central (DCC) o Diseño Factorial Completo General. El procedimiento seguido en esta etapa, fue:

Molienda: La muestra es molida de forma manual en un molino de disco, hasta reducirlo a un tamaño de partícula aproximada de $0,005\mu$, esta operación unitaria se realiza con la finalidad de facilitar la transferencia de la grasa contenida en los intersticios vasculares de la semilla hacia el exterior (Mogrovejo y Torres 2020).



Figura 18. Semilla de Copoazú triturada o molida.

- ❖ Calentamiento de la muestra antes del prensado hidráulico: Se realiza el calentamiento de la semilla molida de Copoazú en una estufa con aire convectivo a una temperatura de 60-70 °C, controlado por un controlador PID, Fijándose el set-point de la temperatura preestablecida por un tiempo de dos horas, esto para facilitar el prensado.
- ❖ Presado y/o Extracción de la Manteca de Copoazú por prensado hidráulico: Una vez molida y calentada la muestra, se trasvasan 200 g de muestra en el cilindro de extracción para luego proceder extraer la grasa por prensado hidráulico, durante 15 minutos, se realizará con el prensado hidráulico de 10 toneladas a una presión 200 – 250 bar. de esto se obtiene manteca de la semilla de Copoazú y por otro lado la torta retenida en el cilindro. El cual posteriormente se sometieron a análisis de contenido de grasa para determinar el rendimiento y análisis fisicoquímicos.
- ❖ Post-tratamiento de la manteca obtenida: La meteca extraída inicialmente fue filtrada en una malla #20, para retener algunos grumos que caen junto a la meteca cruda, luego se pesó y se midió el volumen obtenido, seguidamente fueron trasvasados en frascos de 250 ml, fueron refrigerados a 5°C, se tomaron muestras de 20 ml para sus análisis fisicoquímicos correspondientes indicadas según la Matriz de respuesta Tabla 11.

3.5.4 Métodos y Técnicas para el Análisis Fisicoquímico de la Manteca

El análisis físico químico de la manteca cruda de la semilla de Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*), se llevó a cabo en el laboratorio de bromatología de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, siguiendo las técnicas estandarizadas que se muestran en Tabla 8.

**Tabla 8. Normas Correspondiente para el Análisis Físico
Químico de la manteca de semilla de Copoazú.**

ANÁLISIS	MÉTODO
Índice Refracción	
Índice de Acidez	Método AOAC-1998, 940.28
Índice de Peróxidos	Método AOAC-1998, 965.33
Índice de Yodo	Método AOAC-1998, 993.20
Índice de Saponificable	Método AOAC-1998, 920.160

Fuente: Laboratorio de bromatología de la UNA-PUNO, (2021)

3.5.5 Actividad Antioxidante (Método DPPH)

La actividad antioxidante se llevó a cabo en el laboratorio de cromatografía de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, donde se utilizó el método del DPPH es un radical establece de color violeta, cuya absorbancia disminuye al ser reducido por un antioxidante. La capacidad antioxidante de extractos se cuantificó según lo reportado por (Brand, Cuvelier y Berset 1995) y (Liza A-Rahaman et al. 2013), con algunas modificaciones realizadas.

a. Preparación de los reactivos

- ✓ Radical DPPH: se pesa 2,3 mg y se disuelve en 100 ml de etanol el radical preparado es estable 12h a temperatura ambiente y protegido de la luz (Brand-Williams, Cuvelier y Berset 1995).
- ✓ Preparación del estándar de referencia TROLOX: se emplea el Trolox en metanol se prepara una disolución madre (Gómez-Alonso et al. 2003)

b. Medidas de la actividad antioxidante de las muestras

- ✓ se extrae según el método (Lavelli 2002), se mezcla el aceite en metanol en proporción de 1:1/ (Esparza 2017).

3.5.6 Análisis de ácidos grasos por Cromatografía de Gases y espectrometría de Masas (CG-MS)

Los análisis de ácidos grasos se llevaron a cabo por cromatografía de gases-espectrometría masas (GC-MS), con un cromatógrafo AGILENT

6890N, acoplado a detector de masas AGILENT 5975B, con una energía de ionización de 70 eV, Modo de Ionización; impacto Electrónico (IE), Modo de escaneo de masas; 40-500 uma. Con un Inyector Automático: 7683B, Columna: DB-23, 60m x I.D 0.250 x 0,15 μ m Film., condición del cromatógrafo a una temperatura del Horno Inicial 140°C y final 230 °C, con tiempo de corrida de 35 minutos. Puerto de inyección; Modo: Split, Relación de Split: 10:1, Temperatura Inicial 250 °C, Tipo de gas Hielo y Flujo 0,8 mL/ min. Volumen de Inyección: 0,1 μ L. Frank, Philip 2003

3.5.7 Extracción de grasas de semilla de copoazú por el método soxhlet

El objetivo es comparar el contenido y la calidad de la manteca obtenida, una muestra testigo se sometió a la extracción por el método de soxhlet (Al-Saqarat et al. 2019). Los resultados obtenidos son considerados para el cálculo del rendimiento y eficiencia de extracción por prensado hidráulico. El procedimiento seguido fue:

- ✓ Acondicionamiento de la muestra: Triturar la semilla descascarada en un mortero y luego deshidratar en una estufa a una temperatura de c.a 105 °C, hasta peso constante;
- ✓ Lavar y secar el equipo soxhlet en una estufa a 70 °C, y enfriar en una campana de desecación, por un lapso de tiempo hasta que la temperatura sea la ambiental, c.a. 27 °C;
- ✓ En una balanza analítica, pesar balón de destilación vacío (1 m);
- ✓ Pesar la muestra seca en una balanza analítica (M); envolver la muestra en papel filtro y registrar los pesos obtenidos. Posteriormente poner la muestra a la cámara de extracción del soxhlet;
- ✓ Trasvasar solvente (hexano) al balón de destilación;
- ✓ Ensamblar las partes del equipo Soxhlet (balón, extractor Soxhlet, adaptador y refrigerante);

- ✓ Conectar el sistema de refrigeración al refrigerante asegurándose una circulación constante de agua fría. Por efecto de calentamiento del solvente, la misma asciende al condensador y el condensado por efecto de la gravedad percola en la cámara de extracción del soxhlet, extrayendo la grasa contenida, siendo un proceso discontinuo y cíclico, para lo cual se deja este ciclo por el lapso de 3 a 4 horas;
- ✓ Concluido el tiempo de proceso, se retira el balón conteniendo solvente y extracto etéreo, para evaporar el solvente remanente en m_2 una estufa a temperatura de c.a. 50 °C hasta peso constante.
- ✓ En una balanza analítica, pesar el balón con grasa extraída y registrar los datos, (m_2). El contenido de grasa en la semilla sin tratamiento, se calcula con la siguiente ecuación:

$$Grasa (\%) = \frac{m_2 - m_1}{M} \times 100 \quad (1)$$

3.6 Tratamiento de datos

Para establecer la relación entre las condiciones de pre-tratamiento de la semilla de *T. grandiflorum* en la variación de los índices de calidad, y la eficiencia y al Variación de la actividad de antioxidante de la en manteca cruda extraídos por prensado hidráulico, se realizó un grupo de experimentos diseñados, primero para establecer las condiciones óptimas de prensado.

Para establecer las condiciones óptimas del proceso de prensado hidráulico de muestra, se determinaron las condiciones óptimas con muestras fresca y muestras fermentadas, considerando las siguientes variables independientes o factores de diseño: Tratamiento de grano (A); Presencia de cascara (B); Tipo de deshidratación (C), tal como se aprecia en la Tabla 9. Para optimizar se utilizó el Diseño de Superficie Respuesta, Diseño Compuesto Central (DCC) O Diseño Factorial Completo General. La matriz de diseño se muestra, Tabla 11.

3.6.1 Diseño experimental para la optimización del proceso de extracción de manteca de Copoazú por prensado hidráulico.

El objetivo de esta etapa fue, establecer las condiciones operativas óptimas a las cuales realizar el prensado hidráulico de la semilla de *T. grandiflorum*, estableciéndose como variables independientes o factores manipuladas Tratamiento de grano (A); Presencia de cascara (B); Tipo de deshidratación (C), evaluando Actividad antioxidante, los índices de calidad y rendimiento de la manteca extraída.

Tabla 9: Matriz de factores y niveles (DesignExpert 13)

Factor	Nombre	Mínimum	Máximum	Levels:	
A	Tratamiento del grano	Sin fermentar	Fermentada	Levels:	2: (+1, -1)
B	Presencia de cáscara	Con cáscara	Sin cáscara	Levels:	2: (+1; -1)
C	Tipo deshidratación	Solar directo	Convectivo en estufa	Levels:	2: (+1, -1)

Donde: A = Tratamiento de grano; B = Presencia de cascara; C = Tipo de deshidratación

Tabla 10: Matriz de Respuesta para el estudio de extracción de manteca de semilla de copoazú.

Response	Nombre	Unidad	Mínimo	Máximo	Promedio	Dev. Esta
R1	Rendimiento	%	22,4	47,38	30,61	7,46
R2	Índice de Peróxidos	mEq O ₂ /Kg	3,45	20,87	11,37	4,31
R3	Índice de Yodo	g I ₂ /100g	6,49	9,77	7,77	0,8334
R4	Índice de Saponificación	g KOH/100g	57,41	295,59	165,31	63,78
R5	Índice de Acidez	mg KOH/g	4,79	10,09	6,65	1,48
R6	Punto de Fusión	°C	30	35,9	33,69	1,4

El nivel de los factores se toman como referencia de estudios similares para copoazú y Cacao (Mogrovejo y Torres 2020); (subroto, 2015).

El número total de experimento, según la ecuación (2), siendo para estudio 24 experimentos, y la matriz de diseño se observa en la Tabla 11.

Tabla 11. Matriz de diseño en escala codificada

Nº	Factor A	Factor B	Factor C	R1	R2	R3	R4	R5
1	{ -1}	{ -1}	{ -1}					
2	{ -1}	{ 1}	{ 1}					
3	{ -1}	{ -1}	{ 1}					
4	{ 1}	{ -1}	{ -1}					
5	{ -1}	{ 1}	{ 1}					
6	{ -1}	{ 1}	{ 1}					
7	{ 1}	{ 1}	{ 1}					
8	{ -1}	{ 1}	{ -1}					
9	{ -1}	{ -1}	{ 1}					
10	{ 1}	{ 1}	{ -1}					
11	{ 1}	{ -1}	{ 1}					
12	{ 1}	{ 1}	{ 1}					
13	{ 1}	{ -1}	{ 1}					
14	{ 1}	{ 1}	{ 1}					
15	{ -1}	{ -1}	{ -1}					
16	{ -1}	{ -1}	{ -1}					
17	{ 1}	{ 1}	{ -1}					
18	{ -1}	{ 1}	{ -1}					
19	{ -1}	{ -1}	{ 1}					
20	{ 1}	{ 1}	{ -1}					
21	{ 1}	{ -1}	{ -1}					
22	{ 1}	{ -1}	{ 1}					
23	{ -1}	{ 1}	{ -1}					
24	{ 1}	{ -1}	{ -1}					

Donde: A = Tratamiento de grano (1: Semilla fermentada, -1, semilla sin fermentar); B = Presencia de cascara (1 sin cáscara, -1, con cáscara); C = Tipo de deshidratación (1, secado en corriente convectiva de aire, -1, Secado con exposición directo al sol)

R1: Rendimiento (g/100 g); R2: Índice de Peróxidos (mEq O₂/Kg); R3: Índice de Yodo (g I₂/100g); R4: Índice de Saponificación (g KOH/100g); R5: Índice de Acidez (mg KOH/g)

3.6.2 Análisis Estadístico

El análisis de los resultados se realiza mediante ANOVA, usado para discutir los efectos relativos de todos los factores en la respuesta y

determinar qué factores tienen los mayores efectos. (Montgomery & García, 2004). Los parámetros usando ANOVA son calculados con las ecuaciones de la Tabla 15

En un diseño factorial $a \times b \times c$ como el del ejemplo, se supone que el comportamiento de la respuesta y puede describirse mediante el modelo de efectos dado por:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}; \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, c, l = 1, 2, \dots, n$$

donde μ es la media general, α_i es el efecto del nivel i -ésimo del factor A , β_j es el efecto del nivel j del factor B y γ_k es el efecto del nivel k en el factor C ; $(\alpha\beta)_{ij}$, $(\alpha\gamma)_{ik}$ y $(\beta\gamma)_{jk}$ representan efectos de interacción dobles (de dos factores) en los niveles ij , ik , jk , respectivamente, y $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ es el efecto de interacción triple en la combinación o punto ijk ; ε_{ijkl} representa el error aleatorio en la combinación $ijkl$ y l son las repeticiones o réplicas del experimento. Todos los efectos cumplen la restricción de sumar cero, es decir, son desviaciones relacionadas con la media general m . De manera alternativa, se tiene el modelo de regresión dado por:

$$Y_{ijkl} = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2j} + \beta_3 X_{3k} + \beta_{12} X_{1i} X_{2j} + \beta_{13} X_{1i} X_{3k} + \beta_{23} X_{2j} X_{3k} + \beta_{123} X_{1i} X_{2j} X_{3k} + \varepsilon_{ijkl}; \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, c, l = 1, 2, \dots, n$$

El estudio factorial de tres factores (A , B y C) permite investigar los efectos: A , B , C , AB , AC , BC y ABC , donde el nivel de desglose o detalle con el que pueden estudiarse depende del número de niveles utilizado en cada factor.

De esta manera, se tienen siete efectos de interés sin considerar desglose, y con ellos se pueden plantear las siete hipótesis nulas H_0 : Efecto $A = 0$, H_0 : Efecto $B = 0$, ..., H_0 : Efecto $ABC = 0$, cada una aparejada con su correspondiente hipótesis alternativa. El ANOVA para probar estas hipótesis se muestra en la tabla 12

Tabla 12. Análisis ANOVA para el diseño factorial a x b x c

Fuente de Variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F0	Valor - p
Efecto A	SC_A	a - 1	CM_A	CM_A / CM_E	$P(F \leq F_0^A)$
Efecto B	SC_B	b - 1	CM_B	CM_B / CM_E	$P(F \leq F_0^B)$
Efecto C	SC_C	c - 1	CM_C	CM_C / CM_E	$P(F \leq F_0^C)$
Efecto AB	SC_{AB}	(a-1) (b-1)	CM_{AB}	CM_{AB} / CM_E	$P(F \leq F_0^{AB})$
Efecto AC	SC_{AC}	(a-1) (c - 1)	CM_{AC}	CM_{AC} / CM_E	$P(F \leq F_0^{AC})$
Efecto BC	SC_{BC}	(b-1) (c-1)	CM_{BC}	CM_{BC} / CM_E	$P(F \leq F_0^{BC})$
Efecto ABC	SC_{ABC}	(a - 1) (b - 1) (c - 1)	CM_{ABC}	CM_{ABC} / CM_E	$P(F \leq F_0^{ABC})$
Error	SC_E	abc (n-1)	CM_E		
Total	SC_T	abcn - 1			

Al efecto cuyo valor- p sea menor que el valor especificado para alfa, se declara estadísticamente significativo o se dice que está activo. Las sumas de cuadrados son muy similares a las obtenidas para dos factores (ecuaciones 5.2 y 5.3); habrá que considerar un subíndice adicional para el tercer factor, y comenzando otra vez por la suma total de cuadrados, éstas resultan ser:

$$SC_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n Y_{JKL}^2 - \frac{Y^2}{N} \quad (4)$$

donde $N = abcn$ es el total de observaciones en el experimento.

Las sumas de cuadrados de efectos son:

$$\begin{aligned}
 SC_A &= \sum_{i=1}^a \frac{Y_{i***}^2}{bcn} - \frac{Y^{2***}}{N}; SC_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_{*j**}^2}{acn} - \frac{Y^{2****}}{N}; SC_C = \sum_{k=1}^c \frac{Y_{**k*}^2}{abn} - \frac{Y^{2****}}{N}; \\
 SC_{AB} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y_{ij***}^2}{cn} - \frac{Y^{2****}}{N} - SC_A - SC_B; \\
 SC_{AC} &= \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \frac{Y_{i*k*}^2}{bn} - \frac{Y^{2****}}{N} - SC_A - SC_C; \\
 SC_{BC} &= \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{Y_{*jk*}^2}{an} - \frac{Y^{2****}}{N} - SC_B - SC_C; \\
 SC_{ABC} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{Y_{ijk*}^2}{n} - \frac{Y^{2****}}{N} - SC_{AB} - SC_{AC} - SC_{BC}
 \end{aligned} \tag{5}$$

Al restar éstas del total, la suma de cuadrados del error resulta ser:

$$SC_E = SC_T - SC_A - SC_B - SC_C - SC_{AB} - SC_{AC} - SC_{BC} - SC_{ABC} \tag{6}$$

cuyos respectivos grados de libertad se dan en la tabla 12. Una vez hecho el ANOVA, se procede a interpretar los efectos activos y a diagnosticar los supuestos del modelo.

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1 Resultados descritos en la metodología

4.1.1 Procedencia de la muestra.

Los frutos de Copoazú fueron colectados de la asociación de productores el Progreso “Yanaocas” Union Progreso Km 83, provincia de Tambopata Distrito de Inambari, carretera Puerto Maldonado a Cusco, ubicado en 19L 0426915; UTM 8580927 a una latitud de 234 m S.N.M a una temperatura máxima de 35 °C y temperatura mínima de 24°C con una humedad relativa de 83%.

Se traslado la muestra a la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, al laboratorio de Procesos Agroindustriales, donde se realizó la selección, quebrado y despulpado.

4.1.2 Pre-tratamiento del fruto de Copoazú

a. Selección y Clasificación

En esta etapa se realizó la separación de frutos con problemas de madurez, fungosos y en mal estado (deteriorados con daños mecánicos a consecuencia del transporte entre otros), se realizó manualmente, en mesas de acero inoxidable AISI 304, de la planta Piloto de la Carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial.



Figura 19. Fruto de Copoazú

b. Lavado y Desinfección.

El lavado del fruto de copoazú se realizó en lavadora de rodillos con una aspersión de gua. Los frutos fueron sometidos a un lavado con agua potable para así eliminar la tierra, polvo y partículas extrañas que vienen adheridas cascara del fruto con la ayuda de un escobillón. La desinfección fue por inmersión en agua con hipoclorito de sodio 0,5-1% v/v, durante 10 minutos (reduciendo microorganismos presentes), a continuación, se enjugan los frutos con agua corriente.

c. Quebrado o Partido de los frutos

Previo al despulpado se realizó la ruptura o separación de la pulpa junto a la semilla de su cascara, manualmente se golpeó el fruto con un mazo de madera, para facilitar a apertura de este; se retiró la pulpa y semilla de la cascara.

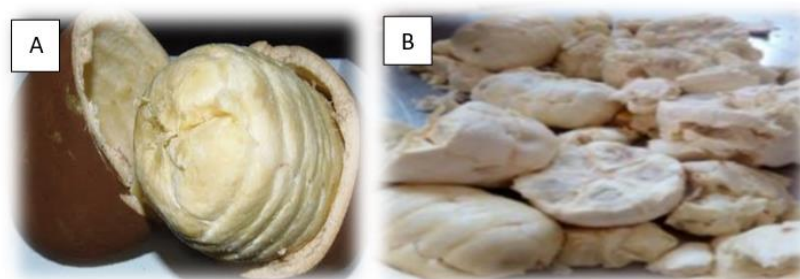


Figura 20. Fruto de copoazú quebrado (A) y pulpa junto a la semilla(B).

d. Despulpado

Se realizo en una pulpeadora mecánica (malla con orificio de 8mm de diámetro) de 3HP construidos en acero inoxidable AISI, separándose las semillas de la pulpa. Las semillas obtenidas se recepcionaron en un recipiente de acero inoxidable AISI 304 para pasar la siguiente etapa, en la Tabla 13 se describe el rendimiento del fruto de copoazú, donde del 100% del fruto, el 12,33 % es la semilla, el 19,71% representa la pulpa.



Figura 21. Semilla Fresca de Copoazú.

Tabla 13 Rendimiento del Fruto de Copoazú

Características	Contribución (%)
Materia prima en bruto (kg)	100
Rechazo (kg)	12
Materia prima neta (kg)	88
Pulpa (%)	19,71
Semilla (%)	12,33
Cascara del fruto	53,35
Perdidas	14,61

4.1.3 Proceso de adecuación

4.1.3.1 Semilla fresca con cascara y sin cascara

En la figura 22, se muestra la semilla fresca de Copoazú, con cascara recién despulpada, está rodeada por una pulpa mucilaginosa, se observa el mucilago de color transparente adherida a la cascara de color acaramelado.



Figura 22. Semilla fresca con cascara de Copoazú

4.1.3.2 Pelado

Esta operación se realizó manualmente, con la ayuda de un cuchillo realizando incisiones en la parte central de las semillas y así

desprendiendo las cascarillas de las almendras. Esto se realizó tanto para las semillas frescas (sin fermentar) y también para las semillas (fermentados) de copoazú, para luego realizar la deshidratación.



Figura 23 Semilla fresca de Copoazú pelada.

4.1.3.3 Proceso de fermentación de la semilla de copoazú

La Fermentación de la semilla se realizó en cajas de madera de la especie de tornillo (resistente a la acidez de la pulpa de copoazú, no absorbe humedad y no presenta olores que pudieran transferirse a las semillas), con dimensiones 100x50x60 cm, divididas en dos compartimientos de 50x50x60 cm, los cajones tuvieron un orificio en la base interna del cajón de un diámetro de 0.5cm, espaciados a 2,5 cm para facilitar la exudación de lixiviados en la masa).

Se colocaron 50kg de semillas fresca, se obtuvieron 40kg de semilla fermentada, durante 96 horas con remoción cada 24 horas, a temperatura ambiente(28-30 °C), el cual se empleó para los diferentes procesos, una buena remoción de la masa de la almendra de copoazú favorece la homogenización de la fermentación, evitando la proliferación de hongos y la desecación de la almendra de la superficie, Así mismo la remoción diaria permite un incremento más rápido de la temperatura y menor tiempo de fermentación(Rojas C. y Villagra H. 2016). Cuando la temperatura llega a 45 °C, los embriones que luego darán el sabor y el aroma a chocolate.



Figura 24. Cajón para la fermentación de semilla de copoazú en primer día de fermentación (a), semilla en tercer día de fermentación (b), semilla en el cuarto día de fermentación (c) y semilla fermentada fase final a los 45 °.

4.1.3.4 Parámetros físico-químicos que varían durante la fermentación.

Los parámetros físico-químicos que ocurren, inciden en los cambios físico y químicos que la masa de las almendras de copoazú.

❖ Variación del pH

Debido al contenido de ácido cítrico, presente al inicio en el mucílago, hace que el pH del mucílago y cotiledón presenten diferencias significativas. Durante la fermentación y sobre todo por efecto de la remoción, el pH se incrementa cuando el ácido cítrico se degrada por acción de microorganismos. En esta etapa, el ácido acético formado migra hacia el cotiledón, descendiendo su pH y luego se incrementa debido a las reacciones entre ácido acético y las diversas fracciones de proteínas.

❖ Variación de la temperatura.

Al inicio, el incremento de la temperatura es muy lento debido a la poca cantidad de calor que se genera cuando las levaduras degradan a los

azúcares. Los estudios muestran que la elevación de temperatura se produce alrededor de las 48 horas.

Esto ocurre porque las bacterias acéticas transforman el alcohol en ácido acético; una reacción mucho más exotérmica. Sin embargo, este comportamiento puede verse afectado por la cantidad de masa fermentativa y los tiempos de remoción. El rango de temperatura, referido por la literatura, fluctúa entre 26 y 45°C, durante las primeras 48 horas, pudiendo posteriormente, alcanzar hasta los 60°C.

❖ Variación de la acidez

La oxidación de ácido cítrico y la reducción de la acidez, ocurren bajo condiciones de aireación y cuando el jugo de cacao drena desde las cajas de fermentación. La conducta seguida por la acidez total fue evaluada por Augier et al., (1997) y citado por García (2000) que toma como base la concentración de ácido acético, determinada mediante la titulación con NaOH. Estos mismos autores, muestran la variación de la acidez total, tanto en la cascara como en el grano (Fig. N°1), durante, la fermentación. En ella se observa que los niveles de mayor concentración de acidez se producen en el cuarto día, luego del cual empieza a declinar. Semilla de copoazú fermentada y pelada.

Esta operación se realizó manualmente, con la ayuda de un cuchillo realizando incisiones en la parte central de las semillas y así desprendiendo las cascarillas de las almendras, fermentados de copoazú.

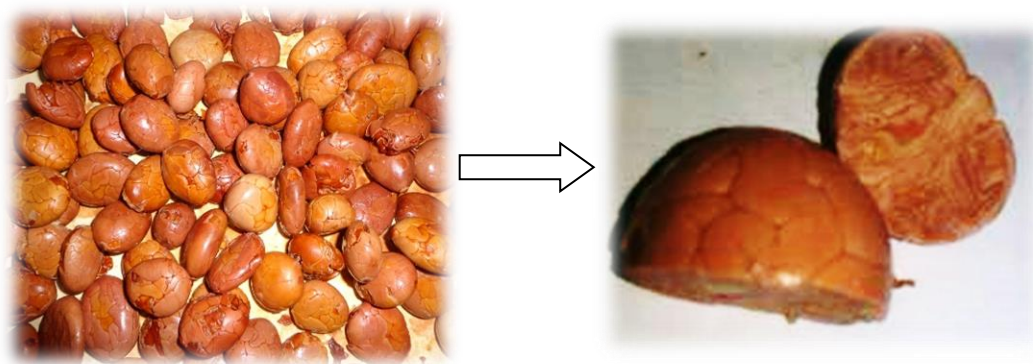


Figura 25. Semilla de copoazú sin cascara(a) y semilla pelada y partida (d).

4.1.3.5 Deshidratación de semillas por exposición directa al sol.

Se empleó bandejas de madera, colocando las semillas en 4 rumas de 5 kg cada uno (figura 30 y 31). La intensidad de la luz solar se controló mediante el software Logger pro – 3,14, el cual cuenta con un sensor de luz, registrándose así la intensidad de exposición al sol de las semillas, a las condiciones que indican en la Tabla 14-17, podemos observar que, por el lapso de los primeros 100 minutos.

Tabla 14 Secado de semilla fermentada con cascara por deshidratación solar por 24 horas

Tabla de secado de semilla fresca con cascara por deshidratación solar por 24 horas			
F(X)	A(X)	B(X)	C (Y)
	Tiempo (min)	Energía de Radiación (Watts)	Integrado Y1
	Tiempo de exposición de Semilla fresca con cascara de copoazú	Energía de Radiación de incidencia en la muestra	Energía de Radiación integrada X= (0.1101.88) Área = 87315.4
1	-	31,152	0,000
2	0,033	31,152	1,038
3	0,067	31,152	2,077
4	0,100	31,152	3,115
5	0,133	31,152	4,154
6	0,167	30,777	5,186
7			

La intensidad de la energía solar ha tenido un máximo de 140 j/s, pero luego desciende y finalmente incrementarse, lo cual muestra que en la **fecha y hora de exposición de las semillas a la radiación del sol es variante**, finalmente para fines comparativos, la cantidad total de energía

recepcionada por la semilla de copoazú fermentada con cascara fue de 68,5 kW en un tiempo de 1500 minutos, esto observa en la figura 26.

López et al., (2008), indican que en el secado se producen también una transformación enzimática durante el cual se oxidan algunas sustancias, los cotiledones de las cascara de las semillas se vuelven más cafés, se volatiliza su ácido acético excesivo. Los rayos solares favorecen la buena coloración y el buen desarrollo de las diferentes etapas de aromatización. Un secado lento y cuidadoso al solo demanda hasta 7 días, llegando a una humedad inferior a 8%.

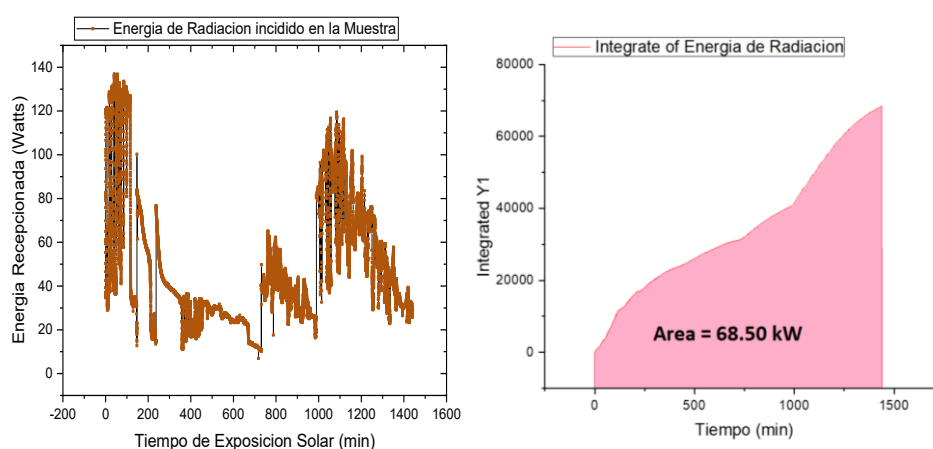


Figura 26. Radiación de la energía incidente a las muestras como función al tiempo en la deshidratación de las semillas fermentadas con cascara.

Tabla 15. De secado de semilla fermentada sin cascara por deshidratación solar por 24 horas

F(X)	A(X)	B(X)	C (Y)
	Tiempo (min)	Energía de Radiación (Watts)	Integrado Y1
	Tiempo de exposición de Semilla con cascara fermentada de copoazú	Energía de Radiación de incidente en la muestra	Energía de Radiación integrada X= (0,1438.05) Área = 77712,7
1	0	102,839	0,000
2	0,067	102,464	6,843
3	0,133	101,526	13,643
4	0,200	100,212	20,368
5	0,267	100,024	27,042
6	0,222	101,150	22,740

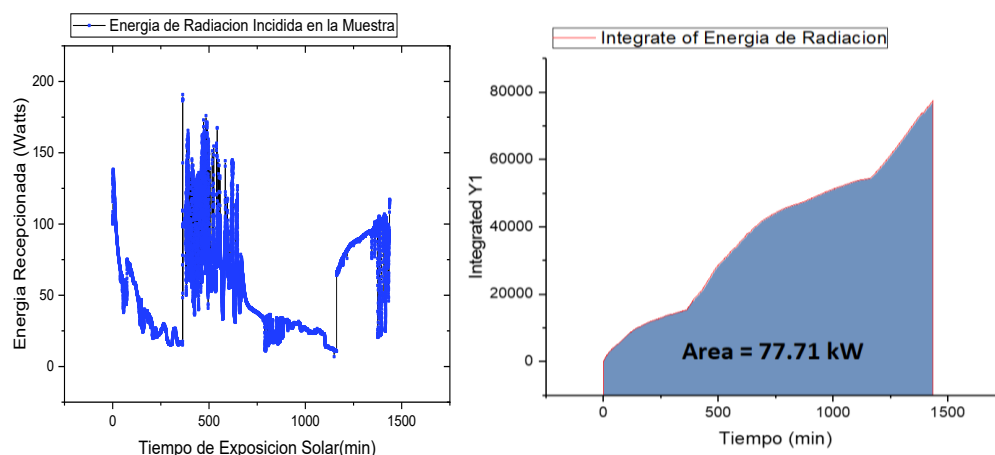


Figura 27. Radiación de la energía incidente a las muestras como función al tiempo en la deshidratación de las semillas fermentadas con cascara.

Tabla 16 de secado de semilla fresca con cascara por deshidratación solar por 24 horas

F(X)	A(X)	B(X)	C (Y)
	Tiempo (min)	Energía de Radiación (Watts)	Integrado Y1
	Tiempo de exposición de Semilla con cascara fermentada de copoazú	Energía de Radiación de incidente en la muestra	Energía de Radiación integrada X= (0,1438.05) Área = 77712,7
1	0	31,152	0,000
2	0,033	31,152	1,038
3	0,067	31,152	2,077
4	0,100	31,152	3,115
5	0,133	31,152	4,154
6	0,167	30,777	5,186

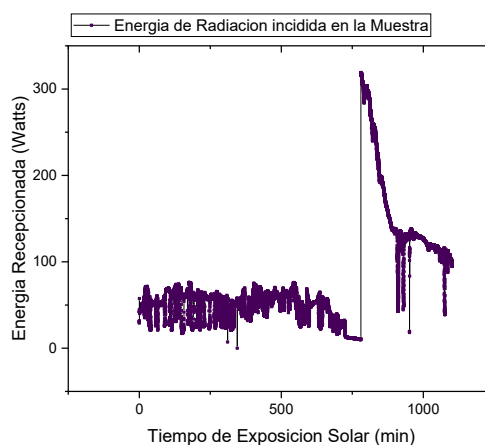


Figura 28. Radiación de la energía incidente a las muestras como función al tiempo en la deshidratación de las semillas fermentadas con cascara.

**Tabla 17: Secado de semilla fresca sin cascara por
deshidratación solar por 24 horas**

F(X)	A(X)	B(X)	C (Y)
	Tiempo (min)	Energía de Radiación (Watts)	Integrado Y1
	Tiempo de exposición de Semilla con cascara fermentada de copoazú	Energía de Radiación de incidencia en la muestra	Energía de Radiación integrada $X= (0,1438.05)$ Área $= 77712,7$
1	-	60,427	0,000
2	0,033	60,427	2,014
3	0,067	60,615	4,032
4	0,100	60,427	6,049
5	0,133	60,427	8,063
	0,167	60,615	10,081
	0,200	60,427	12,098
6	0,233	60,615	14,115

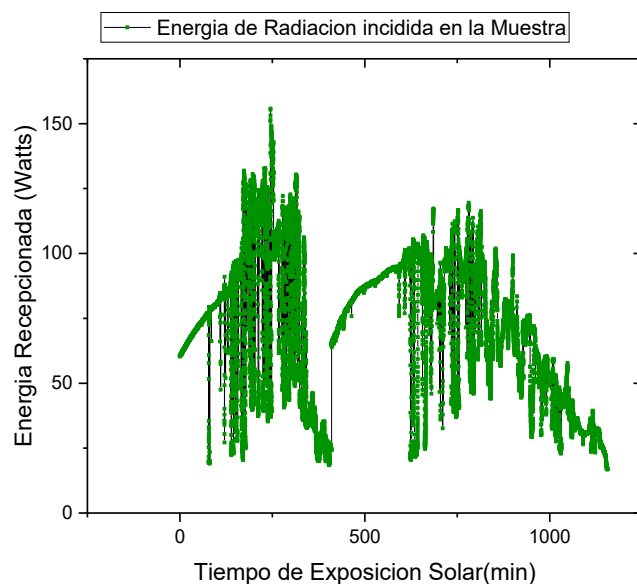


Figura 29. Radiación de la energía incidente a las muestras como función al tiempo en la deshidratación de las semillas fermentadas con cascara.

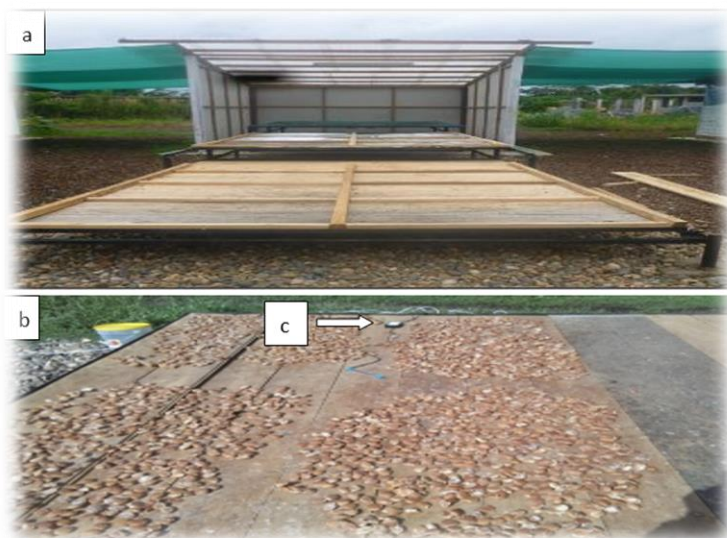


Figura 30. Secador solar de madera (a), Semilla de Copoazú en proceso de deshidratación en 4 rumas (b) y (c) software Logger pro – 3.14, con sensor de luz (registra la intensidad de exposición al sol de las semillas).



Figura 31. Semilla de Copoazú deshidratada por secado solar, fermentada con cascara (a) y sin cascara (c) y semilla fresca con cascara (b) y sin cascara(d).

4.1.3.6 Deshidratación de la semilla - Artificial y/o en estufa (secador de aire convectivo)

Las semillas, fueron deshidratadas en una estufa con corriente de aire convectivo, empleándose bandejas de mallas acondicionadas (Figura

32), donde se colocaron 10 kg de semilla, divididas en bandejas, de 5 kg cada una, a una temperatura de 55-70°C por un tiempo de 13 horas.



Figura 32. Deshidratación de semilla de Copoazú en estufa, fermentada con cascara(a) y sin cascara (c), fresca con cascara (b) y fresca sin cascara (d).

4.2 Análisis proximal

En la Tabla 18 se presenta la caracterización de análisis proximal las semillas de copoazú en base húmeda, se observa que la semilla fresca contine u 53,324 % de grasa según el Método de Soxhlet de extracción de Grasa. Las Dimisiones de las semillas de copoazú se muestran en la Tabla 19, así como el número de semillas por fruto, peso húmedo por fruto y otros.

Tabla 18 Análisis proximal de la Semilla de Copoazú.

ENSAYOS REALIZADOS	UNIDADES	RESULTADOS OBTENIDOS	MÉTODO O TÉCNICA UTILIZADA	LABORATORIO
Grasas	(%)	53,324	Soxhlet	UNAMAD
Proteínas	g/100g	0,923	Kjedahl	UNAMAD
Cenizas	g/100g	1,23	Incineración a mufla a 550°C	UNAMAD
Fibra	g/100g	0,577	Hidrolisis acida - básica	UNAMAD
Hidratos de carbono	g/100g	0,77	Por diferencia	UNAMAD
Valor energético	Kcal /100g	42,8	Por calculo	UNAMAD
Calcio	mg/100g	106	N.A.I.A.L. 4.9.7	UNSAAC

ENSAYOS REALIZADOS	UNIDADES	RESULTADOS OBTENIDOS	MÉTODO O TÉCNICA UTILIZADA	LABORATORIO
Hierro	mg/100g	0,364	Espectrofotométrico	UNSAAC
Fosforo	mg/100g	13,0	Espectrofotométrico	UNSAAC
Vitamina C (ácido ascórbico)	mg/100g	7,22		UNSAAC
FÍSICO				
Humedad	g/100g	87,5	Secado a estufa a 103 °C hasta peso constante	UNAMAD

Tabla 19 Características físicas de la semilla de copoazú (*T. grandiflorum*)

VARIABLE	VALOR	VARIABLE	VALOR
Diámetro (cm)	10,3 - 12,5	% placenta	2,2 -3,5
Longitud (cm)	17,24	% pulpa (manual)	36 -45,5
N° de semillas / fruto	35 - 47	% pulpa (mecánica)	33 – 37
Peso húmedo fruto	747 – 1570 g.	% corozo	15 -19,5

4.3 Características morfológicas de la semilla de Copoazú

En la Figura 33 se muestra las características físicas de la semilla de copoazú con cascara y sin cascara, en la figura 34 se muestra la separación de los componentes físicos de la semilla fresca y fermentada de *T. grandiflorum*. El cotiledón representa el mayor porcentaje, con 71,54%, seguido por la testa con 27,81% y germen 0,65% respectivamente (Lopes 2000). La separación de componentes fue realizada manualmente por el autor en lotes de 100g, por triplicado. Del mismo modo esta investigación realizó el pelado o separación de los componentes manualmente para obtener las muestras semillas sin cascara de *T. grandiflorum*, para la extracción de manteca del mismo. En la Figura 34, se pueden visualizar mejor los componentes de la almendra.

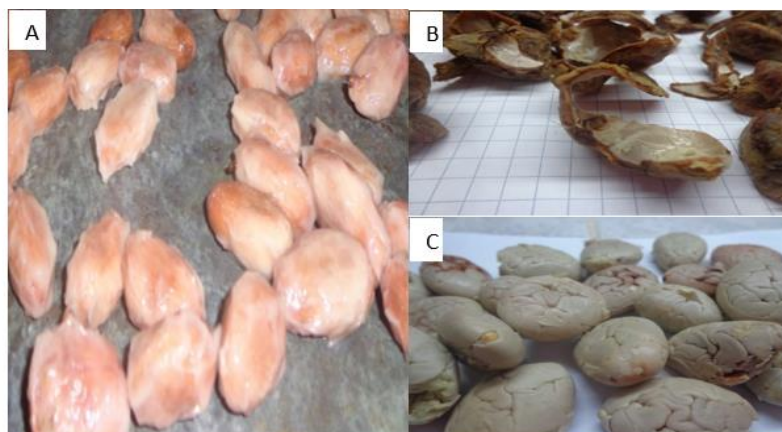


Figura 33. Semillas de *T. grandiflorum*, A: Semilla fresca con cascara, B: Cascara de la semilla fermentadas, C: semilla fermentada sin cascara

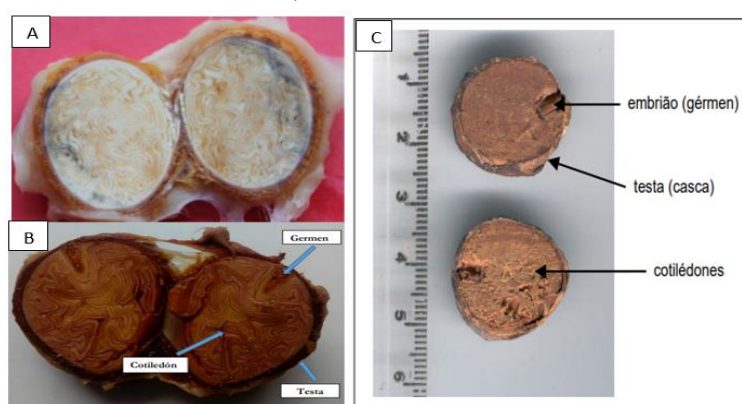


Figura 34. Corte longitudinal de la semilla de copoazú fermentada y sus partes (A : semilla fresca y B. semilla fermentada) (Cajo pinche y Díaz Viteri 2017). C: Corte longitudinal de la almendra de copoazú fermentada y secas (Lopes 2000).

En la Figura 35, se muestra característica del mesófilo encontradas en la semilla fresca y fermentada de *T. grandiflorum* fresco, observados a través de un estereoscopio trinocular con cámara, con un aumento de 0,75 X; donde se puede percibir el cotiledón (A) y el tejido Translucido (B). La observación realizada coincide con reporte de (Martini et al. 2008), para semillas de *T. grandiflorum*, *T. bicolor*, *T. Cacao* y *T. subincanum* (Figura 36), quienes manifiestan que los lípidos en las semillas están acumuladas adyacentemente en la pared celular, así mismo cuando los frutos alcanzan la madurez, las reservas de proteínas y lípidos prevalecen sobre los componentes de la estructura celular, la morfología del mesófilo es grande, densamente plegado y algo similar, especialmente entre *T. grandiflorum* y *T. Cacao*.

En el mesófilo los glóbulos de lípidos, con un diámetro de 1 a 3 μm , se encuentran asociadas espacialmente con las reservas de proteínas, y al ser

sometidas a temperaturas superiores a 28 °C, los glóbulos de lípidos de esas células vivas se fusionan rápidamente, formando gotas de mayor tamaño (Martini et al. 2008). Esta observación es importante a la hora de someter las muestras particuladas de las semillas frescas y fermentadas al proceso de extracción con presión hidráulica, llevado a cabo en el trabajo de investigación.

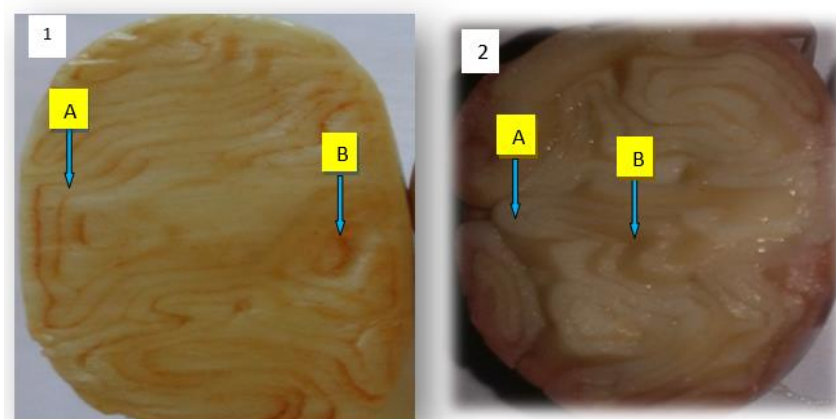


Figura 35. Morfología de las semillas fresca y fermentada de *T. grandiflorum* Copoazú (características del mesófilo), 1: Semilla fresca y 2: semilla fermentada: A: cotiledón y B: tejido translúcido.

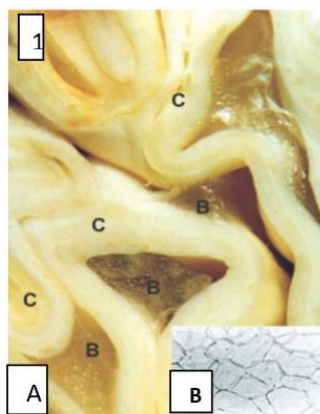


Figura 36. Se muestra las características del mesófilo, Mesófilo FM-Cotiledón. 1A-1B. *Theobroma bicolor*. Este cotiledón recién doblado (1A) oculta un tejido traslúcido (B) (B = tejido translúcido; C = cotiledón;). Barras = 10 mm (5A), 10 μ m (5B),

Fuente: (Martini et al. 2008)

Las cáscaras de las semillas de *T. grandiflorum* emergen de dos tegumentos, el exterior (testa) y el interior (tegmen). En todos los casos, la testa es claramente más gruesa y diferenciada (Fig. 15.1). El parénquima del tegmen se compone de solo unas pocas capas de células, que están fuertemente comprimidas (Elwers y Lieberei 2020).

Las células del mesófilo acumulan reservas de proteínas en su área central y también gotitas de lípidos dentro del citoplasma que se acumulan adyacentemente a las paredes celulares, se muestra en la Figura 33. Las células del mesófilo abiertas exponen las reservas de proteínas; las estructuras en forma de tamiz se deben a la deposición de proteínas, alrededor de las gotitas de lípidos. Las cuatro celdas cerradas en el lado izquierdo (flechas) muestran la asociación laxa de tejido celular del mesófilo (figura 37: 1 y 2) (Martini et al. 2008).

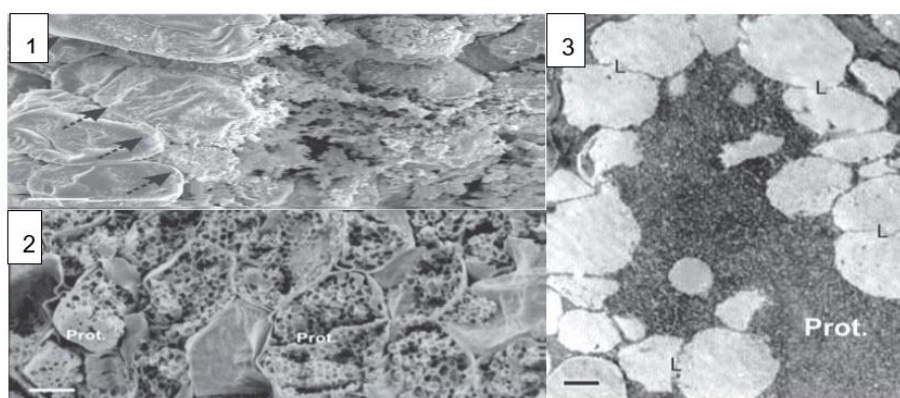


Figura 37. 1 y 2: muestran reserva de lípidos y proteínas, observadas por SEM (microscopía electrónica de barrido), 3: Fusión de los glóbulos de los lípidos de la Semilla *T. grandiflorum*. de los lípidos barras = 10 μm (1.), 20 μm (2), 1 μm (3),

Fuente: (Martini et al. 2008)

En la Figura 37,1 se muestra la estructura común de la capa de la semilla de *T. grandiflorum*. se muestra la secciones longitudinales a través de las capas de semillas de *T. grandiflorum* observado mediante microscopía electrónica de transmisión y luz (LM y TEM) , Con barra= 200 μm , M: cavernas mucosas, V: haces vasculares, Marcado (margen izquierdo): testa (gris claro), capa esclereida o empalizada exotegmal (gris oscuro), parénquima del tegmen (negro) Secciones semifinas, teñidas con azul de toluidina O la capa de la semilla de *T. grandiflorum* es gruesa con un promedio de 520 μm , y más grueso que el de *T. cacao* (385 μm) La cascara de la semilla de *T. grandiflorum*, emergen de dos tegumentos, el exterior (testa) y el interior (tegmen). la testa es claramente más gruesa.

En la Figura 37.2 se muestra la estructura del tejido del cotiledón, muestra celdas de almacenamiento de lípidos, proteínas y almidón de *T. grandiflorum*. Las secciones ultrafinas fueron estudiados y fotografiados con un microscopio

electrónico Zeiss 109 con aumentos de 2500-20000. La grasa del cotiledón esta incrustada en las células de almacenamiento en forma de vacuolas lipídicas con 1-7 μm (promedio 4 μm) de tamaño (Elwers y Lieberei 2020).

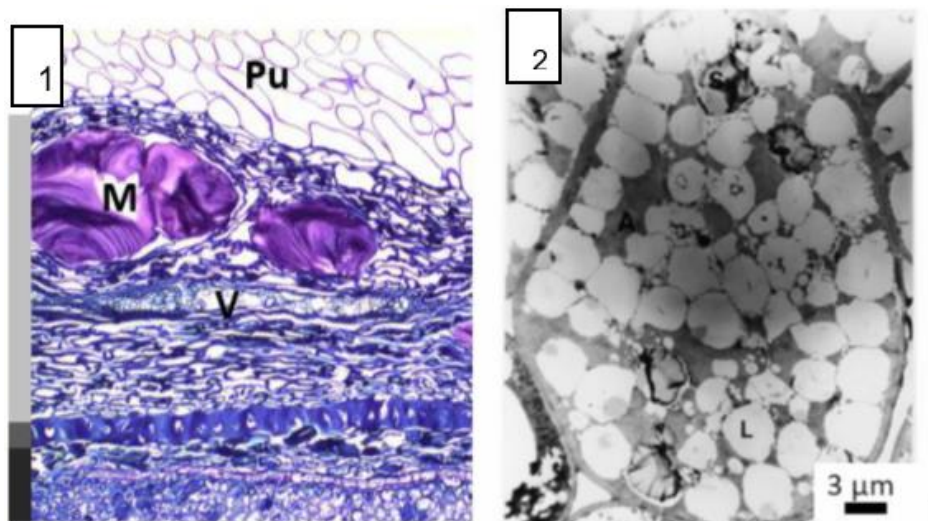


Figura 38. Secciones longitudinales a través de las capas de semillas *T. grandiflorum*, M: cavernas mucosas, V: haces vasculares. Marcado (margen izquierdo): testa (gris claro), capa escleréide o empalizada exotegmal (gris oscuro), parénquima del tegmen (negro) y 2: Celdas de almacenamiento de *T. grandiflorum* (b) A: aleurón (proteínas), S: grano de almidón, L: vacuola lipídica, Secciones ultrafinas.

Fuente: (Elwers y Lieberei 2020)

4.4 Extracción de Grasa por el Método de Soxhlet

En la Tabla 20 se muestra los resultados obtenidos del contenido inicial de grasa en base húmeda en la semilla de Copoazú siguiendo el Método descrito por Luque y Priego 2010, utilizando hexano como solvente. Los resultados obtenidos son inferiores en 9,93 a 11,23 % menor para la semillas fresca sin cascara y fermentada sin cascara respectivamente en comparación con el reportado por Vasconcelos et al., 1975 (59,2 % b.s), utilizando el mismo solvente (Vasconcelos et al. 1975); por otro lado, Moreno et al., 2013, reportan un contenido de grasa de 57,192 %, utilizando bencina de petróleo, con un tiempo de destilación de 6 horas y una evaporación del solvente remanente de 8 h a 60 °C, siendo superior en 6,76 % a 8,12 % para las semillas sin cascara y fermentadas respectivamente. A sí mismo, Mogrovejo y Torres, 2020 reportaron un contenido de grasa de $60,379 \pm 0,659$ % utilizando como solvente éter etílico, siendo superior en 11,684% a 12,969% para las semillas sin cascara y fermentadas respectivamente.

La comparación del contenido de grasa en base húmeda de la semilla de Copoazú fermentada y sin fermentar ambos con cáscara y de la semilla fermentada y sin fermentar ambos sin cáscara, se muestran esquemáticamente en la Figura 39 y Tabla 20 donde se aprecia que, el mayor contenido de grasa se ha obtenido de las semillas fermentadas con cáscara, 54,058 %, seguido de la semilla fresca sin cáscara 53,324 %, mientras que el menor contenido de grasa se ha obtenido de la semilla fresca con cáscara, 48,556 %.

Además, las semillas frescas sin cáscara alcanzaron un contenido de grasa del 53,324 %, un valor muy próximo al de las semillas fermentadas sin cáscara (52,548 %). Esto sugiere que, aunque la fermentación tiene un efecto positivo en la extracción de grasa, su impacto es más evidente cuando las semillas mantienen la cáscara.

En resumen, los datos indican que la fermentación combinada con la cáscara intacta podría ser la mejor condición para maximizar la extracción de grasa por el método Soxhlet, mientras que las semillas frescas con cáscara representan una opción menos eficiente. Estos hallazgos subrayan la importancia de las condiciones iniciales de tratamiento de las semillas en la optimización del rendimiento de extracción.

Tabla 20. Promedio de extracción de la grasa por el método Soxhlet.

Muestra / Estado	Presencia de cáscara	Peso Inicial(g)	Peso muestra (g)	peso final (g)	Peso graso (g)	Contenido de grasa (%) b. h
Semilla fresca (SSF)	SE-SC	110	5	112	2,67	53,324
	SE-CC	110	5	112	2,43	48,556
Semilla fermentada (SF)	SF-SC	110	5	112	2,63	52,548
	SF-CC	109	5	112	2,7	54,058

SE-SC Semilla fresca sin cáscara; SE-CC semilla fresca con cáscara, SF-SC semilla fermentada sin cáscara; y SF-CC semilla fermentada con cáscara

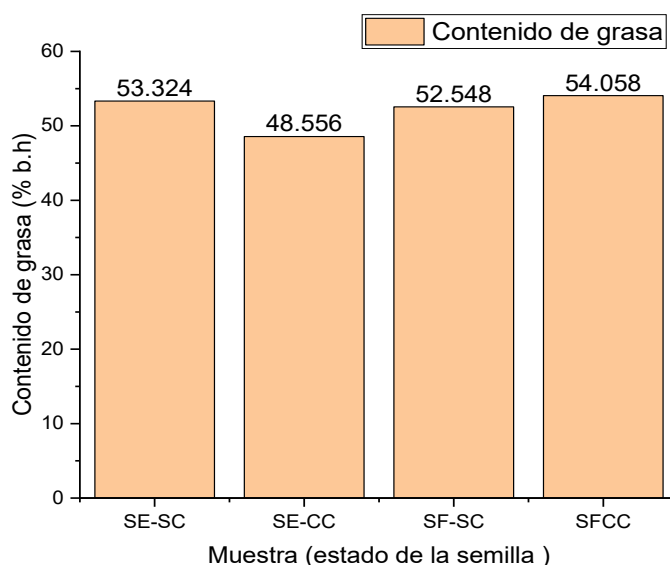


Figura 39. Grafica tipo muestra – Vs – contenido de grasas (b.h) SE-SC Semilla Fresca sin cáscara; SE-CC semilla fresca con cáscara, SF-SC semilla fermentada sin cáscara; y SF-CC semilla fermentada con cáscara

4.5 Extracción de Manteca por Prensado Hidráulico

4.5.1 Efecto de los diferentes tratamientos en el rendimiento

Los resultados obtenidos del rendimiento de manteca cruda extraída por prensado hidráulico con respecto a la muestra en b.h, se muestra en la Tabla 21, Los datos indican que el mayor rendimiento de manteca (47,38 %) se obtuvo con semillas fermentadas (A: +1), sin cáscara (B: +1) y deshidratadas mediante radiación solar directa (C: -1). Por otro lado, el menor rendimiento (22,4 %) se presentó en semillas sin fermentar (A: -1), con cáscara (B: -1) y deshidratadas en estufa (C: +1). Esto sugiere que la fermentación y la ausencia de cáscara son factores determinantes.

El promedio global de rendimiento fue 30,61% con una desviación de $\pm 7,45$. Los valores más altos en el rendimiento se tienen en los tratamientos 10, 14, 20, 17, 7 y 12, con un promedio de $41,193 \pm 4,58\%$ en peso (b.h), mientras que los tratamientos con menor rendimiento son: 5, 15, 3, 21, 1 y 19, con un promedio de $23,216 \pm 0,57\%$ en peso (b.h), con un intervalo de confianza menor al 95%.

Tabla 21. Resultado de extracción de manteca de Copoazú de acuerdo al diseño factorial con tres factores

Nº	A Tratamiento del grano	B Presencial de cascara	C Tipo deshidratación	Rendimiento (%)
1	{ -1}	{ -1}	{ -1}	23,57
2	{ -1}	{ 1}	{ 1}	30,35
3	{ -1}	{ -1}	{ 1}	23,36
4	{ 1}	{ -1}	{ -1}	31,38
5	{ -1}	{ 1}	{ 1}	22,4
6	{ -1}	{ 1}	{ 1}	29,64
7	{ 1}	{ 1}	{ 1}	36,67
8	{ -1}	{ 1}	{ -1}	30,77
9	{ -1}	{ -1}	{ 1}	24,08
10	{ 1}	{ 1}	{ -1}	47,38
11	{ 1}	{ -1}	{ 1}	25,02
12	{ 1}	{ 1}	{ 1}	35,12
13	{ 1}	{ -1}	{ 1}	34,93
14	{ 1}	{ 1}	{ 1}	43,36
15	{ -1}	{ -1}	{ -1}	22,63
16	{ -1}	{ -1}	{ -1}	26,16
17	{ 1}	{ 1}	{ -1}	41,31
18	{ -1}	{ 1}	{ -1}	24,15
19	{ -1}	{ -1}	{ 1}	23,8
20	{ 1}	{ 1}	{ -1}	43,32
21	{ 1}	{ -1}	{ -1}	23,54
22	{ 1}	{ -1}	{ 1}	33,57
23	{ -1}	{ 1}	{ -1}	30,24
24	{ 1}	{ -1}	{ -1}	27,92
μ : Promedio				30,61
σ : desviación estándar				7,4551
es: error estándar				1,5218
				30,61 $\pm$ 1,52

Donde: Factor A: Tratamiento del grano (-1: Sin fermentar y 1: fermentado); Factor B: Presencial de cascara (-1: con cascara y 1: sin cascara); Factor C: Tipo deshidratación (-1: Solar directo y 1: convectiva estufa).

El rendimiento de manteca obtenida por prensado hidráulico en el estudio fue mayor que los reportados en la literatura, utilizando método de extracción por solvente.

Según (Moreno et al. 2013), reporta un rendimiento de 57,19% de manteca extraída a partir de semillas de *T. grandiflorum*, molida con tamaño de partículas promedio de 500µm, y extraído por Solvente (Soxhlet), extraído por 6 horas con solvente (n-hexano) (Mogrovejo y Torres 2020), obtuvieron como mayor rendimiento de manteca extraído por prensado hidráulico de la semilla de *T. grandiflorum*, fue de 36,11 % en peso (b.h), a las condiciones de: humedad 10%, temperatura 70°C, granulometría 15 # de malla, presión de prensado 300 bar, (Mamani y Ccahuat 2021), reporta un rendimiento en base seca de 60% de manteca extraída a partir de semilla de Copoazú, deshidratada, molida y extraída por prensado hidráulico, sometido a una presión de 350 bar. Estudios realizados por (Mosquera et al. 2014), reportaron un rendimiento de extracción de manteca empleando semillas de Copoazú molida (tamaño promedio de 2.0 mm); 39% en peso por el método de extracción por inmersión con isopropanol asistido por microondas (770 watt y 15 min); 37,5 % en peso mediante el método de prensado continuo (100°C, 1kg/h); 45% por el método Soxhlet utilizando hexano a una temperatura de 60°C por 6 horas.

Las diferencias observadas en los resultados de rendimiento de la manteca de Copoazú mencionados en el presente estudio, en comparación con las referencias citadas en la literatura, probablemente se deban a variaciones en el tamaño de las partículas utilizadas en dichos estudios, al tipo de proceso de deshidratación empleado ya los distintos métodos de extracción aplicados. Además, otros factores que podrían haber influido en el rendimiento de la extracción incluyen las condiciones edafoclimáticas y la variedad del cultivo.

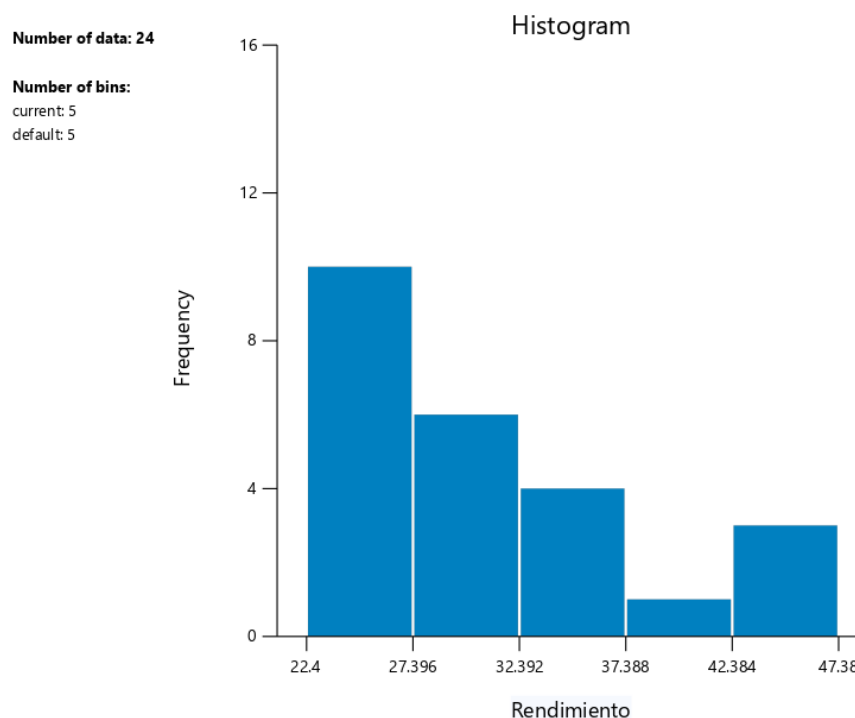


Figura 40. Rendimiento de manteca de Copoazú extraído por prensado hidráulico (g/100g) resultado del efecto de los diferentes tratamientos.

En la Figura 40, se observa que las semillas fermentadas y sin cáscara presentan un rendimiento consistentemente mayor, confirmando la importancia de la fermentación para romper estructuras celulares y facilitar la liberación de lípidos. La ausencia de cáscara también mejora el contacto del material con el sistema de extracción. El tipo de deshidratación, aunque no significativamente estadísticamente, podría influir.

4.5.2 Efectos de las variables independientes sobre parámetros de respuesta

Analizando el efecto de los tratamientos del grano, según los datos de la Tabla 21, podemos observar que, cuando la semilla es fermentada el rendimiento de la manteca extraída fue 47,38 % y cuando la semilla no es fermentada el rendimiento fue 22,4 % respectivamente, representando un incremento del 52,277 %, esto nos indica que el efecto independiente de tratamiento del grano es significativo, corroborando, con un valor P de 0,0001, para un nivel de significancia del 95 %, tal como se observa en la Tabla 22-Análisis de varianza. Cuando la semilla es fermentada se da el mayor incremento en el rendimiento, como se observa en la Figura 41.A.

Por otro lado, analizado el efecto de la presencia de cascara en los tratamientos, según datos reportados en la Tabla 21, podemos observar que, cuando hay presencia de Cascara en la muestra el rendimiento de manteca extraída fue 22,63% y cuando No hay presencia de cascara en la muestra, el rendimiento de manteca extraída fue 47,38%, se incrementa el rendimiento en un 52,24%, por lo tanto el efecto independiente de la presencia de Cascara es significativo, corroborando con un valor P de 0,0001, para un nivel de significancia del 95%, tal como se observa en la Tabla 22- Análisis de Varianza., por lo que el tratamiento de grano, presencia de cascara y la intersección del tratamiento de grano más presencia de cascara tiene un efecto significativo sobre los resultados del rendimiento de la manteca extraída de la semilla de copoazú. Mientras que el tipo de deshidratación no tiene efecto significativo sobre los resultados del rendimiento de la manteca extraída de la semilla de copoazú.

Tabla 22. ANOVA para modelo factorial seleccionado

Parámetros	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Modelo	1031,37	5	206,27	15,04	< 0,0001
A-Tratamiento del grano	526,13	1	526,13	38,35	< 0,0001
B-Presencia de cáscara	374,07	1	374,07	27,27	< 0,0001
C-Tipo de deshidratación	4,23	1	4,23	0,308	0,5857
AB	91,46	1	91,46	6,67	0,0188
BC	35,5	1	35,5	2,59	0,1251
Residual	246,94	18	13,72		
Falta de ajuste	28,15	2	14,07	1,03	0,3798
Error	218,79	16	13,67		
Total	1278,31	23			

El efecto del Tipo de Deshidratación de los tratamientos reportados en la Tabla 21, podemos observar que, el tipo de deshidratación que cuando la muestra es deshidratada por convección a estufa el rendimiento fue 22,4% cuando la muestra es sin cascara y sin fermentar, así mismo cuando la muestra es deshidratada por Solar directo el rendimiento fue de 47,38% a

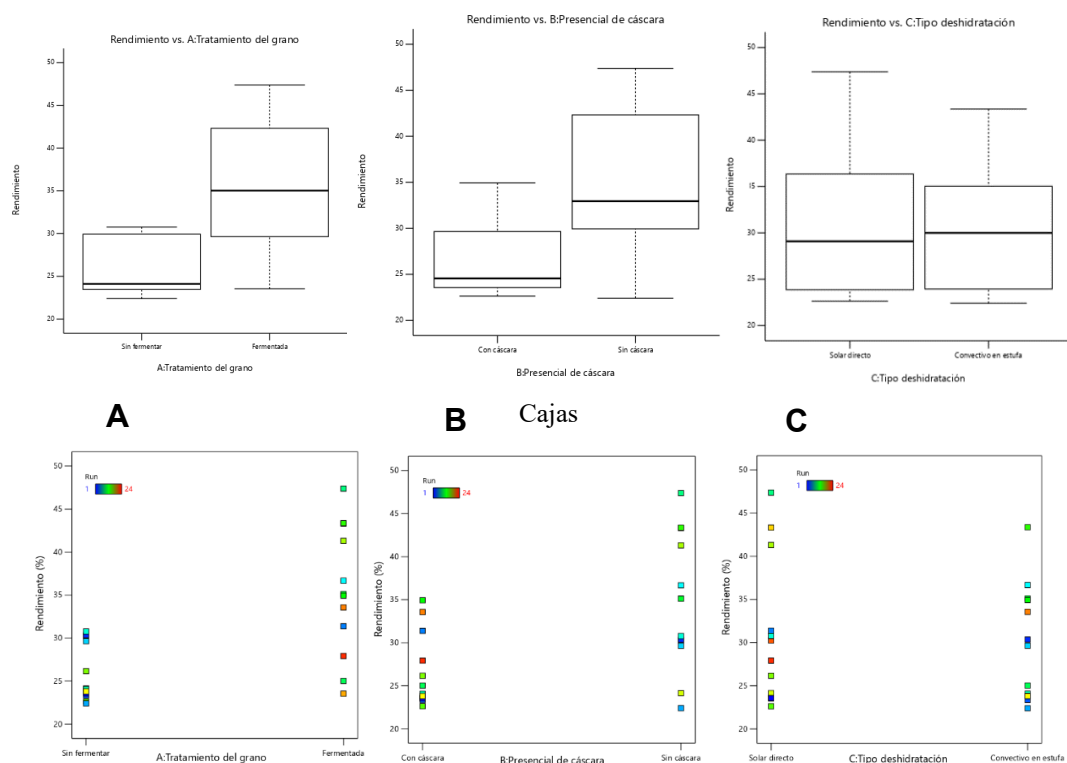
las condiciones de: semilla sin cascara y Fermentado, incrementándose el rendimiento en 52,72 %; esto nos indica el efecto del tipo de deshidratación a las condiciones analizadas no es significativo en análisis de varianza con un P-Valor de 0,5857, para un nivel de significancia de 95% tal como se observa en la Tabla 22 de Análisis de varianza(ANOVA).

Por lo tanto, el efecto de interacción entre A: Tratamiento de Grano y B: presencia de Cascara, es significativo, P-valor 0,0188 para un nivel de significancia del 95% tal como se observa en la Tabla 22 de análisis de varianza (ANOVA). El rendimiento de incrementa proporcionalmente en forma creciente tal como se observa en la Figura 38.-1

Mientras que las interacciones de presencia de cascara y Tipo de deshidratación, no es significativo, por lo que el p-valor es 0,1251, para un nivel de significancia del 95% tal como se observa en la Tabla 22 de análisis de varianza (ANOVA).

Por ende, el mayor rendimiento de maneca de copoazú es de 47,38 % de manteca extraída en las condiciones de semilla fermentada, sin cascara y deshidratada por radiación solar directa, este último el efecto del tipo de deshidratación a las condiciones analizadas no es significativo.

En la Figura 41: A: se observa que el efecto de la **fermentación** es significativo, donde los datos de las semillas fermentada son más dispersos, Las semillas fermentadas presentan un aumento significativo en el rendimiento en comparación con las no fermentadas. Esto respalda la importancia del tratamiento previo como una etapa clave en la optimización de la extracción de manteca. En la B: se observa que el efecto de la **cascara**, las semillas con cascara es significativo, donde los datos de las semillas con cascara son más dispersos. C: se observa que el efecto del **tipo de deshidratación no** es significativo, donde los datos de las semillas secadas al sol, son menos dispersos, se observa que el efecto de la cascara, las semillas con cascara es significativo, donde los datos de las semillas con cascara son más dispersos.



Puntos experimentales y sus resultados

Figura 41: Efecto de variables independientes en el rendimiento de manteca extraída, A) tratamiento del grano; B) presencia de casca; C) Tipo de Deshidratación.

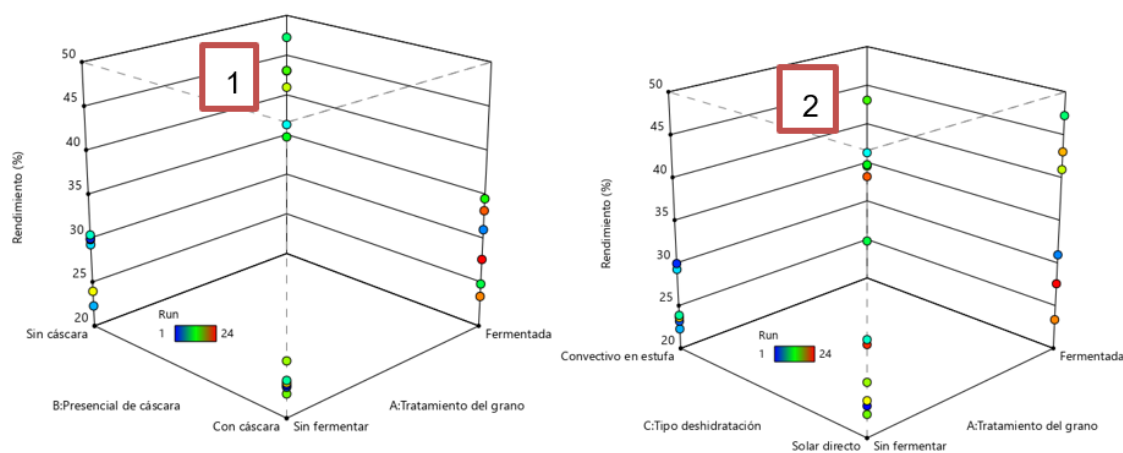


Figura 42: Efecto de variables independientes en el rendimiento de manteca extraída, entre: 1: (A: tratamiento del grano y B: presencia de casca); 2 (A: Tratamiento de grano y C: Tipo de Deshidratación).

4.5.3 Efecto de variables independientes en los parámetros de respuesta (índice de calidad)

En la Tabla 23, se muestra la matriz de diseño y las respuestas de las pruebas experimentales, cada parámetro analizado se ha repetido por tres

veces, en total se cuenta con 24 corridas, obteniéndose con ella el error estándar respecto a la media, con un mínimo error por efectos varios y dentro del rango establecido para el análisis de volumétrico e instrumental en la literatura. observándose que, que el efecto independiente del tratamiento del grano.

En esta tabla se presenta los índices de calidad de la manteca obtenidos bajo diferentes condiciones experimentales: tratamiento del grano (frescas y fermentadas), presencia de cáscara y tipo de deshidratación. Los parámetros evaluados incluyen el índice de peróxidos, índice de yodo, índice de saponificación, índice de acidez y el punto de fusión.

Tabla 23. Resultado de índice de calidad de extracción de manteca de Copoazú

Nº	Factor A	Factor B	Factor C	R1	R2	R3	R4	PF
1	{ -1}	{ -1}	{ -1}	11,98	8,71	130	5,52	34,2
2	{ -1}	{ 1}	{ 1}	15,51	8,37	147,02	7,00	34
3	{ -1}	{ -1}	{ 1}	9,36	8,30	138,56	5,16	33,9
4	{ 1}	{ -1}	{ -1}	3,66	7,76	133,32	6,47	33,8
5	{ -1}	{ 1}	{ 1}	17,16	8,11	181,97	8,32	32,4
6	{ -1}	{ 1}	{ 1}	20,87	7,98	125,61	8,78	34
7	{ 1}	{ 1}	{ 1}	7,65	7,50	295,59	9,65	30
8	{ -1}	{ 1}	{ -1}	11,65	6,86	113,42	6,39	34,1
9	{ -1}	{ -1}	{ 1}	5,64	7,04	74,84	6,10	35,4
10	{ 1}	{ 1}	{ -1}	13,27	6,49	215,22	7,43	35,3
11	{ 1}	{ -1}	{ 1}	10,48	9,4	220,4	6,23	33,5
12	{ 1}	{ 1}	{ 1}	11,07	7,68	262,02	6,57	30,5
13	{ 1}	{ -1}	{ 1}	9,55	8,33	179,83	4,79	33,5
14	{ 1}	{ 1}	{ 1}	13,58	7,31	230,65	10,09	31,5
15	{ -1}	{ -1}	{ -1}	11,55	8,30	104,88	7,70	34,2
16	{ -1}	{ -1}	{ -1}	12,69	7,56	156,02	5,71	34,3
17	{ 1}	{ 1}	{ -1}	13,24	6,52	181,27	6,32	33,5
18	{ -1}	{ 1}	{ -1}	17,24	7,37	101,96	6,88	34,3
19	{ -1}	{ -1}	{ 1}	5,94	6,91	57,41	4,85	35,9

N°	Factor A	Factor B	Factor C	R1	R2	R3	R4	PF
20	{1}	{1}	{-1}	11,36	7,52	211,48	4,89	35,2
21	{1}	{-1}	{-1}	7,89	7,59	117,29	5,06	33,8
22	{1}	{-1}	{1}	12,41	9,77	269,34	7,91	33,3
23	{-1}	{1}	{-1}	15,7	8,23	103,99	6,30	34,2
24	{1}	{-1}	{-1}	3,45	6,81	215,38	5,52	33,8
μ : Promedio				11,3711	7,7675	165,3112	6,6517	33,69
σ : desviación estándar				4,3142	0,8331	63,7789	1,4808	1,40
es: error estándar				0,8806	0,1700	13,0188	0,3023	0,286
				11,37±0.8	7,76±0.17	165,31±13.02	6,65±0.3	33,69±0,29

Donde: Factor A: Tratamiento del grano (-1: Sin fermentar y 1: fermentado); Factor B: Presencial de cascara (-1: con cascara y 1: sin cascara); Factor C: Tipo deshidratación (-1: Solar directo y 1: convectiva estufa) (**R1: Índice de Peróxidos** (mEq O₂/Kg), **R2: Índice de Yodo** (g I₂/100g), **R3: Índice de Saponificación** (g KOH/100g), **R4: Índice de Acidez** (mg KOH/g) y **PF: Punto de fusión (°C)**)

Tabla 24. Análisis estadístico de resultados de índice de calidad indicados en la Tabla 20 (n=24).

Parámetro	Unidad medida	Desviación estándar	Error estándar	Min.	Med.	Max.
Índice de Peróxidos	mEq O ₂ /Kg	4,310	0,88064	3,45	11,37	20,87
Índice de Yodo	g I ₂ /100g	0,8334	0,17005	6,49	7,77	9,77
Índice de Saponificación	g KOH/100g	63,78	13,01883	57,41	165,31	295,59
Índice de Acidez	(mg KOH/g)	1,480	0,30226	4,79	6,65	10,09

La **Tabla 24** presenta un resumen estadístico de los índices de calidad, mostrando los valores mínimos, máximos, promedios, desviación estándar y error estándar para cada parámetro. Los índices de calidad muestran una alta consistencia en los tratamientos, con desviaciones estándar moderadas para la mayoría de los parámetros, excepto para el índice de saponificación, que presentó la mayor variabilidad debido a las diferencias en las condiciones experimentales. El error estándar reportado para todos

los índices es bajo, lo que indica alta precisión en las mediciones realizadas.

Los resultados reportados de estudios realizados sobre las características fisicoquímicas de la manteca de Copoazú se muestran en la Tabla 25, podemos observar los diferentes resultados de IP, IA, IS, IR y PF publicados de por diferentes autores, tiene una variación alta a diferencia de nuestros resultados del presente trabajo de investigación, esta variación de resultados que se observa probablemente se debe a causa de los diferentes factores en el proceso de extracción de manteca de copoazú. En la Figura 43, 44, 45 y 46 se puede ver la gráfica del efecto de los factores en cada índice de calidad.

Tabla 25. Índice de calidad (autores varios).

PFQ	Copoazú*	Copoazú ¹	Copoazú ²	Copoazú ³	Copoazú ⁴	Copoazú ⁵
IP	11,37±0,88	9,96±0,09	9,22	2,98	4,7 a 26,0	-
IY	7,77±0,17	-	35,33	49,33±1,5	42,94 a 49,63	45,9
IS	165,31±13,02	165,3±0,8	94,91	188,15±1,5	155,89 a 324,7	174,6
IA	6.65±0,302	1,68±0,5	0,77	1,04±0,1	1,37 a 3,87	4,2

PFQ: Parámetros Físico-químicos, IP: índice de peróxidos (mq de O₂/kg), IA: índice de acidez (mg KOH/g muestra), IS: índice de saponificación (mg KOH/g muestras), IY: índice de yodo (g de I/g de aceite).

(Mamani y Ccahuat 2021)¹, (Mogrovejo y Torres 2020)², (Alviárez et al. 2016)³, (Moreno et al. 2013) ⁴ y (Vasconcelos et al. 1975) ⁵.

4.5.3.1 Índice de peróxido

El índice de peróxido es un indicador de la presencia de oxidación en los aceites, que estos se pueden generar desde el acondicionamiento de la materia prima hasta el producto terminado.

El índice de peróxido obtenidos de la manteca cruda de la semilla de copoazú, que se muestra en la Tabla 24, tiene un promedio de 11,371±0,881 mEq- O₂/kg. Este valor, es mayor al comparar con valores Obtenidos por autores mencionados en la Tabla 25, pero están dentro de los parámetros aceptables según el (CODEX Alimentarius 2019); indica que el límite máximo para aceites y mantecas sin refinar extraídas por

prensado en frío es de 15 mEq- O₂/kg, Por ello las muestras fermentadas y deshidratadas al sol muestran un IP más bajo, reflejando menor oxidación en estas condiciones.

Los peróxidos en los aceites son inestables, porque se descomponen en varios compuestos, en su mayoría en carbonilos, estos pueden acelerar por la exposición a altas temperaturas. Por lo tanto, el índice de peróxidos es un buen parámetro para medir la formación de compuestos de oxidación en aceites vegetales.

El índice de peróxido alto indica la susceptibilidad a la oxidación que se presentaron en la extracción, en cuanto es bajo, refleja que el proceso de extracción de la manteca fue adecuado y este producto fue altamente resistente a la oxidación.

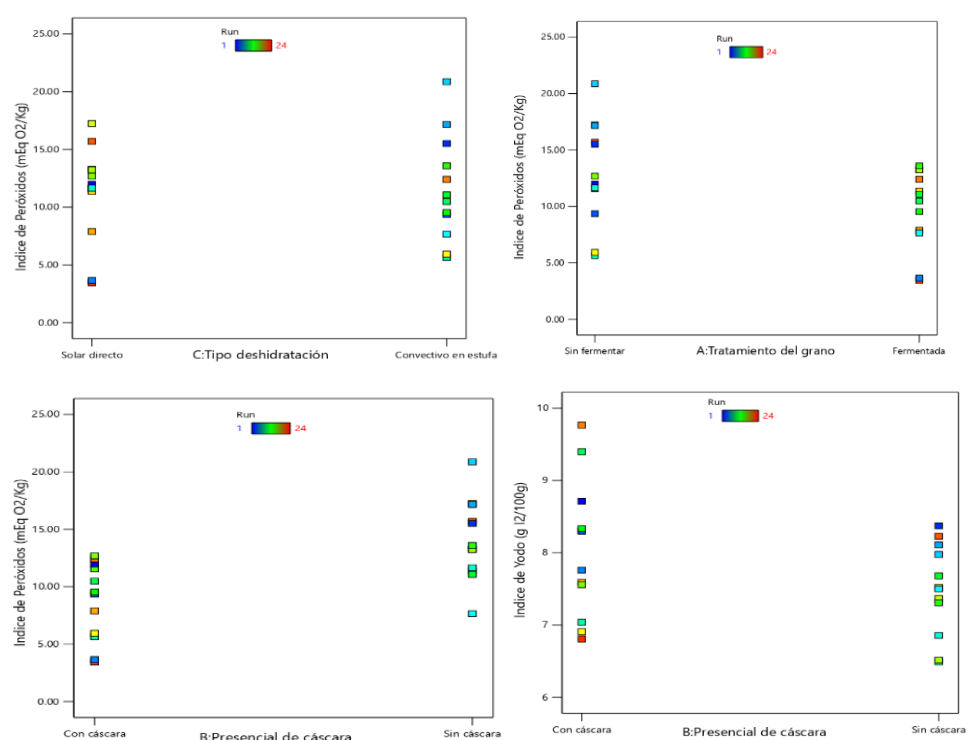


Figura 43: Efecto de los factores en el índice de Peróxido, A: tratamiento de grano; B: Presencia de cáscara y C: Tipo de deshidratación

En la Figura 43 se puede ver la gráfica del efecto de los factores en cada índice de Peróxido.

Tabla 26. ANOVA del índice de peróxidos

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	Valor F	Valor P
Modelo	350,19	7	50,03	10,27	< 0,0001
A	59,19	1	59,19	12,15	0,0031
B	169,09	1	169,09	34,72	< 0,0001
C	1,28	1	1,28	0,2638	0,6145
AB	13,83	1	13,83	2,84	0,1113
AC	13,83	1	13,83	2,84	0,1114
BC	0,0638	1	0,0638	0,0131	0,9103
ABC	92,9	1	92,9	19,07	0,0005
Error	77,92	16	4,87		
Total	428,12	23			

A: Tratamiento de grano, B: Presencia de cascara, C: Tipo de deshidratación.

El índice de peróxido de la manteca de Copoazú obtenidos en el proceso de extracción por prensado hidráulico, bajo condiciones experimentales presentados en Tabla 26 de análisis de varianza (ANOVA), y con el nivel de significancia al 95%, el Tratamiento de Grano tiene un efecto significativo, con P-valor 0,0031, así mismo la presencia de cascara tiene un efecto significativo, con P-valor 0,0001, mientras que el tipo de secado no ha tenido un efecto significativo sobre el IP.

La intersección del Tratamiento de grano, Presencia de Cascara y Tipo de Deshidratación si tiene un efecto significativo, con P-valor 0,0005, Por ende, Los resultados muestran que el índice de peróxidos se incrementa cuando las muestras se procesan sin cáscara y se someten a deshidratación en estufa. Esto sugiere que la ausencia de cáscara expone los lípidos a mayor oxidación, y que las condiciones de secado en estufa puede incrementar proporcionalmente el IP.

El índice de peróxidos, un indicador clave de la oxidación primaria en grasas y aceites, se ve significativamente influenciado por el tratamiento del grano, la presencia de cáscara y su interacción con el tipo de deshidratación.

Tabla 27. Estadísticas de ajuste para Índice de Peróxidos.

Parámetro	Valor
desviación estándar (σ)	2,21
promedio (μ)	11,37
Porcentaje de valor calculado (C.V. %)	19,41
R^2	0,818
R^2 ajustado	0,7384
R^2 previsto	0,5905
Precisión	10,083

En la Tabla 27, se puede observar las estadísticas de ajuste, donde se muestra la precisión adecuada que mide la relación señal/ruido fue de 10,083, esto indica una señal adecuada, por tanto, el modelo se puede usar para describir la variación de los datos experimentales adoptados para los variables de estudiados.

Modelo matemático a escala codificada de los factores

$$\begin{aligned} \text{Índice Peróxidos} = & 11.37 - 1.57 A + 2.65 B + 0.2314 C - 0.7592 AB \\ & + 0.7591 AC + 0.0516 BC - 1.97 ABC \end{aligned}$$

Donde:

A: Tratamiento de grano

B: Presencia de cascara

C: Tipo de deshidratación

Factor Coding: Actual

Indice de Peróxidos (mEq O₂/Kg)

Design Points:

- Above Surface
- Below Surface

X1 = B: Presencial de cáscara

X2 = C: Tipo deshidratación

Actual Factor

A: Tratamiento del grano = Sin fermentar

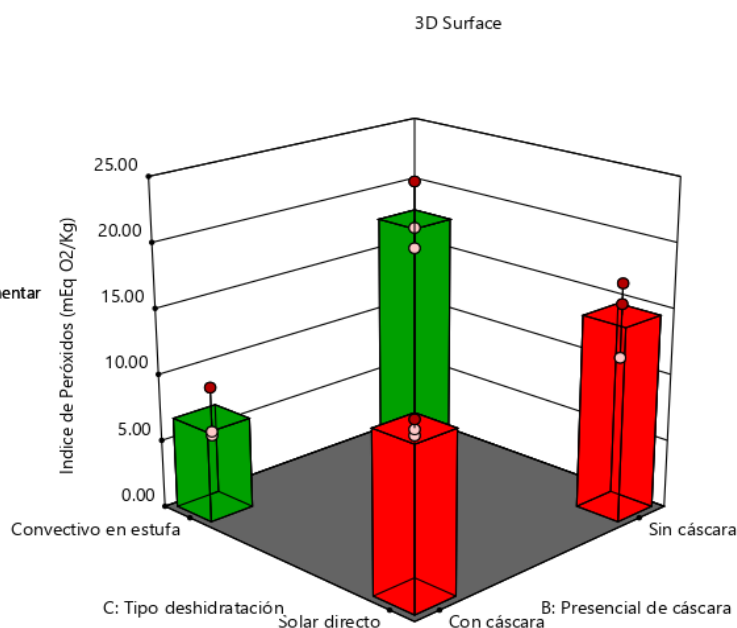


Figura 44: resultado del Efecto de variables independientes en el Índice de peróxidos de manteca extraída en semilla sin fermentar, entre: A: tratamiento del grano y B: presencia de casca, C: Tipo de Deshidratación.

Factor Coding: Actual

Indice de Peróxidos (mEq O₂/Kg)

Design Points:

- Above Surface
- Below Surface

X1 = B: Presencial de cáscara

X2 = C: Tipo deshidratación

Actual Factor

A: Tratamiento del grano = Fermentada

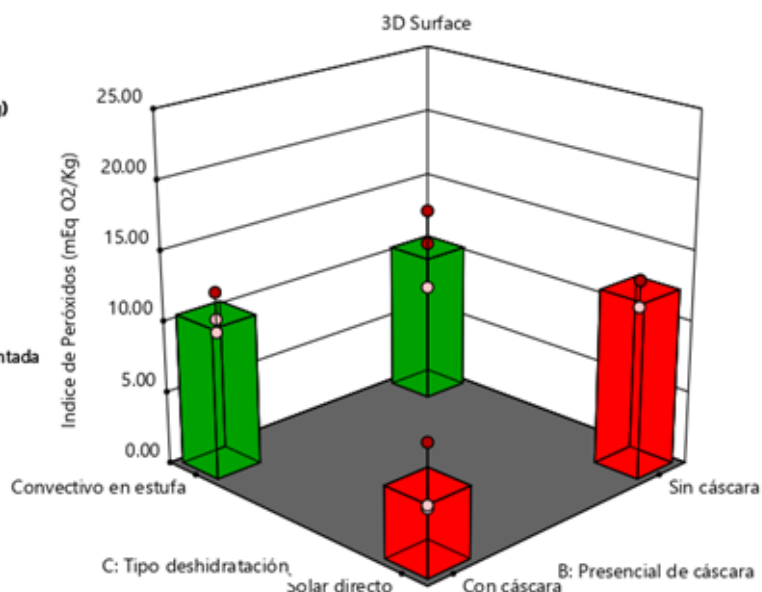


Figura 45: resultado del Efecto de variables independientes en el Índice de peróxidos de manteca extraída en semilla sin fermentar, entre: A: tratamiento del grano y B: presencia de casca, C: Tipo de Deshidratación.

4.5.3.1 Índice de Yodo

El índice de yodo representa la cantidad de gramos de yodo que se enlaza químicamente con 100 gramos de grasa. Este parámetro es fundamental

para evaluar la calidad de aceites y grasas comestibles, ya que proporciona una medida cuantitativa de la presencia de ácidos grasos insaturados en la muestra. A mayor contenido de ácidos grasos insaturados, mayor será la cantidad de yodo que reaccione con los dobles enlaces de la molécula, resultando en un índice de yodo más elevado. Por esta razón, el índice de yodo también se utiliza como un indicador para verificar la pureza y autenticidad de las grasas y aceite. (Jiménez, et al., 2010).

El **Índice de Yodo** obtenidos de la manteca cruda de Copoazú es de $7,768 \pm 0,170$ g I₂/100g, al comparar nuestro resultado se observa que estos índices son más bajos que el reportado por (Moreno et al. 2013) obtuvo grasa con valor promedio de 47,042 g de I/100g de grasa y (Mogrovejo y Torres 2020) obtuvo un índice de yodo de 35,33 g I₂/100g y autores mencionados en la Tabla 25. Índice de calidad (autores varios), lo que indica un bajo grado de insaturación de los ácidos grasos presentes en la manteca. Este resultado está alineado con las características esperadas de grasas tropicales.

Figura 46 se puede ver la gráfica del efecto de los factores en cada índice de Yodo.

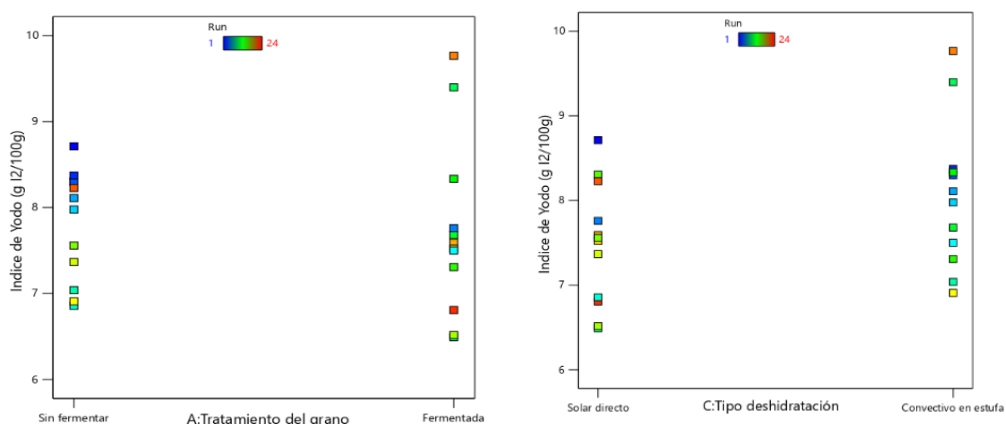


Figura 46: Efecto de los parámetros en el índice de Yodo A: tratamiento de grano; B: Presencia de cascara y C: Tipo de deshidratación

Tabla 28. ANOVA de índice de Yodo

Fuente	SC	GL	CM	Valor F	Valor P
Modelo	10,65	6	1,77	5,66	0,0022
A	0,0466	1	0,046	0,148	0,7046
B	1,79	1	1,79	5,7	0,0289
C	2,03	1	2,03	6,47	0,021
AB	1,89	1	1,89	6,02	0,0253
AC	2,42	1	2,42	7,72	0,0129
ABC	2,48	1	2,48	7,92	0,0119
Residual	5,33	17	0,3134		
Falta de ajuste	0,0381	1	0,0381	0,1152	0,7387
Error	5,29	16	0,3306		
Total	15,98	23			

Donde: A: Tratamiento del grano, B: Presencia de cascara, C: Tipo de deshidratación, SC: Suma de cuadrados, GL: Grados de Libertad, CM: Cuadrado medio.

Los resultados del índice de yodo de la manteca de Copoazú, obtenidos mediante extracción por prensado hidráulico bajo distintas condiciones experimentales, revelan diferencias significativas en la influencia de los factores analizados. Según el análisis de varianza (ANOVA) al 95% de nivel de confianza, presentado en la **Tabla 28**

El **Tratamiento de Grano**, Este factor no tiene un efecto significativo sobre el índice de yodo, dado que el valor P es **0,7046**, superior al nivel de significancia del 5 % ($P > 0,05$). Esto indica que el estado del grano (fresco o fermentado) no afecta significativamente la cantidad de dobles enlaces presentes en los lípidos de la manteca.

Mientras que a **presencia de cascara** La presencia de cáscara muestra un efecto significativo sobre el índice de yodo, con un valor P de **0,0289** ($P < 0,05$). Esto sugiere que las muestras sin cáscara tienden a tener un índice de yodo más elevado, probablemente debido a una mayor exposición de los lípidos insaturados durante el proceso de extracción.

La interacción entre factores (Tratamiento del Grano x Presencia de Cáscara x Tipo de Deshidratación): La interacción de estos tres factores

tiene un efecto significativo, con un valor P de 0,0119 ($P < 0,05$). Esto indica que la combinación de estas variables influye de manera conjunta en el índice de yodo, demostrando que su impacto no es independiente.

El índice de yodo se incrementa proporcionalmente cuando las muestras son procesadas **sin cáscara** y sometidas a **deshidratación en estufa**. Esto podría atribuirse a que estas condiciones favorecen la liberación de ácidos grasos insaturados, tal como se observa en la Figura 46.

El índice de yodo, un parámetro que mide la insaturación de los lípidos en la manteca de Copoazú, está significativamente influenciado por la **presencia de cáscara y cáscara** por la interacción entre el tratamiento del grano, la cáscara y el tipo de deshidratación. Estas condiciones deben ser cuidadosamente controladas para optimizar la calidad de la manteca y garantía.

Tabla 29. Estadísticas de ajuste para Índice de Yodo

Parámetro	Valor
desviación estándar (σ)	0,5598
promedio (μ)	7,77
Porcentaje de valor calculado (C.V. %)	7,21
R^2	0,6665
R^2 ajustado	0,5488
R^2 previsto	0,3354
Precisión	7,6820

Modelo matemático a escala codificada de los factores

$$\text{Índice Yodo} = 7,77 - 0.0441 A - 0.2728 B + 0.2907 C - 0.2803AB + 0.3175 AC - 0.3217 ABC$$

Donde:

A: Tratamiento de grano

B: Presencia de cascara

C: Tipo de deshidratación

Las diferentes condiciones experimentales de la extracción de la manteca de Copoazú, si incitaron a la generación de productos de oxidación en la manteca de copoazú. El índice de yodo es un indicador de incremento de la cantidad de ácidos grasos insaturados susceptibles al deterioro de la manteca, que estos se pueden generar desde el acondicionamiento de la materia prima hasta el producto terminado. Mientras que, el tratamiento de grano (A), del Modelo 5,66 no son significativos ya que son valores superiores a P valor =0,1000

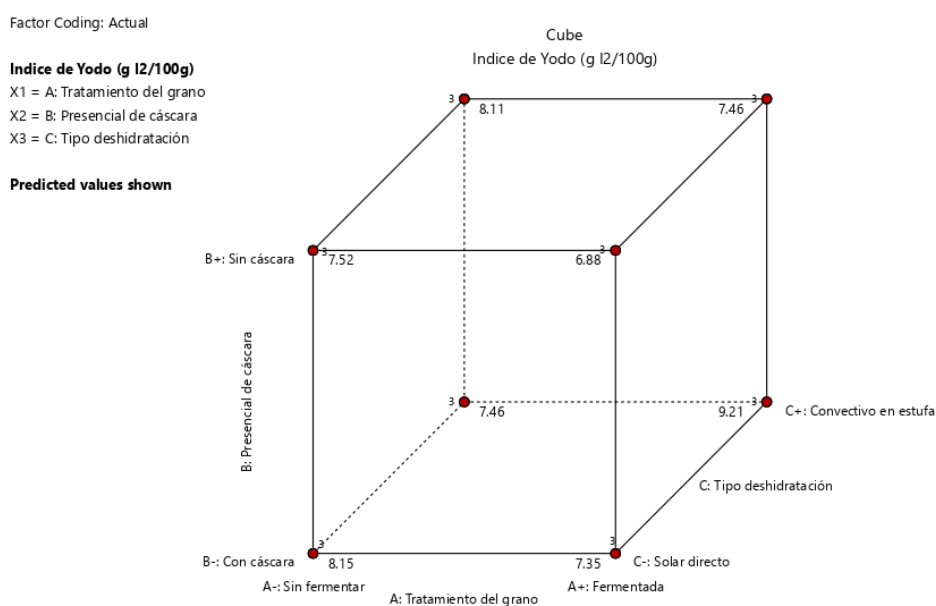


Figura 47: resultado del Efecto de variables independientes en el Índice de Yodo de manteca extraída en semilla sin fermentar, entre: A: tratamiento del grano y B: presencia de casca, C: Tipo de Deshidratación.

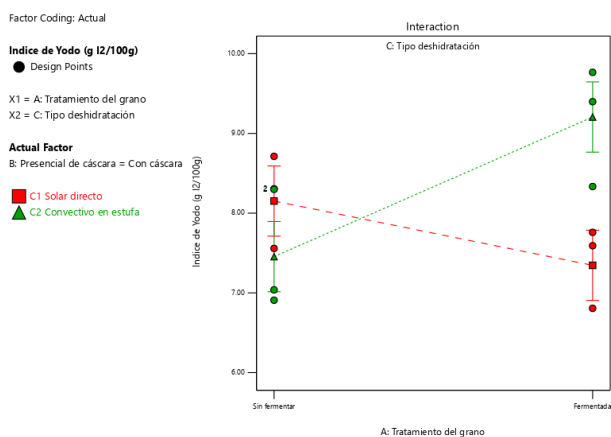


Figura 48: resultado del Efecto de variables independientes en el Índice de Yodo de manteca extraída en semilla con cascara, entre: A: tratamiento del grano y B: presencia de casca, C: Tipo de Deshidratación.

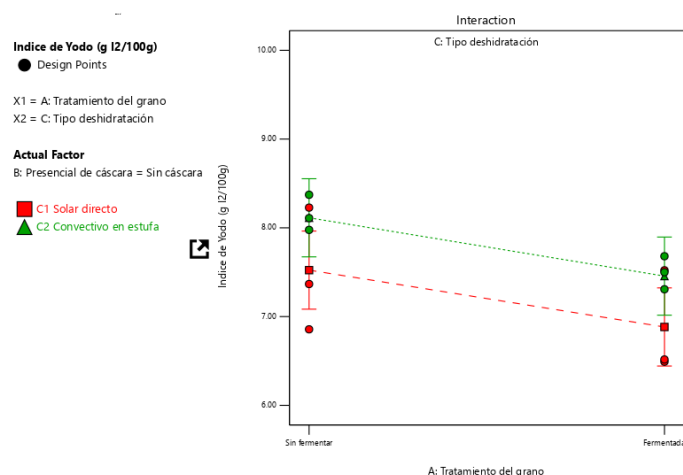


Figura 49: resultado del Efecto de variables independientes en el Índice de Yodo de manteca extraída en semilla sin cascara, entre: A: tratamiento del grano y B: presencia de casca, C: Tipo de Deshidratación.

4.5.3.1 Índice Saponificación

El **Índice de Saponificación** obtenidos de la manteca cruda de semilla de Copoazú, se obtuvo un valor promedio de $165,311 \pm 13,019$ mg KOH/g, al comparar nuestro resultado se observa que son similares los valores reportados en la Tabla 25 índice de calidad (Autores Varios) como (Mamani y Ccahuat 2021) obtuvo un valor promedio de $165,3 \pm 0,8$, (Moreno et al. 2013) obtuvo un valor promedio de 155,893 a 324,700 mg KOH/g. y (Alviárez et al. 2016) obtuvo un $188,15 \pm 1,5$ mg KOH/g. pero mayor valor que (Mogrovejo y Torres 2020) obtuvo un índice de Saponificación de 94.91 mg KOH/g.

Los valores oscilaron entre **113,42 y 295,59 mg KOH/g**, siendo más altos en las muestras fermentadas sin cáscara, lo cual indica mayor contenido de triglicéridos fácilmente saponificables.

Figura 50 se puede ver la gráfica del efecto de los factores en cada índice de Saponificación.

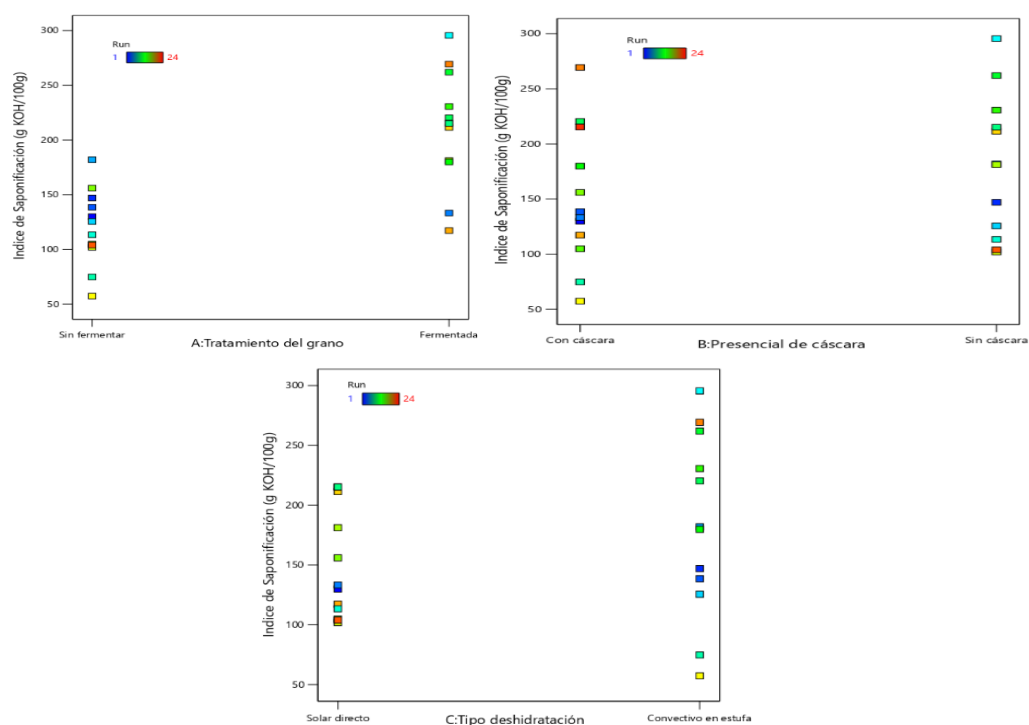


Figura 50: Efecto de los factores en el Índice de Saponificación; A: tratamiento de grano; B: Presencia de cáscara y C: Tipo de deshidratación

Tabla 30. ANOVA de índice de Saponificación

Fuente	SC	GL	CM	Valor F	Valor P
Modelo	73633,2	6	12272,2	10,47	< 0,0001
A	50061,55	1	50061,55	42,71	< 0,0001
B	5794,08	1	5794,08	4,94	0,04
C	6634,07	1	6634,07	5,66	0,0293
AC	5665,37	1	5665,37	4,83	0,042
BC	2243,3	1	2243,3	1,91	0,1844
ABC	3234,83	1	3234,83	2,76	0,115
Residual	19926,38	17	1172,14		
Falta de ajuste	917,64	1	917,64	0,7724	0,3925
Error	19008,74	16	1188,05		
Total	93559,58	23			

Donde: A: Tratamiento del grano, B: Presencia de cáscara, C: Tipo de deshidratación, SC: Suma de cuadrados, GL: Grados de Libertad, CM: Cuadrado medio.

En la Tabla 30 se muestra el análisis estadístico, el Tratamiento de grano, tiene un efecto altamente significativo, con un **P-valor de 0,0001** ($P <$

0,05). Esto indica que el estado del grano (fresco o fermentado) impacta directamente en la variación del IS.

Así mismo la presencia de cascara tiene un efecto un significativo con un P Valor: 0,04, el tipo de deshidratación con un P valor: 0,0293, mientras la intersección entre tratamiento de grano y tipo de deshidratación con un P valor: 0,042 tiene un efecto significativo, influyen en la variación del índice de saponificación, por ende, las diferentes condiciones experimentales influyen en el proceso de extracción de manteca de Copoazú.

Tal como se observa en la Tabla 23 y la Figura 51, se observa la imagen el incremento y disminución del IS. El índice de saponificación alcanza su valor más alto (**295,59 mg KOH/g**) en muestras fermentadas, sin cáscara y deshidratadas en estufa. El valor más bajo del IS (**57,41 mg KOH/g**) se registra en muestras sin fermentar, con cáscara y deshidratadas de manera convectiva en estufa.

Estas diferencias reflejan la importancia de las condiciones experimentales en la variación del índice de saponificación y, por ende, en la calidad de la manteca de Copoazú.

Tabla 31. Estadísticas de ajuste para índice de Saponificación

Parámetro	Valor
desviación estándar (σ)	34,47
promedio (μ)	165,31
Porcentaje de valor calculado (C.V. %)	20,85
R ²	0,7968
R ² ajustado	0,7079
R ² previsto	0,5429
Precisión	8,6674

Modelo matemático a escala codificada de los factores

$$\text{Indice Saponificacion} = 165.31 + 45.67 A + 15.54 B + 16.63 C + 6.18 AB + 15.54 AC + 9.67 - 11.61 ABC$$

Donde:

A: Tratamiento de grano

B: presencia de cascara

C: Tipo de deshidratación

El índice de saponificación, un indicador de la cantidad de lípidos susceptibles a saponificación, está significativamente influenciado por el tratamiento del grano, la presencia de cáscara y el tipo de deshidratación. Las condiciones óptimas para maximizar el IS incluyen la fermentación del grano, la eliminación de la cáscara y la deshidratación en estufa. Estos resultados subrayan la importancia de optimizar las variables del proceso para garantizar una manteca.

El índice de saponificación se incrementa cuando la semilla es deshidratada por radiación Solar Directo, fermentada y sin cascara, así como se muestra en la Figura 51. Así mismo el índice de saponificación se incrementa proporcionalmente cuando la muestra es sin cascara y es deshidratada por estufa, tal como se observa en la Figura 49.

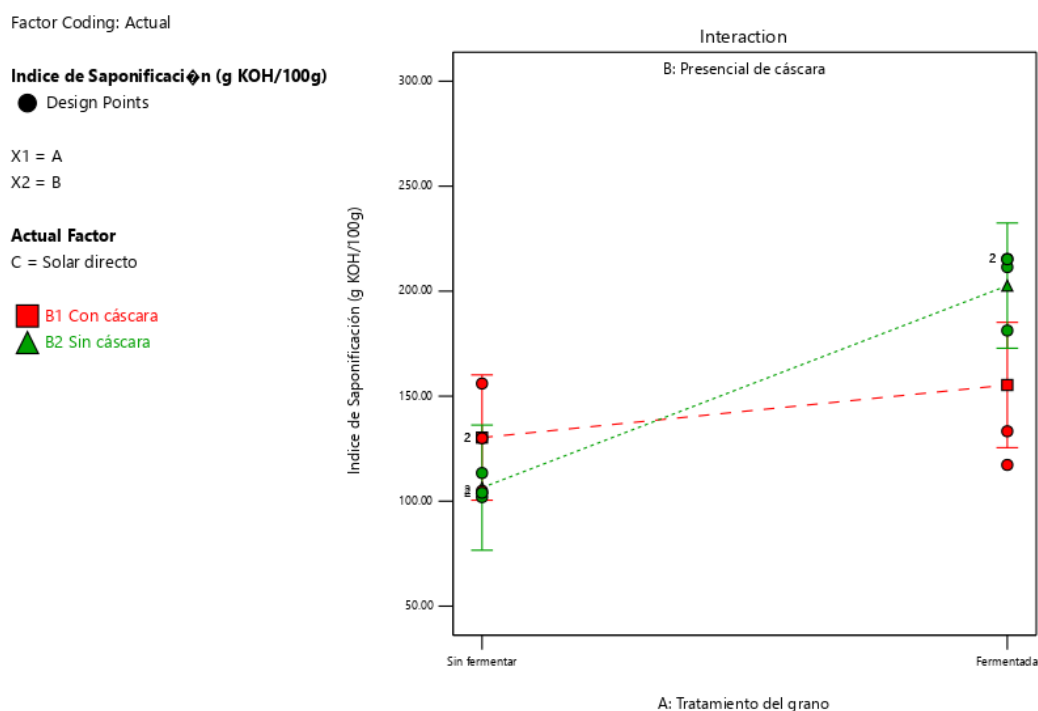


Figura 51: resultado del Efecto de variables independientes en el Índice de Saponificación de manteca extraída de la semilla de Copoazú, semilla deshidratada por deshidratación Solar:
A: tratamiento del grano y B: presencia de casca, C: Tipo de Deshidratación.

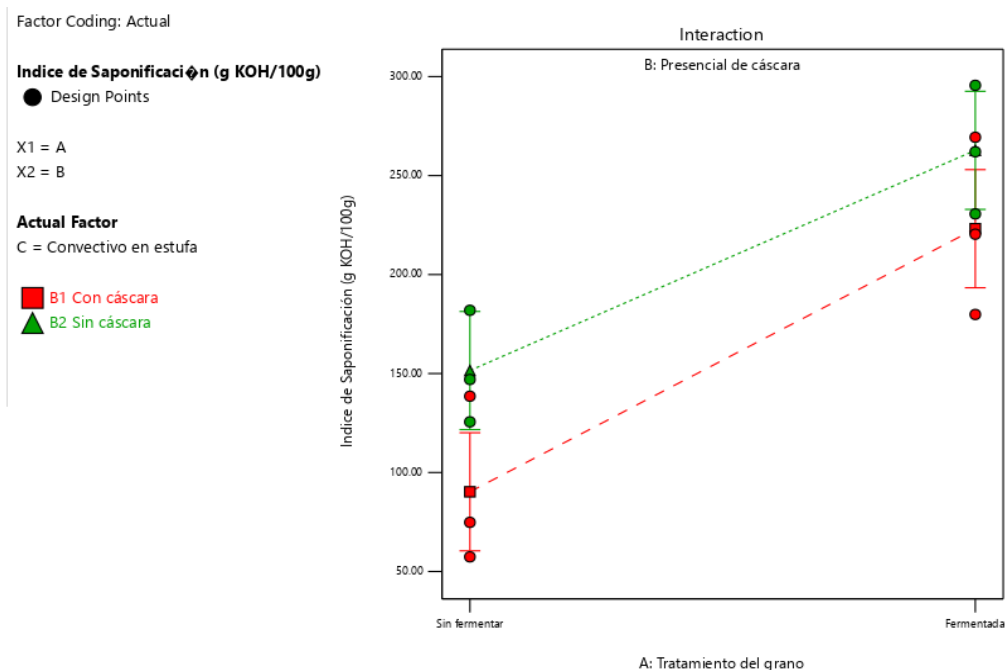


Figura 52: Resultado del Efecto de variables independientes en el Índice de Saponificación de manteca extraída de la semilla de Copoazú, semilla deshidratada por deshidratación convectiva en estufa, entre: A: tratamiento del grano y B: presencia de casca, C: Tipo de Deshidratación.

4.5.3.1 Índice de Acidez

Índice de Acidez obtenidos de la manteca cruda de la semilla de Copoazú, se observa una variación significativa con un promedio de $6,652 \pm 0,302$ mg KOH/g, excediendo los límites del Codex Alimentarios (máximo 4,00 mg KOH/g). (CODEX Alimentarius 2019), Las muestras frescas con cáscaras presentan los valores más altos, posiblemente debido a la hidrólisis de triglicéridos durante el almacenamiento o manipulación.

Al comparar nuestro resultado se observa que, nuestro valor obtenido es mucho mayor que el reportado por (Moreno et al. 2013) obtuvo un valores entre 1,372 y 3,872 mg KOH/g, (Alviárez et al. 2016) obtuvo un $1,04 \pm 0,1$ mg KOH/g y (Mogrovejo y Torres 2020) obtuvo un índice de acidez de 0,77 mg KOH/g. y otros autores de la Tabla 25 índice de calidad (Autores varios).

Esto indica que nuestra manteca está expuesta a la degradación oxidativa, por alto presencia de ácidos grasos libres. Esto pueda ser por los diferentes

fatores en el proceso de extracción de la manteca, tiempo de extracción, método de extracción, temperatura y otros, Figura 53 se puede ver la gráfica del efecto de los factores en el índice de acidez.

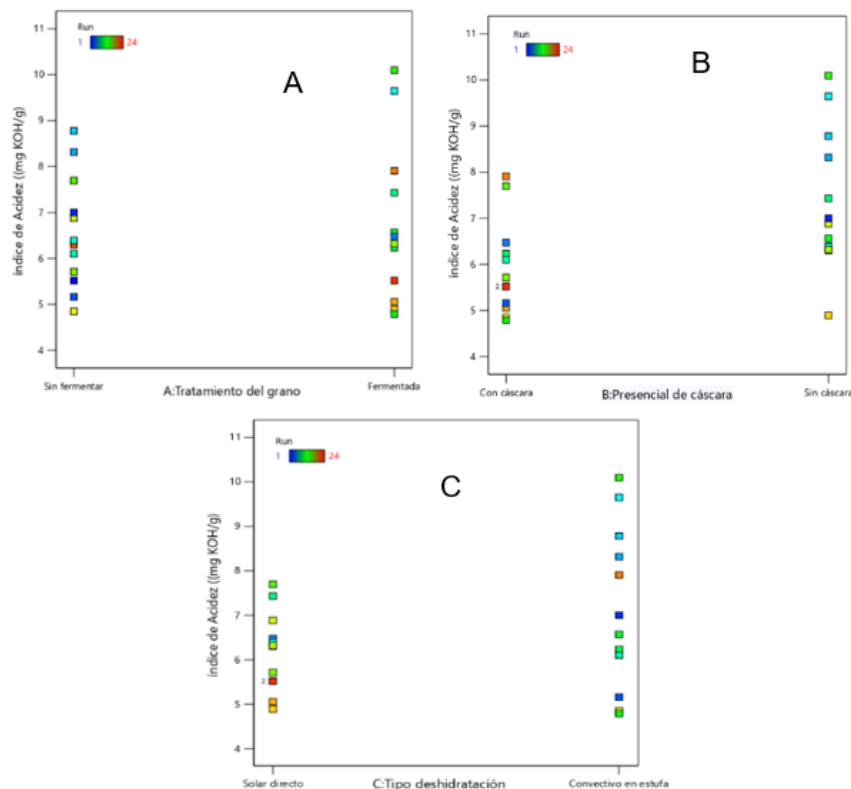


Figura 53: El efecto de los factores en el Índice de Acidez; A: tratamiento de grano; B: Presencia de cáscara y C: Tipo de deshidratación

Los índices de calidad de la manteca extraída están en su mayoría dentro de los rangos aceptables para grasas no refinadas, salvo el índice de acidez, que excede los límites establecidos, indicando la necesidad de optimizar las condiciones de pretratamiento y almacenamiento. El tratamiento de fermentación y la ausencia de cáscara son factores clave para mejorar los parámetros de calidad.

En la Tabla 23, Se observa que, cuando la muestra es fermentada, sin cáscara y deshidrata por convectivo-estufa se tiene un IA más alto de 9,65 mg KOH/g. Así mismo se observa que las muestras fermentadas, con cáscara y deshidratada por convectivo-estufa tienen un IA de 4,79 mg KOH/g, un valor más bajo del trabajo de investigación, pero fuera de los parámetros aceptados por (CODEX Alimentarius 2019).

Tabla 32. ANOVA de índice de Acidez

Fuente	SC	GL	CM	Valor F	Valor P
Modelo	27,94	4	6,98	5,9	0,0029
B	12,92	1	12,92	10,91	0,0037
C	5,28	1	5,28	4,45	0,0483
AC	2,56	1	2,56	2,16	0,1579
BC	7,18	1	7,18	6,06	0,0236
Residual	22,51	19	1,18		
Falta de ajuste	0,3116	3	0,1039	0,0749	0,9726
Pure Error	22,2	16	1,39		
Total	50,45	23			

Donde: A: Tratamiento del grano, B: Presencia de cascara, C: Tipo de deshidratación, SC: Suma de cuadrados, GL: Grados de Libertad, CM: Cuadrado medio.

Los datos experimentales fueron llevados a un análisis de varianza, en la Tabla 32, se muestra el análisis de varianza del índice de acidez, donde el valor F del modelo de 5,90 implica que el modelo es significativo, en este caso B con un valor P : 0,0037, C con un valor P:0,0483 y BC con un Valor P: 0,0236, por lo que, la presencia de cascara, tipo de deshidratación y las intersecciones entre B y C tienen un efeto significativo sobre los diferentes resultados de análisis de índice de acidez, mientras que las otras intercesiones de tratamiento de grano y tipo de deshidratación no ha tenido un efecto significativo, es decir no ha variado significativamente sobre los resultados de índice de acidez de la manteca extraída de semilla de Copoazú.

El índice de acidez, un indicador de la presencia de ácidos grasos libres en la manteca, está significativamente influenciado por la presencia de cáscara, el tipo de deshidratación y su interacción. Las muestras sin cáscara y deshidratadas en estufa presentaron un IA más alto, mientras que las muestras con cáscara y deshidratadas por el mismo método mostraron el valor más bajo, aunque fuera de los parámetros establecidos

por el Codex Alimentarius. Esto sugiere que, aunque las condiciones de pretratamiento afectan el IA, es necesario optimizar los procesos para cumplir con los estándares de calidad aceptados.

Tabla 33. Estadística de ajuste para el índice de Acidez

Parámetro	Valor
desviación estándar (σ)	1,09
promedio (μ)	6,65
Porcentaje de valor calculado (C.V. %)	16,36
R ²	0,5538
R ² ajustado	0,4598
R ² previsto	0,288
Precisión	6,4705

Modelo matemático a escala codificada de los factores

$$\text{Índice Acidez} = 6.65 + 0.7338 B + 0.4688 C + 0.3266 AC + 0.5470 BC$$

Donde:

A: Tratamiento de grano

B: presencia de cascara

C: Tipo de deshidratación

En la Tabla 33, se puede observar el ajuste estadístico, donde se muestra la precisión adecuada que mide la relación señal/ruido fue de 6,4705, esto indica una señal adecuada, por tanto, el modelo se puede usar para describir la variación de los datos experimentales en los datos experimentales adoptados para las variables de estudio. El análisis de varianza del modelo ajustado se muestra en la Tabla 32, El índice de acidez se incrementa cuando la semilla no es fermentada, sin cascara y por deshidratación convectiva en estufa, tal como se observa en la Figura 54. Así mismo mayor incremento del índice de acidez se tiene cuando la

semilla esta fermentada, sin cascara y es deshidratación convectiva en estufa, tal como se observa en la Figura 55.

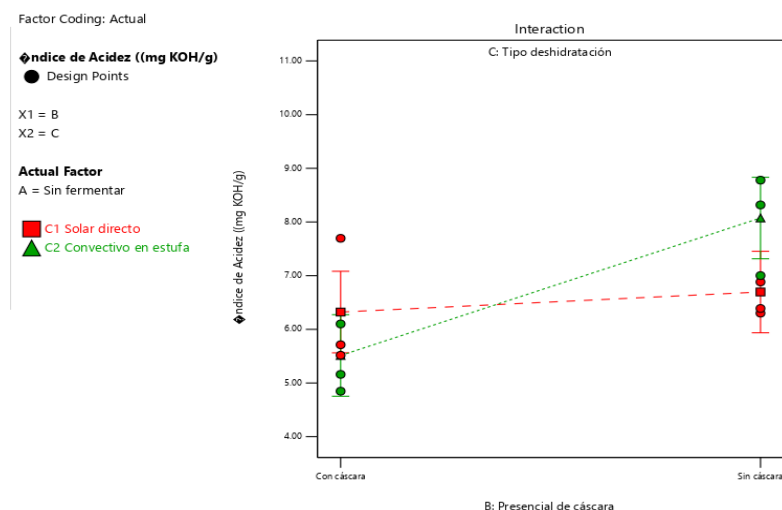


Figura 54: resultado del Efecto de variables independientes en el Índice de Acidez de manteca extraída en semilla sin fermentar, entre: A: tratamiento del grano y B: presencia de casca, C: Tipo de Deshidratación.

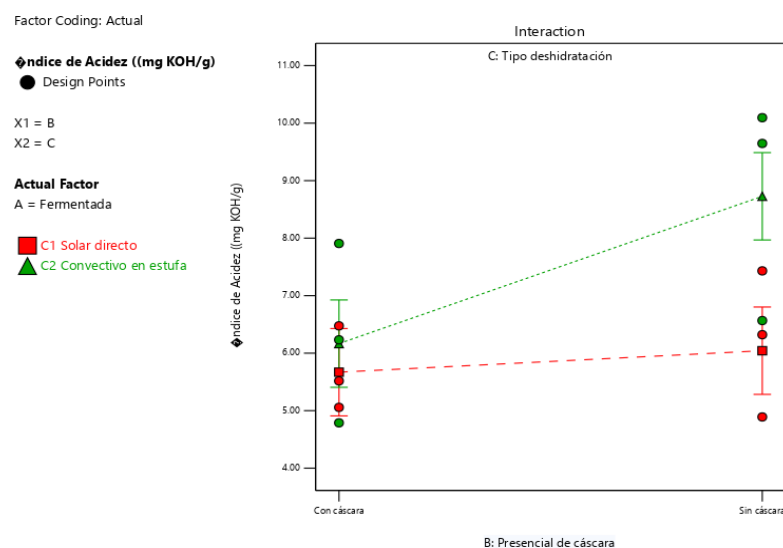


Figura 55: resultado del Efecto de variables independientes en el Índice de Acidez de manteca extraída en semilla sin fermentar, entre: A: tratamiento del grano y B: presencia de casca, C: Tipo de Deshidratación.

4.5.3.2 Punto de fusión

El punto de fusión de manteca de Copoazú obtenidos bajo diferentes condiciones experimentales, en la Tabla 23, se observa el promedio de **punto de fusión (PF)** obtenidos de la manteca cruda de la semilla de

Copoazú, es de 33.692 ± 0.286 °C valor similar al reportado por (Hernandez y Calderon 2006) obtuvo un valor de punto de fusión de 34 a 35 °C en la manteca extraída de la semilla de copoazú. se observa que las muestras sin fermentar, con cascara y deshidratada por convectivo-estufa tienen un PF más alto de 35,9 °C. Así mismo se observa que, cuando la muestra es fermentada, sin cascara y deshidrata por convectivo-estufa se tiene un PF más bajo de 30 °C.

Tabla 34. ANOVA de Punto de Fusión

Parámetros	SC	GL	CM	Valor F	Valor P
Modelo	0,273	6	0,0456	15,34	< 0,0001
A	0,052	1	0,0521	17,55	0,0006
B	0,034	1	0,034	11,46	0,0035
C	0,0496	1	0,0496	16,69	0,0008
AC	0,0534	1	0,0534	17,96	0,0006
BC	0,0723	1	0,0723	24,32	0,0001
ABC	0,012	1	0,012	4,04	0,0605
Residual	0,0505	17	0,003		
Falta de ajuste	0,0003	1	0,0003	0,1091	0,7454
Error Puro	0,0502	16	0,0031		
Total, corregido	0,3239	23			

Donde: A: Tratamiento del grano, B: Presencia de cascara, C: Tipo de deshidratación, SC: Suma de cuadrados, GL: Grados de Libertad, CM: Cuadrado medio.

En la Tabla 34 se observa Análisis de varianza del puto de Fusión, se muestra que A: tratamiento de grano, B: presencia de cascara, C: tipo de deshidratación y las intersecciones entre AC y BC tienen un efeto significativo sobre los diferentes resultados de análisis de punto de fusión, mientras que las intercesiones de ABC no han tenido un efecto significativo, es decir no ha variado significativamente sobre los resultados de punto de fusión.

El punto de fusión de la manteca de Copoazú está significativamente influenciado por el tratamiento del grano, la presencia de cáscara y el tipo de deshidratación, así como por ciertas interacciones entre estos factores. Las condiciones experimentales óptimas para maximizar el punto de

fusión varían según la combinación de fermentación, eliminación de cáscara y tipo de deshidratación.

El punto de fusión se incrementa cuando la semilla es, deshidratada por Solar Directo, fermentada y sin cascara, así como se muestra en la Figura 53. Mientras en la Figura 56 tiene mayor incremento cuando la semilla es deshidratada por convectivo- Estufa, semilla sin fermentar y con cascara

Tabla 35. Estadística de ajuste para Punto de Fusión

Parámetro	Valor
desviación estándar (σ)	0,0545
promedio (μ)	5,97
Porcentaje de valor calculado (C.V. %)	0,9125
R ²	0,8441
R ² ajustado	0,7890
R ² previsto	0,6892
Precisión	12,6582

Modelo matemático a escala codificada de los factores

$$\text{Punto de Fusion} = 5.97 - 0.0466 A + 0.0377 B - 0.0454 C - 0.0472 AC - 0.0549 BC - 0.0224 ABC$$

Donde:

A: Tratamiento de grano

B: presencia de cascara

C: Tipo de deshidratación

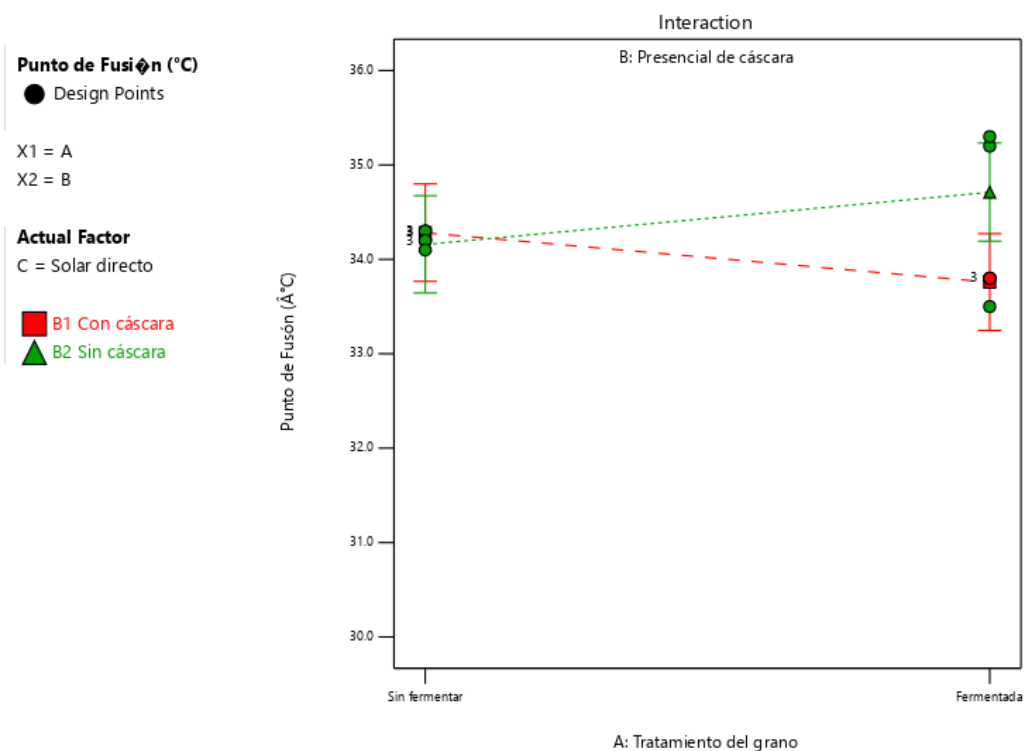


Figura 56: resultado del Efecto de variables independientes en el punto de fusión de manteca extraída en semilla por deshidratación Solar directo entre, entre: A: tratamiento del grano y B: presencia de casca, C: Tipo de Deshidratación.

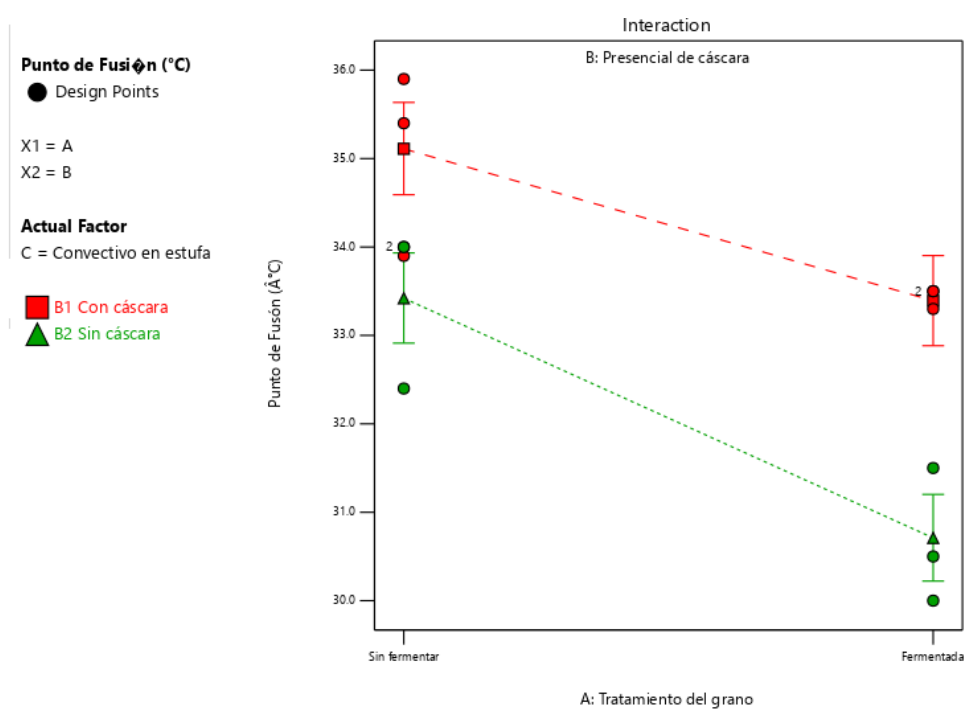


Figura 57: resultado del Efecto de variables independientes en el puto de fusión, de manteca extraída en semilla por deshidratación convectiva entre: A: tratamiento del grano y B: presencia de casca, C: Tipo de Deshidratación.

4.5.4 Efecto de la variable independiente en el Análisis de antioxidante.

La **actividad antioxidante** se expresa como micromoles de Equivalentes Trolox (ET) por unidad de peso de la muestra analizada (generalmente, por 100 g de peso fresco).

En la Tabla 36, se aprecia los valores obtenidos que fueron realizados por triplicado, expresa el coeficiente de Inhibición al 50% (CI₅₀ o IC₅₀) en equivalentes Trolox. de acuerdo al Método descrito por: (Liza A-Rahaman et al. 2013) con algunas modificaciones, donde se mostró el valor más alto de **10,6867 µmoles de ET/g**. En semilla fresca con cascara y deshidratadas por Radiación solar directa, mientras se observa que el valor mínimo fue de **10,6351 µmoles de ET/gr** en semillas frescas con cascara y deshidratación por corriente convectivo-estufa, mostrando que hay una mínima diferencia.

Tabla 36. Resultados de análisis de actividad antioxidantes por DPPH en µmoles de ET/g de la manteca extradida de semilla fresca y deshidratadas por estufa 70° C y por radiación solar directa a 24 horas de copoazú.

		DPPH			
		Método deshidratación	Eficiencia (% b.h)	Eq-Trolox CI 50 µg/g	Eq-Trolox CI 50 µmoles/g
Semilla fresca de copoazú	SE-SC	CC	51,675	--	--
		RS	50,865	2670,1814	10,6684
	SE-CC	CC	48,335	2661,8472	10,6351
		RS	44,9125	2674,773	10,6867

SE-SC: Semilla fresca sin cascara; SE-CC: Semilla fresca con cascara; CC: Corriente convectivo y RS: Radiación Solar.

Por otro lado, en la Tabla 37 se aprecia los resultados de análisis de actividad antioxidante de semillas fermentadas, donde se mostró el valor

más alto de **10,4671 μmoles de ET/g** en Semilla fermentadas, sin cascara y deshidratadas por Corriente Convectivo-estufa, mientras se observa que el valor más bajo fue de **10,3230 μmoles de ET/g** en semillas fermentadas, sin cascara y deshidratación por Radiación Solar Directa.

Tabla 37. Resultados de análisis de antioxidantes por DPPH en μmoles de ET/g de la manteca, extraída de semilla fermentada y deshidratadas por estufa a 70°C y radiación solar de copoazú.

		Método deshidratación	Eficiencia (% b.h)	DPPH	
				Eq-Trolox CI 50 µg/g	Eq-Trolox CI 50 µmoles/g
Semilla fermentada de copoazú	SF-CC	CC	68,95	2619,807	10,4671
	SC	RS	79,3075	2583,7354	10,323
	SF-CC	CC	57,0625	2594,0939	10,3644
	CC	RS	47,73	--	--

SE-SC: Semilla fresca sin cascara; SE-CC: Semilla fresca con cascara; CC: Corriente convectivo y RS: Radiación Solar.

En comparando los resultados de la Tabla 36 y 37, se puede decir que la diferencia de valores obtenidos de actividad antioxidante es mínima. Estos resultados de la actividad antioxidante de las semillas de copoazú son más bajos a los reportados por (Rojas C. y Villagra H. 2016), que analizaron la capacidad antioxidante por DPPH μmoles de ET/100 g. muestra húmeda, obtuvieron $343,832 \pm 0,361$ μmoles de ET/100 g.h. en extractos de semillas con fermentación natural y secadas en bandejas de madera, y $336,900 \pm 0,363$ μmoles de ET/100 g. h. extractos de semillas con fermentación natural y secado Artificial, (Alviárez et al. 2016) reporta la capacidad antioxidante de aceite de copoazú, mediante a través del ensayo de capacidad de absorción de radical Oxígeno (ORAC) un valor de $140,32 \pm 1,3$ micro-moles equivalente de Trolox/g de aceite. (Cuellar-Alvarez et al. 2017) encontró el atrapamiento del radical DPPH en un rango entre $1687.72 \mu\text{mol Trolox g}^{-1}$ actividad antioxidante en semillas de copoazú

fermentadas y 564.10 $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$, actividad antioxidantes en granos fermentados, seco y tostados. Mostró mayor incremento en la actividad antioxidante el día 6, después decrece.

Los resultados obtenidos en esta investigación son significativamente más bajos en comparación con los valores reportados en la literatura, Esto indica que el efecto de tratamiento de grano, presencia de cascara y método de deshidratación afectan la concentración de la actividad antioxidante de la manteca extraída de semilla de copoazú, y otros factores que puedan influir como el método de extracción, tiempo, temperatura entre otros.

Debe tenerse presente que los **ácidos grasos** insaturados, particularmente los polinsaturados, tienen mayor predisposición a la oxidación que los ácidos grasos saturados, observándose una baja resistencia a la oxidación; esto pudo ser debido a una escasa presencia de compuestos antioxidantes naturales, como son los compuestos fenólicos, carotenoides o tocoferoles en el aceite, lo que se corrobora al observar el valor obtenido en la Tabla 36 y 37 de nuestro trabajo.

La Tabla 38 muestra una comparación del porcentaje de composición de ácidos grasos identificados en la manteca de **semilla fermentada** de copoazú, encontrándose en mayor proporción el ácido graso Oleico (omega 9) (17,2%), un tipo de grasa mono insaturado típica de algunos aceites vegetales, Seguido del ácido Esteárico con una concentración de 11,7% y otros ácidos grasos pero en menor concentración, como el araquídico (2,7%), el palmítico(3,9%), ácido Eicosenoico (1,9 %) y ácido linoleico(1,8%), aunque en cantidades relativamente baja están en la Manteca de la Semilla Fermentada, sin cascara y por deshidratación solar directa con un tiempo de 12 horas, mientras que 6,8 % de concentración de ácido Oleico en Manteca de la semilla fermentada, sin cascara y deshidratación por corriente convectivo a una temperatura de 80°C. Resultados que al comparar con (Mogrovejo y Torres 2020), encontraron en mayor proporción ácido oleico (36,30%) y ácido esteárico (29,27%) y palmítico (7,26%); (Moreno et al. 2013), reportan el ácido oleico (44%),

ácido araquídico(11,7%), linoleico (5,03%). se observa que hay una diferencia grande los resultados de ácidos grasos de la presente investigación, ya que son menores a diferencia de los reportado por otros autores, por lo que se puede decir que la presencia de cascara, el tipo de deshidratación, tiempo y temperatura, influye sobre los resultados de la composición de ácidos grasos.

La Tabla 39 se muestra una comparación del porcentaje de composición de ácidos grasos identificados en la manteca extraída de la **Semilla Fresca** de copoazú, encontrándose en mayor proporción el ácido graso Oleico (omega 9)(17,5%) un tipo de grasa mono insaturado típica de algunos aceites vegetales, seguido del ácido Esteárico (12,4%) y otros ácidos grasos pero en Moner concentración, como el araquídico (3,9%), ácido palmítico(2,7%), ácido linoleico(1,8%), esto en la Manteca de la semilla fresca, sin cascara y por deshidratación solar directo con un tiempo de 12 horas, aunque en cantidades relativamente baja. Resultados que al comparar con (Torres 2019), encontraron en mayor proporción ácido oleico (36,30%) y el ácido esteárico (29,27%) y palmítico (7,26%);(Moreno et al. 2013), reportan el ácido oleico (44%), ácido araquídico (11,7%), linoleico (5,03%). Por ello observa que hay diferencia grande en los resultados de ácidos grasos de la presente investigación, ya que son menores a diferencia de los reportado por otros autores, por lo que se puede decir la presencia de cascara, el tipo de deshidratación, tiempo y temperatura, influye sobre los resultados de la composición de ácidos grasos.

Tabla 38. resultados de análisis de ácidos grasos de la manteca, extraída de semilla fermentada de copoazú.

Compuestos	Manteca de la semilla fermentada sin cascara secado de forma natural por un tiempo de 24h		Manteca de la semilla fermentada con cascara secado por corriente convectivo a una T° 100°C.		Manteca de la semilla fermentadas sin cascara secado por corriente convectivo a una T° 80°C.		Manteca de la semilla fermentada sin cascara secado de forma natural por un tiempo de 12h	
	A1		A2		A3		A4	
	Tiempo de Ret.	concentración (%)	Tiempo de Ret.	concentración (%)	Tiempo de Ret.	concentración (%)	Tiempo de Ret.	concentración (%)
Palmítica	18,451	2,4	18,435	2,5	18,436	2,6	18,436	2,7
Palmitoleico	18,981	0	18,97	0	18,97	0	18,96	0
heptadecanoico	20,188	0,1	20,172	0,1	20,178	0,1	20,172	0,1
Esteárico	21,914	11	21,904	11	21,901	11,7	21,909	11,7
Elaídico	21,914	0,8	21,914	1	22,01	0,5	21,909	1,2
Oleico	22,333	15,5	22,327	15,8	22,328	16,8	22,328	17,2
Linoleico	23,069	1,5	23,063	1,6	23,064	1,7	23,064	1,7
Linolénico	24,07	0,1	24,059	0,2	24,054	0,1	24,049	0,1
Araquídico	25,092	3,4	25,081	3,4	25,081	3,7	25,081	3,7
Eicosenoico	25,441	1,7	25,462	1,6	25,42	1,3	25,452	1,9
Behenic	28,645	0,6	28,634	0,6	28,634	0,6	28,634	0,6
Erucic	28,994	0,5	29,127	0,7	29,106	0,6	29,243	0,8

Tabla 39. resultados de análisis de ácidos grasos de la manteca, extraída de semilla fresca de copoazú.

Compuestos	Manteca de la semilla fresca sin cascara secado de forma natural por un tiempo de 24h		Manteca de la semilla fermentada con cascara secado por corriente convectivo a una T° 70°C.			Manteca de la semilla fresca con cascara secado de forma natural por un tiempo de 8h		Manteca de la semilla fresca sin cascara secado de forma natural por un tiempo de 12h
	B1		B2			B3		B4
	Tiempo de Ret.	concentración (%)	Tiempo de Ret.	concentración (%)	Tiempo de Ret.	concentración (%)	Tiempo de Ret.	concentración (%)
A. Pentadecanoico					16,598	0		
Acido Palmítico	18,43	2,5	18,43	2,5	18,43	2,7	18,43	2,7
Acido palmitoleico	18,954	0	18,96	0	18,954	0	18,949	0
A. heptadecanoico	20,167	0,1	20,167	0,1	20,167	0,1	20,172	0,1
Acido esteárico	21,899	11,3	21,893	10,8	21,899	11,4	21,899	12,4
Acido elaídico	21,952	0,4	21,915	0,5	21,92	0,9	22,264	0,7
Ácido Oleico	22,317	16,1	22,317	16	22,317	17,1	22,317	17,5
Acido Linoleico	23,058	1,8	23,058	1,7	23,058	1,9	23,053	1,8
Acido Linolénico	24,049	0,1	24,054	0,1	24,049	0,1	24,043	0,1
Ácido Araquídico	25,071	3,5	25,071	3,5	25,071	3,8	25,071	3,9
Ácido eicosenoico	25,441	1,3	25,431	1,1	25,431	1,2	25,441	2
Ácido Behenico	28,629	0,6	28,618	0,6	28,624	0,7	28,618	0,6
Ácido Erúcico	28,91	1,2	29,069	0,9	29,286	0,7	29,095	0,6

El contenido de ácidos grasos de la manteca extraída de las semillas de copoazú, obtenida por prensado hidráulico en el estudio fue menor que los reportados en la literatura, haciendo la comparación con los resultados de otras investigaciones que se muestran en el Tabla 40 de composición de ácidos grasos. Al compararse nuestros resultados de investigación de la Tabla 38 y 39, con otros autores, se evidencia que en todos los estudios el ácido graso con mayor proporción es el Ácido oleico, seguido del ácido esteárico.

El contenido de ácidos grasos en la manteca de Copoazú extraída por prensado hidráulico en este estudio fue menor en comparación con los reportados en la literatura, probablemente se deba a los diferentes pretratamientos, el tipo de deshidratación, tiempo de extracción y diferentes métodos de extracción, cuando comparamos los resultados con el presente trabajo.

Tabla 40. Composición de los ácidos grasos de la manteca de Copoazú y cacao

Ácidos grasos		Copoazú (Alviárez et al. 2016)	Copoazú (Vasconcelos et al. 1975)	Copoazú (Gilabert- Escrivá et al., 2002b)	Copoazú (Cohen y Jackix 2009)	Copoazú (Itriago et al. 2017)	Copoazú (Pugliese 2010)	Copoazú (Silva et al. 2009)	Cacao (Silva et al., 2009)
Ácido mirístico	C14:0	0,03	--	--	0,08	0,6	--	--	--
Ácido palmítico	C16:0	7,26	5,8	8,5	11,25	8	7,54	6,97	25,11
Ácido palmitoleico	C16:1	0,12	--	0,2	0,4	--	--	0,12	0,29
Ácido esteárico	C18:0	29,27	38,3	34,6	38,09	32,7	32,6	33,08	33,33
Ácido oleico	C18:1	36,30	42,8	42	38,79	40	41,31	42,32	36,47
Ácido linoleico	C18:2	3,60	8,3	3,4	2,39	3,1	4,9	3,55	3,52
Ácido α linolénico	C18:3	0,20	--	--	0,22	0,3	0,2	0,13	0,08
Ácido araquídico	C20:0	11,22	4,8	9,9	7,97	10,4	10,51	11,1	1,02
Ácido galadoleico	C20:1	0,35	--	--	--	--	0,34	0,41	0,09
Ácido behénico	C22:0	2,11	--	1,3	0,74	1,4	1,72	2,32	0,09
Saturados (%)		50,42	48,9	54,3	58,13	53,3	52,81	53,47	59,55
Monoinsaturados (%)		36,78	42,8	42,2	39,19	40	42,12	42,85	36,85
Poliinsaturados (%)		3,8	8,3	3,4	2,61	3,4	5,07	3,68	3,6

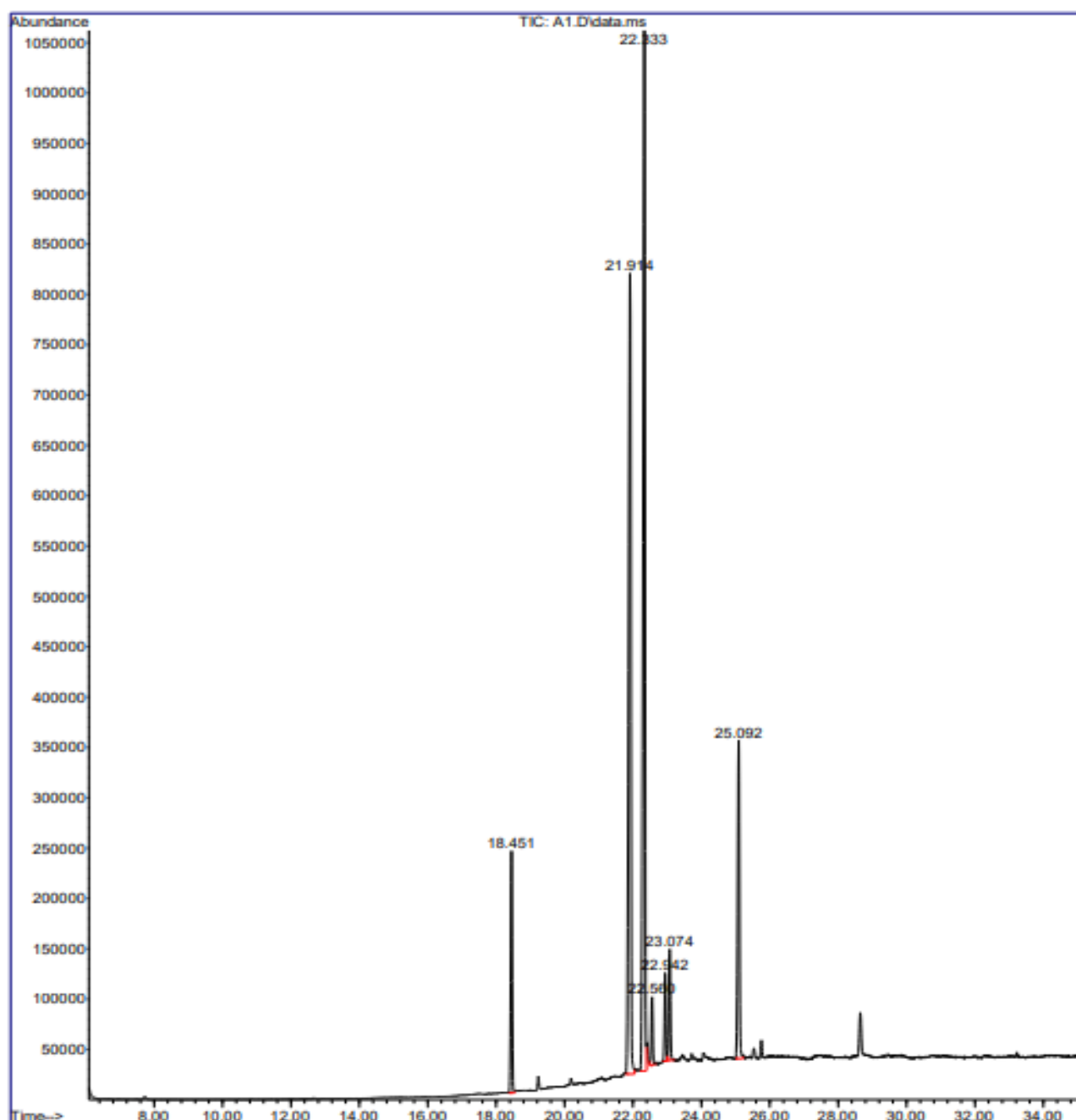


Figura 58: Cromatograma A1= Manteca de semilla fermentada sin cascara secado de forma natural por un tiempo de 24 h. En la figura A1 presenta con mayor % el ácido Oleico con una concentración de 15.5 %, seguido de ácido esteárico 11%.

En la figura 58 se observa, que la manteca de semilla fermentada, sin cascara, secado de forma natural por un tiempo de 24 horas, tiene mayor concentración de ácido Oleico con una concentración de 15.5%, con un tiempo de retención de 22,333, seguido de ácido esteárico 11% con un tiempo de retención de 21,914.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

Se utilizaron frutos de copoazú como materia prima, separando las semillas que posteriormente fueron analizadas físico-químicamente y sometidas a diferentes pretratamientos, tales como fermentación, pelado y deshidratación por exposición directa al sol y mediante corriente convectiva en una estufa con temperatura controlada. Estos pretratamientos se llevaron a cabo bajo un diseño experimental completamente aleatorio por grupos con el objetivo de evaluar los índices de peróxido (mEq O₂/kg), saponificación (g KOH/100g) y acidez (mg KOH/g), así como la actividad antioxidante de la manteca extraída por prensado hidráulico.

Se evaluó el efecto de las condiciones de pretratamiento de la semilla de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) sobre la variación de los índices de calidad, actividad antioxidante y el rendimiento de la manteca cruda obtenido por prensado hidráulico. En términos generales, los resultados indican que el rendimiento de las semillas algunas veces a los diferentes tratamientos no difiere sustancialmente. Por lo tanto, para fines de extracción mediante prensado hidráulico, se pueden utilizar semillas fermentadas o no fermentadas, así como semillas con o sin cáscara. En particular, se encontraron los siguientes resultados:

La manteca extraída de las semillas de copoazú representa una fuente significativa de ácidos grasos omega 6 y 9, lo que la convierte en una alternativa viable para su uso en la cosmética, la química fina y la industria alimentaria (como sustituto de la manteca de cacao). Esto constituye una opción para la valorización del fruto de copoazú en la región de Madre de Dios.

Según los análisis cuantitativos de la manteca cruda obtenida, el índice de peróxido promedio (IP) fue de $11,371 \pm 0,881$ mEq-O₂/kg, un valor inferior al establecido por el Codex Alimentarius (15 mEq-O₂/Kg). Cuando el grano de copoazú fue fermentado, mantuvo su cáscara y fue deshidratado por radiación

solar directa, la manteca obtuvo un IP de 3,45 mEq-O₂/kg. En comparación, la manteca de muestras no fermentadas, sin cáscara y deshidratadas en estufa convectiva presentó un IP de 20,87 mEq-O₂/Kg. Esto sugiere que el tratamiento del grano y la presencia de la cáscara tienen un efecto significativo sobre el IP, mientras que el tipo de secado no mostró un impacto significativo.

Por otro lado, el índice de yodo (IY) de la manteca no fue significativamente afectado por el tipo de tratamiento, la presencia de cáscara ni el tipo de deshidratación del grano entero de copoazú. En cuanto al índice de acidez (IA), la presencia de cáscara mostró un efecto significativo, con valores que variaron de 9,65 mg KOH/g para las semillas fermentadas, sin cáscara y deshidratadas por convectivo-estufa, a 4,79 mg. KOH/g para muestras fermentadas, con cáscara y deshidratadas por convectivo-estufa. En cuanto a las propiedades físicas, como el punto de fusión de la manteca obtenido, no se observaron variaciones significativas debido al pretratamiento de los granos de *T. grandiflorum*.

La actividad antioxidante de la manteca no se vio significativamente afectada por las diversas condiciones de pretratamiento de las semillas de *T. grandiflorum* mostrando un promedio de $10,524 \pm 0,066$ μ moles de ET/g.

El perfil de ácidos grasos determinado por GC-MS mostró diversos comportamientos según el pretratamiento de las semillas. Para las semillas frescas, sin cáscara y deshidratadas por radiación solar, se observaron los siguientes ácidos: ácido oleico (omega 9) (17,5%), ácido esteárico (12,4%), ácido araquídico (3,8%), ácido palmítico (2,7%) y ácido linoleico (1,8%). En las semillas fermentadas, sin cáscara y deshidratadas por radiación solar directa, los ácidos presentes fueron: ácido oleico (17,2%), ácido esteárico (11,7%), ácido araquídico (3,7%), ácido palmítico (2). ,7%), ácido eicosenoico (1,9%) y ácido linoleico (1,7%).

El rendimiento promedio de manteca cruda extraída de la semilla de copoazú por prensado hidráulico en frío fue de $36,61 \pm 1,52\%$. Los tratamientos de grano y la presencia de cáscara tuvieron un efecto significativo sobre el rendimiento de la manteca extraída, mientras que el tipo de deshidratación no mostró un efecto significativo sobre este rendimiento.

CAPITULO VI: SUGERENCIAS

Las siguientes sugerencias para futuras investigaciones siguiendo la línea del proyecto de investigación.

- ❖ Evaluación del tiempo de fermentación y temperatura, es importante investigar cómo el tiempo y la temperatura de fermentación pueden influir en el rendimiento de la manteca cruda extraída, ya que estos factores podrían incrementar significativamente el rendimiento.
- ❖ En la investigación se extrajo manteca cruda cuyos índices de calidad no cumplen en su totalidad con las recomendaciones del Codex Alimentarius (2019). Por lo tanto, se sugiere realizar el análisis de los índices de calidad y actividad antioxidante lo más pronto posible después de la extracción de la manteca. Además, es necesario llevar a cabo estudios o evaluaciones sobre la vida útil de la manteca, por lo que se recomienda realizar investigaciones adicionales para determinar la vida útil de la manteca cruda de Copoazú.
- ❖ Es importante mantener a bajas temperaturas la manteca extraída para que se puedan conservar los componentes fisicoquímicos de la manteca extraída de Copoazú.

CAPITULO VII: REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- AFOAKWA, E., OFOSU-ANSAH, E., BUDU, A., MENSAH-BROWN, H. y TAKRAMA, J.F., 2015. Roasting effects on phenolic content and free-radical scavenging activities of pulp preconditioned and fermented cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, vol. 15, no. 1, pp. 9635-9650-9650. ISSN 1684-5374. DOI 10.4314/ajfand.v15i1.
- AL-SAQARAT, B.S., AL-DEGS, Y.S., MUSLEH, F.M., NAJJAR, H.S., AL-NOAIMI, M., DAWOUD, J.N. y SUNJUK, M.S., 2019. Structural characterization of shale oil obtained by Soxhlet extraction. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, vol. 38, no. 6. ISSN 19447450. DOI 10.1002/ep.13234.
- ALVES, R.M., SEBBENN, A.M., ARTERO, A.S., CLEMENT, C. y FIGUEIRA, A., 2007. High levels of genetic divergence and inbreeding in populations of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*). *Tree Genetics and Genomes*, vol. 3, no. 4, pp. 289-298. ISSN 16142942. DOI 10.1007/s11295-006-0066-9.
- ALVIÁREZ, E., MURILLO, W., MURILLO, E., ... B.R.-C. en y 2016, undefined, 2016. Caracterización y extracción lipídica de las semillas del cacao amazónico .(Characterization and Lipid Extraction of Amazon Cocoa Seeds. *Revistas.Uptc.Edu.Co* [en línea], vol. 7, no. 1, pp. 103-109. Disponible en: http://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_en_desarrollo/article/view/4237.
- ARAÚJO JORGE, L.H., 2011. Cultivo e Beneficiamento do cupuaçu. *SENAI - Dossiê Técnico*, pp. 24.
- AVILA V., V.A. y SILVA R., M.F., 2008. *Evaluación de la calidad microbiológica de los helados elaborados en una empresa del municipio de Soacha y su impacto a nivel local*. [en línea]. S.I.: PONTIFICIA UNIVERSIDAD

- JAVERIANA FACULTAD DE CIENCIAS. Disponible en:
<http://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis139.pdf>.
- AZEVEDO, A.B.A. de, 2001. Extração e Fracionamento da Gordura de Cupuaçu (*Theobroma Grandiflorum*) com Fluidos Supercríticos. *Tesis Ing. Químico , Universidade Estadual de Campinas*, pp. 130.
- BELITZ, H.D., GROSCH, W. y SCHIEBERLE, P., 2008. Edible Fats and Oils. *Food Chemistry*, pp. 640-669. ISSN 0006-6648. DOI 10.1007/978-3-540-69934-7.
- BIGLIARDI, B. y GALATI, F., 2013. Innovation trends in the food industry: The case of functional foods. *Trends in Food Science and Technology* [en línea], vol. 31, no. 2, pp. 118-129. ISSN 09242244. DOI 10.1016/j.tifs.2013.03.006. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2013.03.006>.
- BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M.E. y BERSET, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 28, no. 1, pp. 25-30. ISSN 00236438. DOI 10.1016/S0023-6438(95)80008-5.
- BRAND, W., CUVELIER, M.E. y BERSET, C., 1995. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol*, vol. 30, pp. 25-30.
- CAJO PINCHE, M.I. y DÍAZ VITERI, J.E., 2017. Determinación de los parámetros óptimos de tostado de la semilla de copoazu para la obtención de chocolate de copoazu – *Theobroma grandiflorum* (Willd ex Spreng) Schum. *Universidad Nacional Amazonica de Madre de Dios* [en línea], pp. 1-41. Disponible en:
<http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/457/045-2018-UNAMAD-VRI.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.
- CALZAVARA, B., MULLER, C.H. y KAHWAGE, O.N., 1984. *Fruticultura tropical: O Cupuaçuzeiro* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 01012835. Disponible en:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/387253/1/CPATU>

Doc32.pdf.

- CARVALHO, J.E., HANS MULLER, C., BENCHIMOL, R.L., KOUZO KATE, A. y ALVES, R.M., 1999. Copoasu [*Theobroma grandiflorum*]: Cultivo y Utilización. , pp. 142.
- CASTRO-ROBAYO, Z.R., 2010. *Caracterización del proceso de fermentación del grano de copoazú (Theobroma grandiflorum Willd. ex spreng)*. S.l.: Universidad Nacional de Colombia.
- CODEX ALIMENTARIUS, 2016. Norma Para la Manteca de Cacao CODEX STAN 86-1981. *Normas internacionales de los alimentos*, vol. 86-1981, pp. 1-2. ISSN 1098-6596.
- CODEX ALIMENTARIUS, 2019. Norma para Grasas y Aceites Comestibles no Regulados por Normas Individuales. *FAO*, pp. 5.
- COHEN, K.D.O. y JACKIX, M.D.N.H., 2009. Características Químicas e Física da Gordura de Cupuaçu e da Manteiga de Cacao. *Embrapa Cerrados* [en línea], pp. 1-22. Disponible en: http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/2009/doc/doc_269.pdf.
- CRIOLLO, J., CRIOLLO, D. y SANDOVAL-ALDANA, A., 2010. Fermentación de la almendra de copoazú (*Theobroma grandiflorum* [Willd. ex Spreng.] Schum.): evaluación y optimización del proceso. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, vol. 11, no. 2, pp. 107-115. ISSN 0122-8706. DOI 10.21930/rcta.vol11_num2_art:200.
- CUELLAR-ALVAREZ, L., CUELLAR-ÁLVAREZ, N., GALEANO-GARCÍA, P. y SUÁREZ-SALAZAR, J.C., 2017. Effect of fermentation time on phenolic content and antioxidant potential in Cupuassu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K. Schum.) beans. *Agroindustria y Ciencia de los Alimentos / Agroindustry and Food Science*, vol. 66, no. 4. ISSN 01202812. DOI 10.15446/acag.v66n4.61821.
- ELWERS, S. y LIEBEREI, R., 2020. Histological and cytological comparison of seed structures of *Theobroma cacao*, *Theobroma grandiflorum* and *Theobroma bicolor* relevant to post-harvest processing and product quality. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, vol. 93, pp. 248-256.

ISSN 1439040X. DOI 10.5073/JABFQ.2020.093.031.

ESPARZA, R.M.D., 2017. Capacidad Antioxidante y Polifenoles Totales del Grano de Cacao (*Theobroa cacao* L.) de los Distritos de Naranjillo y Rioja. *Tesis pregado*, vol. 0. ISSN 0717-8883. DOI 10.5354/0717-8883.1988.22598.

FAO, 2008. *Grasas y ácidos grasos en nutrición humana Consulta de expertos*. S.l.: s.n. ISBN 9789253067336.

FRANCO, M.R.B. y SHIBAMOTO, T., 2000. Volatile Composition of Some Brazilian Fruits: Umbu-caja (*Spondias*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 48 (4), pp. 1263-1265.

GALEANO-G., P., CUELLAR A., L. y SCHINELLA, G., 2012. Influencia Del Procesamiento Del Grano De Copoazu (*Theobroma Grandiflorum*), Sobre La Actividad Antioxidante Y El Contenido Fenolico. *Vitae* [en línea], vol. 19, no. 1, pp. S285-S287. ISSN 0121-4004. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/278329475>.

GALLEGO, M.G., 2016. Estudio de la actividad antioxidante de diversas plantas aromáticas y/o comestibles. *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)* [en línea], pp. 252. Disponible en: <https://www.tdx.cat/handle/10803/403986>.

GENOVESE, M.I. y LANNES, S.C. da S., 2009. Comparison of total phenolic content and antiradical capacity of powders and «chocolates» from cocoa and cupuassu. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, vol. 29, no. 4, pp. 810-814. ISSN 0101-2061. DOI 10.1590/s0101-20612009000400017.

GILABERT-ESCRIVÁ, M.V., GONÇALVES, L.A.G., SILVA, C.R.S. y FIGUEIRA, A., 2002. Fatty acid and triacylglycerol composition and thermal behaviour of fats from seeds of Brazilian Amazonian *Theobroma* species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 82, no. 13, pp. 1425-1431. ISSN 00225142. DOI 10.1002/jsfa.1107.

GIOIELLI, L.A., 1996. *Óleos e Gosduras Vegetais: Composição e Tecnologia*. 1996. S.l.: s.n.

GÓMEZ-ALONSO, S., FREGAPANE, G., DESAMPARADOS SALVADOR, M.

- y GORDON, M.H., 2003. Changes in phenolic composition and antioxidant activity of virgin olive oil during frying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 51, no. 3, pp. 667-672. ISSN 00218561. DOI 10.1021/jf025932w.
- GONDIM, T.M.D.S., THOMAZINI, M.J., CAVALCANTE, M.D.J.B. y SOUZA, J.M.L. De, 2001. *Aspectos da produção de cupuaçu* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/7590>.
- GUTSCHE, A., SMITH, N. y WUST, W.H., 2008. *Frutas amazónicas, postres peruanos de vanguardia*. Primera. Lima, Perú: Wust Ediciones. ISBN 9786034017XXX.
- HERNADEZ, M.S. y BARRERA, J.A., 2004. *Manejo poscosecha y transformacion de frutales nativos promisorio en la Amazonia colombiana*. Bogota, Colombia: s.n.
- HERNANDEZ, A.S. y CALDERON, S.S., 2006. *Ciencia Unisalle Obtención de una cobertura de chocolate a partir de cacao silvestres , copoazú (Theobroma grandiflorum) y maraco (Theobroma bicolor) de la Amazonia Colombiana*. S.l.: Univesidad de la Salle, Bogota.
- HERNANDEZ, M.S. y BARRERA, J.A., 2009. *Frutas amazónicas competitividad e innovación*. Primera. Bogotá, Colombia: Scripto. ISBN 978-958-8317-45-8.
- HERNÁNDEZ, M.S., MELGAREJO, L.M., BARRERA, J.A. y CARRILLO, M., 2006. *Oferta y Potencialidades de un Banco de Germoplasma del Género Theobroma en el Enriquecimiento de los Sistemas Productivos de la Región Amazónica* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9589795080.
- HII, C., LAW, C., SUZANNAH, S. y CLOKE, M., 2009. Polyphenols in cocoa (Theobroma cacao L.). *As. J. Food Ag-Ind* [en línea], vol. 2, no. 204, pp. 702-722. ISSN 1906-3040. Disponible en: www.ajofai.info.
- ITIS, [sin fecha]. *Taxonomy and Nomenclature Theobroma grandiflorum. System Integrated Taxonomic Information*.

- ITRAGO, C. V., DE MELO FILHO, A.A., ESTEVAM RIBEIRO, P.R., GONÇALVES REIS MELO, A.C., APARECIDA TAKAHASHI, J., PERPETUA FERRAZ, V., SAGAMA MOZOMBITE, D.M. y CARVALHO DOS SANTOS, R., 2017. Inhibition of Acetylcholinesterase and Fatty Acid Composition in *Theobroma grandiflorum* seeds. *Orbital*, vol. 9, no. 3, pp. 127-130. ISSN 19846428. DOI 10.17807/orbital.v0i0.894.
- KONGOR, J.E., TAKRAMA, J.F., BUDU, A.S., MENSAH-BROWN, H. y AFOAKWA, E.O., 2013. Effects of Fermentation and Drying on the Fermentation Index and Cut Test of Pulp Pre-conditioned Ghanaian Cocoa (*Theobroma cacao*) Beans. *Journal of Food Science and Engineering*, vol. 3, no. December 2014, pp. 625-634.
- KYI, T.M., DAUD, W.R.W., MOHAMAD, A.B., SAMSUDIN, M.W., KADHUM, A.A.H. y TALIB, M.Z.M., 2005. The kinetics of polyphenol degradation during the drying of Malaysian cocoa beans. *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 40, no. 3, pp. 323-331. ISSN 09505423. DOI 10.1111/j.1365-2621.2005.00959.x.
- LANNES, S.C.S., MEDEIROS, M.L. y GIOIELLI, L.A., 2004. Rheological properties of cupuassu and cocoa fats. *Grasas y Aceites*, vol. 55, no. 2, pp. 60. ISSN 00173495. DOI 10.3989/gya.2004.v55.i2.154.
- LAVELLI, V., 2002. Comparison of the antioxidant Activities of Extra Virgin Olive Oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 50, no. 26, pp. 7704-7708. ISSN 00218561. DOI 10.1021/jf020749o.
- LIZA A-RAHAMAN, N., SUAN CHUA, L., ROJI SARMIDI, M. y AZIZ, R., 2013. Physicochemical and radical scavenging activities of honey samples from Malaysia. *Agricultural Sciences*, vol. 04, no. 05, pp. 46-51. ISSN 2156-8553. DOI 10.4236/as.2013.45b009.
- LOAYZA-LOZANO, W., 2014. *Influencia de la frecuencia de remoción, durante la fermentación, en la calidad sensorial del cacao (Theobroma cacao, L.) de Satipo* [en línea]. S.I.: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Disponible en: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/3877>.
- LOPES, A., 2000. *Estudo químico e nutricional de amêndoas de cacau*

(*Theobroma cacao* L.) e cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) em função do processamento. S.l.: Universidad Estadual de Campinas.

LUCCAS, V., 2001. Thermal Fractioning and Obtaining of Alternative Cupuaçu Fats to Cocoa Butter for Use in Chocolate Manufacture. [en línea], pp. 195. Disponible en: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/267542/1/Luccas_Valdecir_D.pdf.

MAMANI, D. y CCAHUAT, M., 2021. *Evaluación de los parámetros del proceso de desgomado y blanqueado de manteca de Copuazú (Theobroma grandiflorum [Willd. ex. Spreng.] K. Schum.)*. S.l.: s.n.

MARTINI, M.H., 2004. Caracterização das sementes de seis espécies de Theobroma em relação ao Theobroma cacao L. *Acta Microscopica*, vol. 12, no. 1, pp. 10. ISSN 17433517. DOI 10.2495/ISME20131302.

MARTINI, M.H., LENCI, C.G., FIGUEIRA, A. y TAVARES, D.D.Q., 2008. Localization of the cotyledon reserves of *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K. Schum., *T. subincanum* Mart., *T. bicolor* Bonpl. and their analogies with *T. cacao* L. *Revista Brasileira de Botanica*, vol. 31, no. 1, pp. 147-154. ISSN 01008404. DOI 10.1590/S0100-84042008000100013.

MATTIETTO, R. de A., 2001. *Estudo Comparativo das Transformacoes Estruturais e Fisico-Quimicas Durante o Processo Fermentativo de Amendoas de Cacau(Theobroma cacao L.) e Cupuacu(Theobroma grandiflorum Schum)*. Campinas: s.n.

MINAGRI, M. de A. y R., 2019. *Plan Nacional de Cultivos, Campaña Agrícola 2018-2019* [en línea]. 2019. S.l.: s.n. Disponible en: [file:///H:/libros , folleto . etc hervaceos/Plan_Nacional_de_Cultivos_2019_2020b.pdf](file:///H:/libros%20etc%20hervaceos/Plan_Nacional_de_Cultivos_2019_2020b.pdf).

MIRANDA, K., 2015. Diseño de una planta para la extracción de aceite vegetal comestible de las semillas de chía (*Salvia Hispanical*) mediante prensado. *Escuela Politécnica Nacional* [en línea], pp. 158. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10365>.

MOGROVEJO, D. y TORRES, E., 2020. “ Extracción de manteca de Copoazú (*Theobroma grandiflorum* [Willd . Ex Sprin .] K . Schum) por prensando

hidráulico de semillas “ Extracción de manteca de Copoazú (*Theobroma grandiflorum* [Willd . Ex Sprin .] K . Schum) por prensando hidráulico de se. [en línea], Disponible en: <http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/604/004-2-1-039.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

MOHD, N., YEAP, S.K., HO, W.Y., BEH, B.K., TAN, S.W. y TAN, S.G., 2012. The promising future of chia, *Salvia hispanica* L. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, vol. 2012, pp. 1-9. ISSN 11107243. DOI 10.1155/2012/171956.

MORENO, L., SANDOVAL, A., CRIOLLO, J. y CRIOLLO, D., 2013. Caracterización Fisicoquímica de la grasa de semillas del fruto de copoazu. *Alimentos Hoy* [en línea], vol. 22, no. 30, pp. 11-22. ISSN 2027-291X. Disponible en: <http://www.alimentoshoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/242>.

MOSQUERA, D.M., DÍAZ, R.O., CARDONA-JARAMILLO, J.E.C., HERNÁNDEZ, M.S. y GUTIÉRREZ, R.H., 2014. Preliminary study of microwave-assisted extraction of fat from copoazú (*Theobroma grandiflorum* [Willd. ex Spreng.] K. Schum.) Seeds. *Acta Horticulturae*, vol. 1016, pp. 113-118. ISSN 05677572. DOI 10.17660/actahortic.2014.1016.14.

NOGALES, J., GRAZIANI DE FARIÑAS, L. y ORTIZ DE BERTORELLI, L., 2006. Cambios Físicos Y Químicos Durante Fermentado En Dos Diseños. *Agronomía Tropical*, vol. 56, no. 1, pp. 5-20.

OLIVEIRA, T.B. y GENOVESE, M.I., 2013. Chemical composition of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) and cocoa (*Theobroma cacao*) liquors and their effects on streptozotocin-induced diabetic rats. *Food Research International* [en línea], vol. 51, no. 2, pp. 929-935. ISSN 09639969. DOI 10.1016/j.foodres.2013.02.019. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2013.02.019>.

PEREIRA, A.L.F., ABREU, V.K.G. y RODRIGUES, S., 2018. Cupuassu—*Theobroma grandiflorum*. *Exotic Fruits*, vol. 2010, pp. 159-162. DOI

10.1016/b978-0-12-803138-4.00021-6.

PIZZINI, F., 2007. Plan Estratégico de Exportación de la Región Madre de Dios, CEXR Madre de Dios. . Madre de Dios:

PONS, G.A., 2015. Aceites vegetales, hacia una producción sostenible. *El Hombre y la Máquina*, no. 46, pp. 9-19. ISSN 0121-0777.

PUGLIESE, A.G., 2010. Compostos fenólicos do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) e do cupulate : Composição e possíveis benefícios (*Theobroma grandiflorum*) e do cupulate : ,

QUIROZ V., J., 2012. *Influencia de la Agronomía y Cosecha Sobre la Calidad del Cacao*. 2012. S.l.: s.n.

RAMOS, S. de N.M., DANZL, W., ZIEGLEDER, G. y EFRAIM, P., 2016. Formation of volatile compounds during cupuassu fermentation: Influence of pulp concentration. *Food Research International* [en línea], vol. 87, pp. 161-167. ISSN 09639969. DOI 10.1016/j.foodres.2016.06.025. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2016.06.025>.

ROJAS C., A. V. y VILLAGRA H., J., 2016. «*Evaluacion de los metodos de fermentacion y secado para el beneficio de semilla del Copoazu (Theobroma grandiflorum) y sus efectos en la calidad de pasta de chocolate natural en la provincia de Tambopata-M.D.D.*» S.l.: UNAMAD.

RUSCHEINSKY, N., 2005. Estudo da Cristalizacao e Fracionamento Termico a Seco da Gordura de Cupuacu (*Theobroma grandiflorum*). *Tesis Ing. Quimico , Universidade Estadual de Campinas*,

SALGADO, J.M., RODRIGUES, B.S., DONADO-PESTANA, C.M., DOS SANTOS DIAS, C.T. y MORZELLE, M.C., 2011. Cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) Peel as Potential Source of Dietary Fiber and Phytochemicals in Whole-Bread Preparations. *Plant Foods for Human Nutrition*, vol. 66, no. 4, pp. 384-390. ISSN 09219668. DOI 10.1007/s11130-011-0254-0.

SANTOS-LOPES, A., 2000. *Estudo químico e nutricional de amêndoas de cacau (Theobroma cacao L.) e cupuaçu (Theobroma grandiflorum*

Schum) em função do processamento. S.l.: Universidad Estadual de Campinas.

SILVA, J.C., PLIVELIC, T.S., HERRERA, M.L., RUSCHEINSKY, N., KIECKBUSCH, T.G., LUCCAS, V. y TORRIANI, I.L., 2009. Polymorphie phases of natural fat from Cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) beans: A WAXS/SAXS/DSC study. *Crystal Growth and Design*, vol. 9, no. 12, pp. 5155-5163. ISSN 15287483. DOI 10.1021/cg901081j.

SOTERO, V., MACO, M., VELA, J., MERINO, C., DÁVILA, É. y GARCÍA, D., 2011. Evaluacion de la Actividad Antioxidate y Compuestos Fenolicos en Pulpa y Semillas de Cuatro Frutales Amazonicos de la Familia Sterculiaceae. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 77, no. 1, pp. 66-74. ISSN 1810-634X.

VASCONCELOS, M., 1999. *Transformacoes Fisicas e Quimicas Durane a Fermentacao de Amendoas do Cupuacu(Theobroma grandiflorum Schum)*. 1999. S.l.: s.n.

VASCONCELOS, M.N.L., SILVA, M.L. da, MAIA, J.G.S. y GOTTLIEB, O.R., 1975. Estudo químico das sementes do Cupuaçu. *Acta Amazonica*, vol. 5, no. 3, pp. 293-295. ISSN 0044-5967. DOI 10.1590/1809-43921975053293.

VELIOGLU, Y.S., MAZZA, G., GAO, L. y OOMAH, B.D., 1998. Antioxidant Activity and Total Phenolics in Selected Fruits, and cereals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, pp. 4113-4117.

ANEXOS

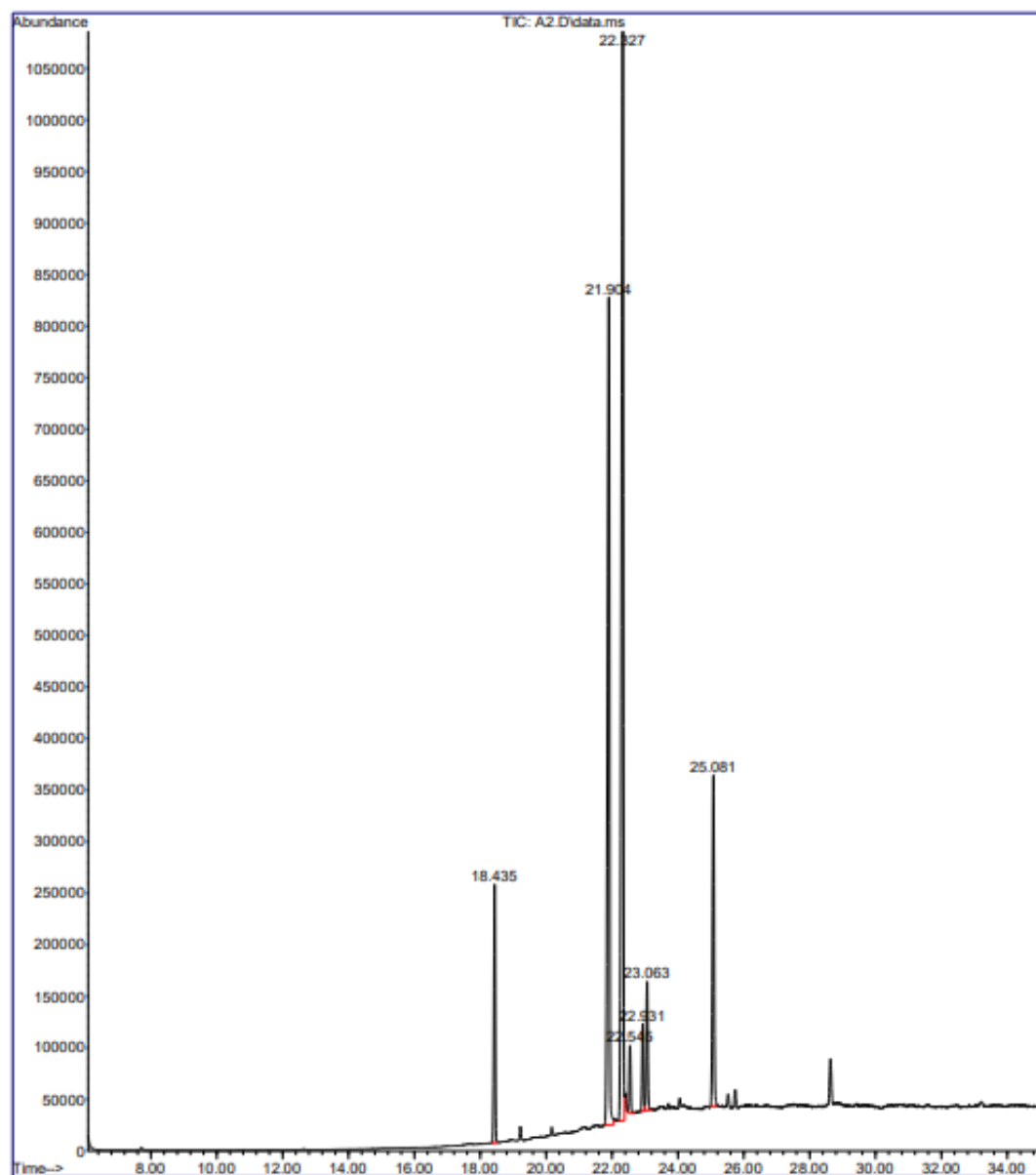


Figura 59: Cromatograma A2 = manteca de la semilla fermentada con cascara secado por corriente convectivo a una T° 100°C. figura A1 presenta con mayor % el ácido Oleico con una concentración de 15.8 %

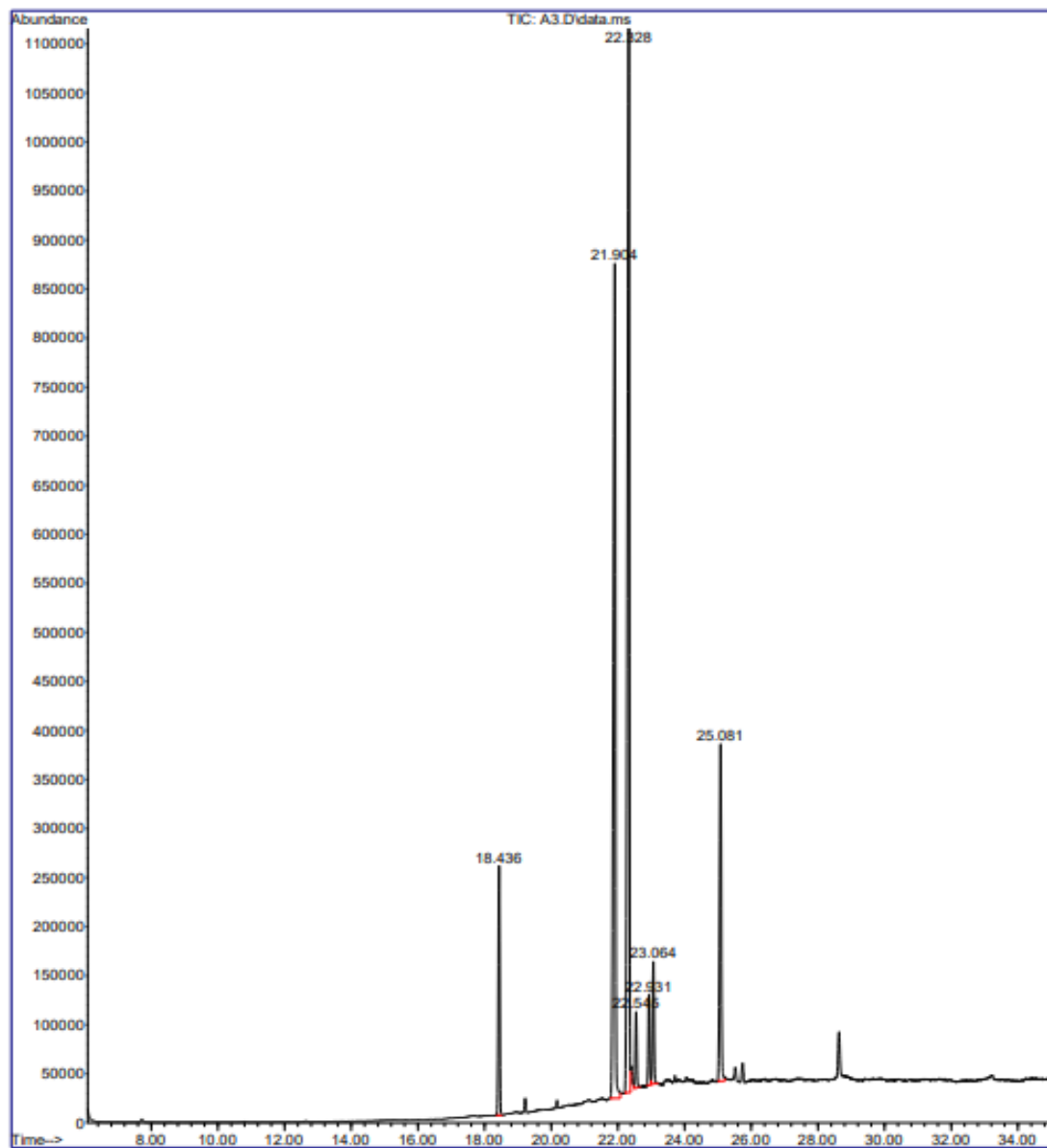


Figura 60: Cromatograma A3 = manteca de la semilla fermentadas sin cascara secado por corriente convectivo a una T° 80°C, En la figura A1 presenta con mayor % el ácido Oleico con una concentración de 15.8 %.

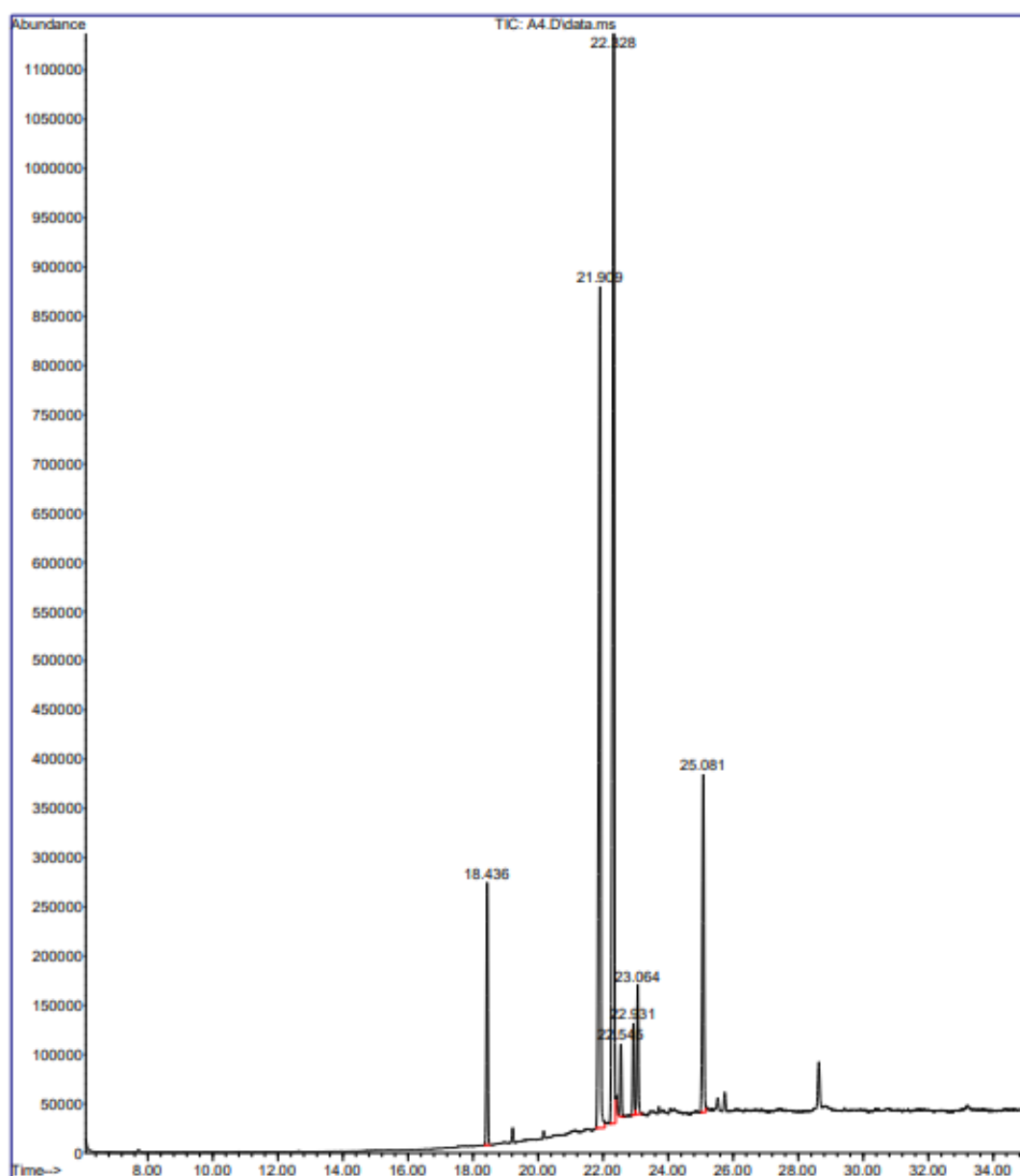


Figura 61: Cromatograma A4 = manteca de la semilla fermentada sin cascara secado de forma natural por un tiempo de 12h, En la figura A1 presenta con mayor % el ácido Oleico con una concentración de 15.8 %.

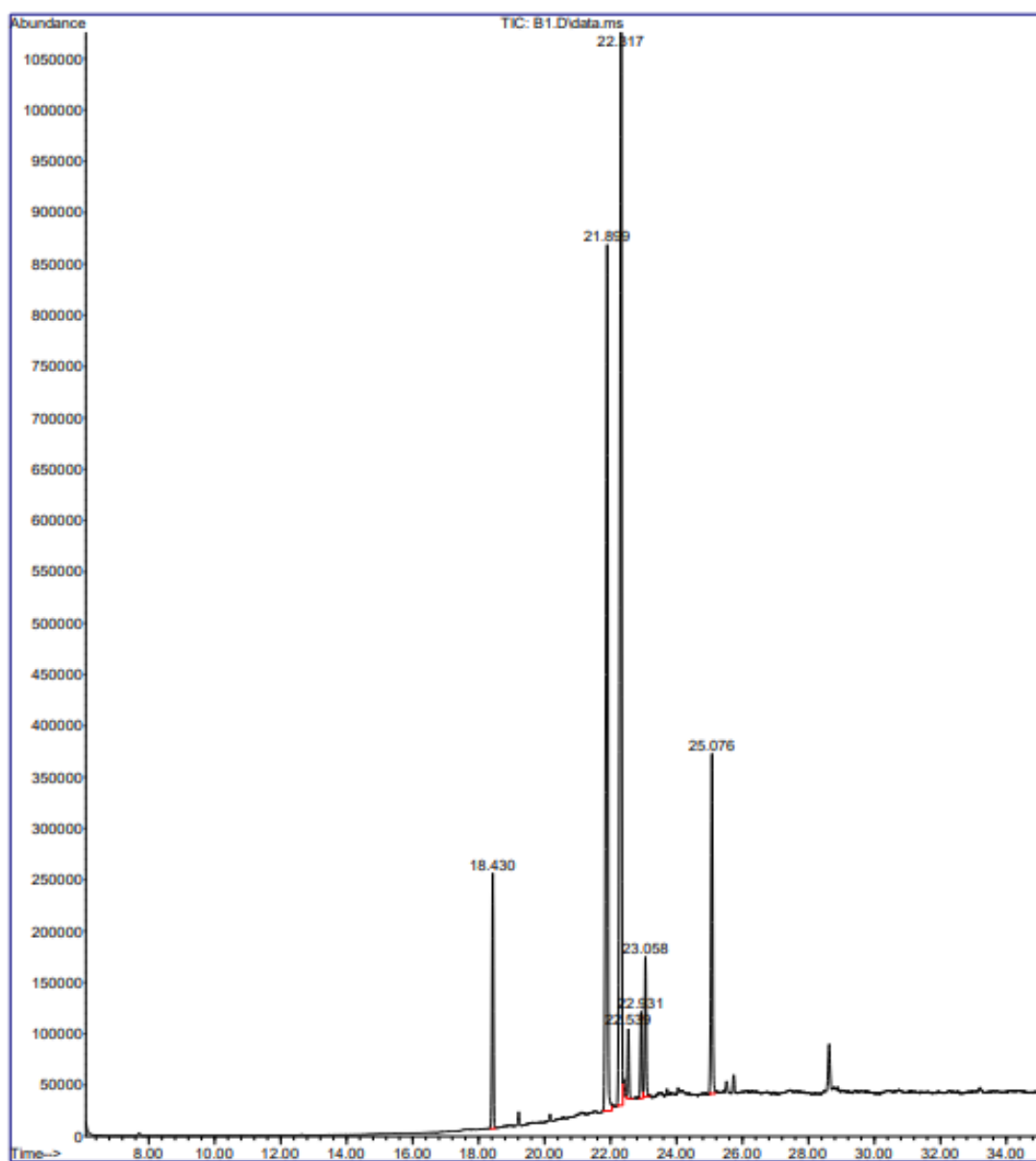


Figura 62: Cromatograma B1 = manteca de la semilla fresca sin cascara secado de forma natural por un tiempo de 24h, En la figura A1 presenta con mayor % el ácido Oleico con una concentración de 15.8 %

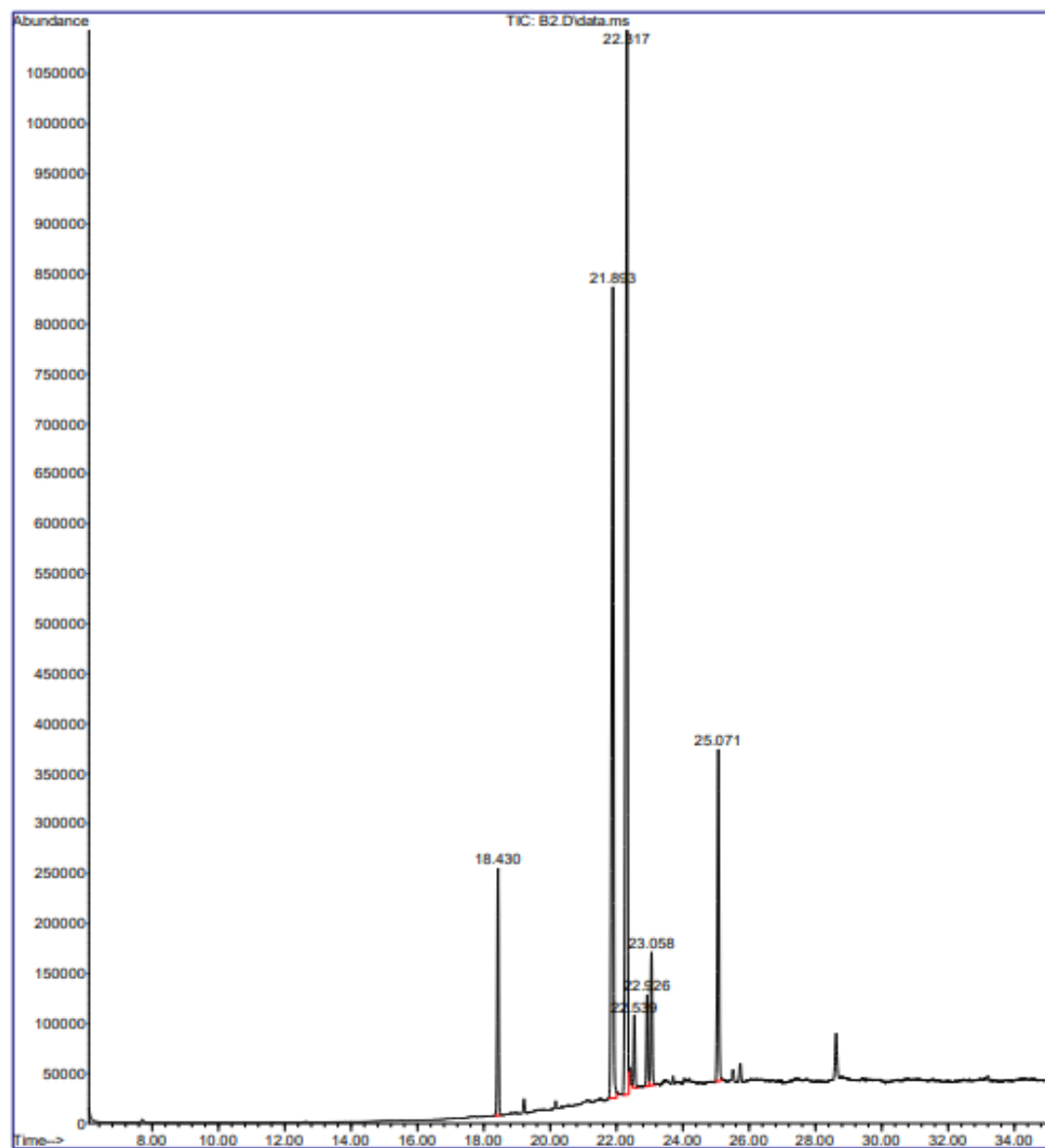


Figura 63: Cromatograma B2 = manteca de la semilla fermentada con cascara secado por corriente convectivo a una T° 70°C. En la figura B2 presenta con mayor % el ácido Oleico con una concentración de 15.8 %

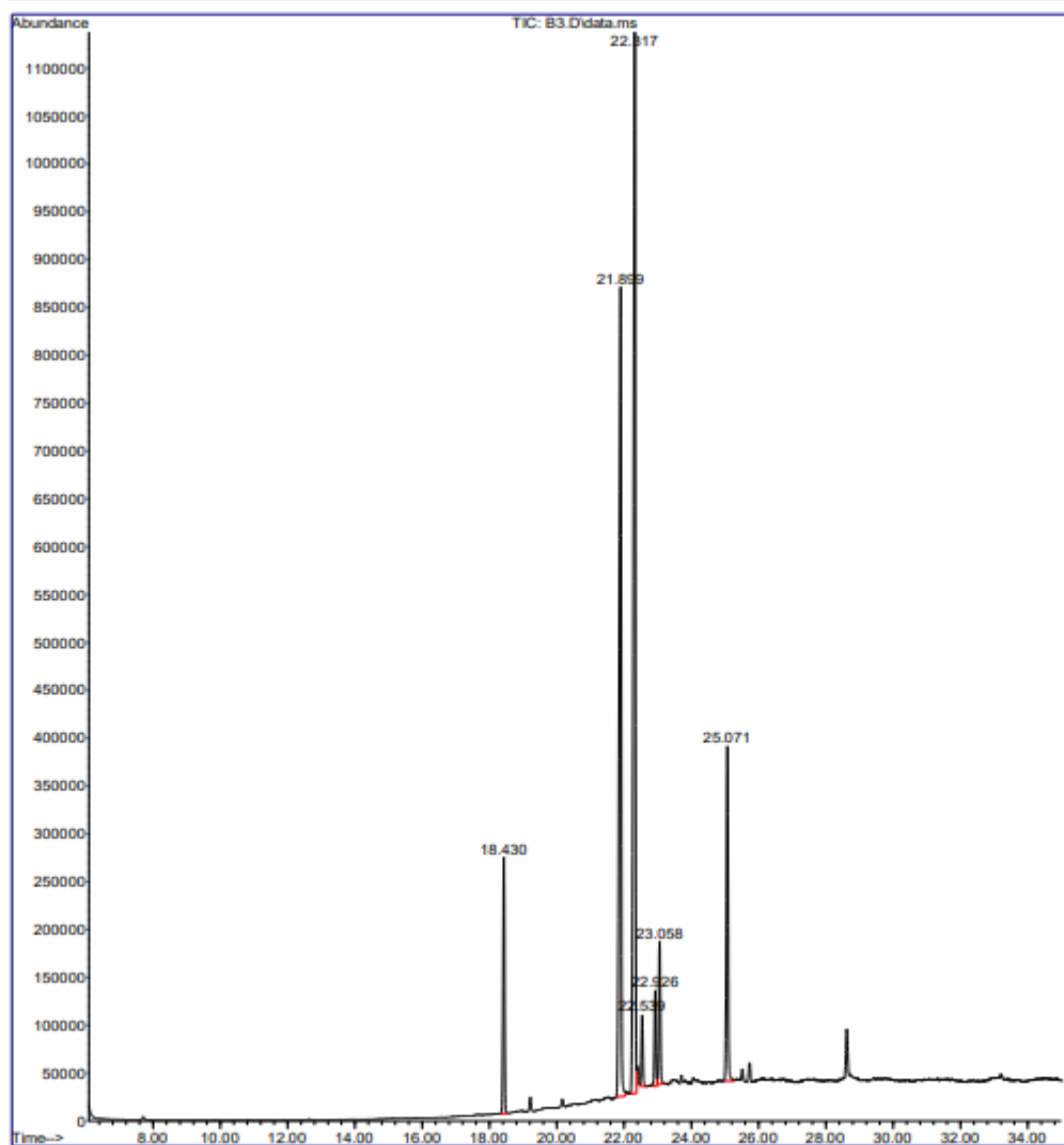


Figura 64: Cromatograma B3 = manteca de la semilla fresca con cascara secado de forma natural por un tiempo de 8h. B1 = En la figura A1 presenta con mayor % el ácido Oleico con una concentración de 15.8 %

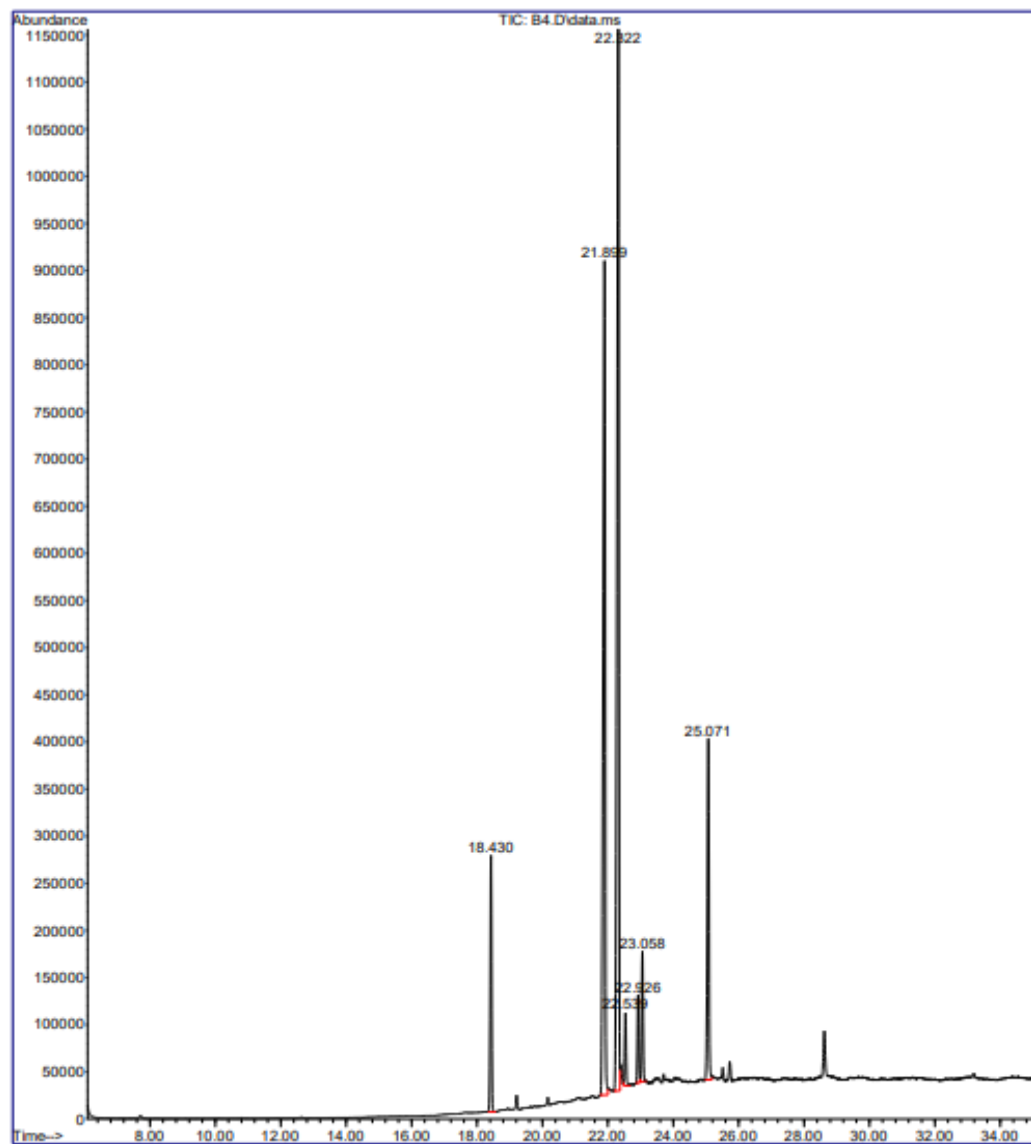


Figura 65: Cromatograma B4 = manteca de la semilla fresca sin cascara secado de forma natural por un tiempo de 12h, En la figura B4 presenta con mayor % el ácido Oleico con una concentración de 15.8 %.