

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Comparación de métodos de obtención de aceite de Theobroma a
partir del grano de cacao

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Daniela Fernanda Sevillanos Rivera
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala
2023

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

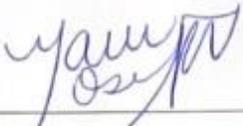


Comparación de métodos de obtención de aceite de Theobroma a
partir del grano de cacao

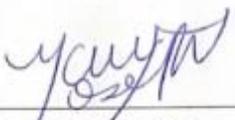
Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Daniela Fernanda Sevillanos Rivera
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

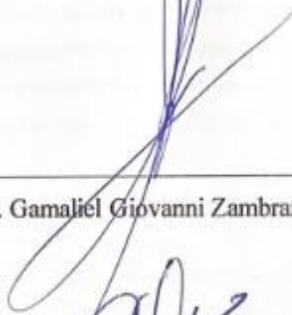
Guatemala
2023

Vo. Bo.

(f) 
MSc. Ing. María José Ramos

Tema examinadora

(f) 
MSc. Ing. María José Ramos

(f) 
Msc. Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

(f) 
M.A. Carmen Ortiz

Fecha de aprobación: Guatemala, 13 de diciembre de 2023

PREFACIO

El presente trabajo de graduación nace de mi profundo interés por explorar y optimizar los procesos relacionados con el cacao y, en particular, con la producción de Aceite de Theobroma. Guatemala, un país que se distingue por su destacada producción de cacao, se convierte en el escenario perfecto para esta investigación.

Mi fascinación por el cacao y sus derivados se debe a su presencia en la cultura guatemalteca a lo largo de la historia. El cacao, con sus raíces prehispánicas, ha perdurado como una tradición viva en nuestra sociedad, evocando el rico legado de nuestro pasado. Sin embargo, más allá de su valor cultural, el cacao representa una fuente significativa de recursos naturales con un inmenso potencial en términos económicos y comerciales.

Este proyecto representa un compromiso personal para contribuir al desarrollo sostenible de la industria cacaotera en mi país. Mi objetivo principal es evaluar y comparar métodos de obtención de aceite de Theobroma a partir del grano de cacao, con un enfoque particular en el proceso de alcalinización y su impacto en la calidad y rendimiento del aceite. Para lograrlo, implementaré técnicas avanzadas, como la fermentación y alcalinización controladas con levadura *Saccharomyces Cerevisiae*, que permitirán obtener un grano de cacao óptimo para la extracción del aceite.

Además de la producción del aceite de Theobroma, mi investigación se centra en la evaluación de su calidad mediante análisis fisicoquímicos detallados, porque nos proporciona una visión integral de la calidad y las aplicaciones potenciales del aceite.

Asimismo, en un mundo en constante cambio, la sostenibilidad y la innovación se convierten en pilares fundamentales para el desarrollo de cualquier industria y la identificación oportunidades de mejora en términos de eficiencia y rentabilidad. Por lo tanto, esta investigación no sólo aspira a contribuir al aprovechamiento óptimo de los recursos cacaoteros de Guatemala, sino también a enriquecer la base de conocimientos en la industria cosmética y alimentaria. Es un viaje apasionante que combina la tradición cultural con la innovación técnica, y que busca abrir nuevos horizontes para el cacao y su aceite en un mundo en constante evolución.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	JUSTIFICACIÓN	3
III.	OBJETIVOS	4
A.	OBJETIVO GENERAL	4
B.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
IV.	MARCO TEÓRICO.....	5
A.	CACAO	5
B.	HISTORIA DEL CACAO	5
C.	GENERALIDADES DEL CACAO	5
D.	PRINCIPALES PRODUCTORES DE CACAO EN EL MUNDO	6
E.	PRODUCCIÓN DE CACAO EN GUATEMALA	6
F.	FACTORES Y TENDENCIAS QUE IMPACTAN AL MERCADO DE CACAO Y CHOCOLATE.....	7
G.	PRODUCCIÓN MUNDIAL DE CACAO	8
H.	CONSUMO MUNDIAL DE CACAO	10
I.	MERCADO MUNDIAL DEL CACAO	11
J.	INSTITUCIONES REGULADORAS DE CACAO	13
K.	PARTES DEL CACAO	14
L.	TIPOS DE CACAO	18
M.	COSECHA Y RECOLECCIÓN DEL CACAO	20
N.	CICLO PRODUCTIVO DEL CACAO	21
O.	SUBPRODUCTOS DEL CACAO.....	22
P.	CÁSCARA PARA INFUSIONES	22
Q.	LICOR DEL CACAO.....	23
R.	CACAO EN POLVO	23
S.	PASTA DE CACAO	24
T.	CHOCOLATE	25
U.	MANTECA DE CACAO	26
V.	APLICACIONES INDUSTRIALES	32
W.	DESECHOS GENERADOS EN LA PRODUCCIÓN DE MANTECA DE CACAO	35
X.	PUNTO DE FUSIÓN DE LA MANTECA DE CACAO	36
V.	ANTECEDENTES.....	38
VI.	METODOLOGÍA	39

A.	ELABORACIÓN DE MANTECA DE CACAO CON GRANO ALCALINO	39
B.	ELABORACIÓN DE MANTECA DE CACAO CON GRANO NO ALCALINO	43
C.	DESARROLLO DE METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	46
D.	DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE EXTRACCIÓN DE MANTECA DE CACAO SIN ALCALIZACIÓN.	49
E.	DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE EXTRACCIÓN DE MANTECA DE CACAO SIN ALCALIZACIÓN.	50
VII.	RESULTADOS.....	50
VIII.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	71
IX.	CONCLUSIONES	77
X.	RECOMENDACIONES	78
XI.	BIBLIOGRAFÍA	79
XII.	ANEXOS	83
A.	DATOS ORIGINALES.....	83
B.	DATOS CALCULADOS	96
C.	CÁLCULOS DE MUESTRA.....	105
D.	EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS.....	108
E.	INFORMACIÓN ADICIONAL.....	121
XIII.	GLOSARIO	123

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Comparación de rendimientos entre la manteca de cacao alcalina y la no alcalina.....	51
Cuadro 2. Comparación de costos y tiempo entre la manteca de cacao alcalina y la no alcalina.....	51
Cuadro 3. Estadística descriptiva de los pH implicados en la fermentación de los granos de cacao que no serán alcalinizados.....	54
Cuadro 4. Estadística descriptiva de los pH implicados en la fermentación de los granos de cacao que serán alcalinizados.....	55
Cuadro 5. Estadística descriptiva de los pH implicados en la calinización de los granos de cacao.	56
Cuadro 6. Comparación de análisis fisicoquímicos de punto de fusión entre la manteca de cacao alcalina y la no alcalina.	56
Cuadro 7. Comparación de análisis fisicoquímicos de valor de saponificación entre la manteca de cacao alcalina y la no alcalina.	56
Cuadro 8. Comparación de análisis fisicoquímicos de ácidos grasos libres entre la manteca de cacao alcalina y la no alcalina.	57
Cuadro 9. Comparación de componentes mediante Cromatografía de Gases con Detector de Masas (GC-MS) de la manteca de cacao alcalina y la no alcalina.....	57
Cuadro 10. Estadística descriptiva del balance de masa global del proceso de obtención de manteca de cacao sin alcalinización.	62
Cuadro 11. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de fermentación en la extracción de Manteca de cacao sin alcalinización.....	62
Cuadro 12. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de secado en la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.....	63
Cuadro 13. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de tostado en la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.....	63
Cuadro 14. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de molienda en la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.....	64
Cuadro 15. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de cocción en la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.....	64
Cuadro 16. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de prensado en la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.....	65
Cuadro 17. Estadística descriptiva del balance de energía del sistema de secado para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.....	65
Cuadro 18. Estadística descriptiva del balance de energía del sistema de tostado para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.....	65
Cuadro 19. Estadística descriptiva del balance de energía del sistema de cocción para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.....	66

Cuadro 20. Estadística descriptiva del balance de masa global del proceso de obtención de manteca de cacao con alcalinización.	66
Cuadro 21. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de fermentación en la extracción de manteca de cacao alcalina.	66
Cuadro 22. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de alcalinización en la extracción de manteca de cacao alcalina.	67
Cuadro 23. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de secado en la extracción de manteca de cacao alcalina.	67
Cuadro 24. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de tostado en la extracción de manteca de cacao alcalina.	68
Cuadro 25. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de molienda en la extracción de manteca de cacao alcalina.	68
Cuadro 26. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de cocción en la extracción de manteca de cacao alcalina.	68
Cuadro 27. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de prensado en la extracción de manteca de cacao alcalina.	69
Cuadro 28. Estadística descriptiva del balance de energía del sistema de secado para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.	69
Cuadro 29. Estadística descriptiva del balance de energía del sistema de tostado para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.	69
Cuadro 30. Estadística descriptiva del balance de energía del sistema de cocción para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.	70
Cuadro 31. Rendimientos implicados en los procesos de extracción de manteca de cacao alcalina y no alcalina.	83
Cuadro 32. Tiempos implicados en los distintos procesos para la extracción de la manteca de cacao con distintos métodos.	83
Cuadro 33. Costos implicados en los procesos de extracción de manteca de cacao.	84
Cuadro 34. Datos de medición de pH durante el tiempo que se llevó a cabo la fermentación de cacao que no será alcalinizado.	84
Cuadro 35. Datos de medición de pH durante el tiempo que se llevó a cabo la fermentación de cacao que será alcalinizado.	85
Cuadro 36. Datos de medición de pH antes y después de la alcalinización del cacao.	85
Cuadro 37. Datos de temperatura de punto de fusión de la manteca de cacao no alcalina.	85
Cuadro 38. Datos de temperatura de punto de fusión de la manteca de cacao alcalina.	86
Cuadro 39. Datos medidos para determinar el valor de saponificación de la manteca de cacao no alcalina.	86
Cuadro 40. Datos medidos para determinar el valor de saponificación de la manteca de cacao alcalina.	86
Cuadro 41. Datos medidos para determinar el contenido de ácidos grasos libres de la manteca de cacao no alcalina.	86

Cuadro 42. Datos medidos para determinar el contenido de ácidos grasos libres de la manteca de cacao alcalina.	87
Cuadro 43. Análisis cromatografía de gases acoplado a espectrofotometría de masa GC-MS para la manteca de cacao no alcalina.....	85
Cuadro 44. Análisis cromatografía de gases acoplado a espectrofotometría de masa GC-MS para la manteca de cacao alcalina.....	85
Cuadro 45. Datos originales de pesos implicados en el balance de masa general del proceso de obtención de Manteca de cacao con grano no alcalino.	86
Cuadro 46. Datos originales de pesos implicados en la fermentación del grano no alcalino de cacao.....	88
Cuadro 47. Datos originales de pesos implicados en el secado del grano no alcalino de cacao.	88
Cuadro 48. Datos originales de pesos implicados en el tostado del proceso de obtención de manteca de cacao con grano no alcalino.....	88
Cuadro 49. Datos originales de pesos implicados en la molienda del grano no alcalino de cacao.....	89
Cuadro 50. Datos originales de pesos implicados en la cocción del grano no alcalino de cacao.	89
Cuadro 51. Datos originales de pesos implicados en el prensado del grano no alcalino de cacao.	89
Cuadro 52. Datos originales de valores implicados en el cálculo del balance de energía para la parte de secado del grano no alcalino de cacao.	90
Cuadro 53. Datos originales de valores implicados en el cálculo del balance de energía para la parte de tostado del grano no alcalino de cacao.	90
Cuadro 54. Datos originales de valores implicados en el cálculo del balance de energía para la parte de cocción del grano no alcalino de cacao.	91
Cuadro 55. Datos originales de pesos implicados en el balance de masa general del proceso de obtención de Manteca de cacao con grano alcalino.	91
Cuadro 56. Datos originales de pesos implicados en la fermentación del grano alcalino de cacao.	92
Cuadro 57. Datos originales de pesos implicados en la alcalinización del grano alcalino de cacao.	92
Cuadro 58. Datos originales de pesos implicados en el secado del grano alcalino de cacao.	93
Cuadro 59. Datos originales de pesos implicados en el tostado del proceso de obtención de manteca de cacao con grano alcalino.	93
Cuadro 60. Datos originales de pesos implicados en la molienda del grano alcalino de cacao.	93
Cuadro 61. Datos originales de pesos implicados en la cocción del grano alcalino de cacao.....	94
Cuadro 62. Datos originales de pesos implicados en el prensado del grano alcalino de cacao.	94
Cuadro 63. Datos originales de valores implicados en el cálculo del balance de energía para la parte de secado del grano alcalino de cacao.	94
Cuadro 64. Datos originales de valores implicados en el cálculo del balance de energía para la parte de tostado del grano alcalino de cacao.	95
Cuadro 65. Datos originales de valores implicados en el cálculo del balance de energía para la parte de cocción del grano alcalino de cacao.	95
Cuadro 66. Balance de Masa Global del Proceso de obtención de manteca de cacao sin alcalinización.	96

Cuadro 67. Balance de Masa Global del Proceso de obtención de manteca de cacao con alcalinización.	96
Cuadro 68. Balance de Energía del Sistema de secado para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.	98
Cuadro 69. Balance de Energía del Sistema de secado para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.....	99
Cuadro 70. Balance de Energía del Sistema de tostado para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.	100
Cuadro 71. Balance de Energía del Sistema de tostado para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.....	101
Cuadro 72. Balance de Energía del Sistema de cocción para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.....	103
Cuadro 73. Balance de Energía del Sistema de cocción para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.....	104

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Producción de cacao en grano (en 1,000 toneladas).....	9
Figura 2. Producción, exportación y molienda de cacao en América Latina 2020-2021 (en toneladas).	9
Figura 3. Producción, exportación e importaciones de cacao, productos semielaborados y chocolate 2020/21 (en toneladas).	10
Figura 4. Principales países consumidores de cacao (en 1,000 toneladas).....	11
Figura 5. Consumo minorista de productos de confitería de chocolate a nivel mundial (en millones de toneladas métricas).....	12
Figura 6. Tamaño del mercado global del cacao por región.....	12
Figura 7. Partes que conforman el cacao.	15
Figura 8. Cacao Criollo.....	18
Figura 9. Cacao Forastero.....	19
Figura 10. Cacao Trinitario.....	20
Figura 11. Perfil de ácidos grasos de la manteca de cacao.	47
Figura 12. Ecuación para encontrar el valor de saponificación.	48
Figura 13. Determinación del contenido de ácidos grasos libres en la manteca de cacao.	49
Figura 14. Diagrama de Flujo de Proceso para la obtención de manteca de cacao con alcalinización.....	52
Figura 15. Diagrama de Flujo de Proceso para la obtención de manteca de cacao sin alcalinización.....	53
Figura 16. Cromatograma de gases con detector de masas (GC-MS) para aceite de Theobroma sin alcalinización.....	58
Figura 17. Cromatograma de gases con detector de masas (GC-MS) para aceite de Theobroma con alcalinización.....	60
Figura 18. Balance de masa del sistema de fermentación para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.....	96
Figura 19. Balance de masa del sistema de fermentación para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.....	97
Figura 20. Balance de masa del sistema de alcalinización para la extracción de manteca de cacao.	97
Figura 21. Balance de masa del sistema de secado para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.	98
Figura 22. Balance de masa del sistema de secado para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.	98
Figura 23. Balance de masa del sistema de secado para la extracción de mnateca de cacao con alcalinización	99
Figura 24. Balance de energía del sistema de secado para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.	99

Figura 25. Balance de masa del sistema de tostado para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.	100
Figura 26. Balance de energía del sistema de tostado para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.	100
Figura 27. Balance de masa del sistema de tostado para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.	101
Figura 28. Balance de energía del sistema de tostado para le extracción de manteca de cacao con alcalinización.	101
Figura 29. Balance de energía del sistema de tostado para le extracción de manteca de cacao sin alcalinización.	102
Figura 30. Balance de masa del sistema de molienda para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.	102
Figura 31. Balance de masa del sistema de cocción para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.	102
Figura 32. Balance de energía del sistema de cocción para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.	103
Figura 33. Balance de masa del sistema de cocción para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.	103
Figura 34. Balance de energía del sistema de cocción para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.	104
Figura 35. Balance de masa del sistema de prensado para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.	104
Figura 36. Balance de masa del sistema de prensado para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.	105
Figura 37. Medición de pH al inicio de la fermentación de cacao.	108
Figura 38. Activación de la levadura para fermentación.	109
Figura 39. Apariencia física de los granos de cacao al inicio de la fermentación.	109
Figura 40. Apariencia física de la fermentación de cacao al séptimo día.	110
Figura 41. Prueba de corte del grano de cacao luego del proceso de fermentación.	110
Figura 42. Solución alcalina de bicarbonato de sodio.	110
Figura 43. Proceso de alcalinización de cacao.	111
Figura 44. Medición de pH de los granos de cacao luego de la alcalinización.	111
Figura 45. Proceso de secado de los granos de cacao.	112
Figura 46. Apariencia física de la muestra 1 de cacao alcalino luego del proceso de secado.	112
Figura 47. Apariencia física de la muestra 1 de cacao sin alcalinización luego del proceso de secado.	112
Figura 48. Proceso de tostado de los granos de cacao secos.	113
Figura 49. Apariencia física de la muestra 1 alcalina luego del proceso de tostado.	113
Figura 50. Apariencia física de la muestra 1 no alcalina luego del proceso de tostado.	113

Figura 51. Proceso de descascarillado de los granos de cacao tostados.....	114
Figura 52. Nibs de cacao.....	114
Figura 53. Cascarilla de cacao.	115
Figura 54. Equipo utilizado para la molienda.	115
Figura 55. Apariencia física del cacao molido.....	116
Figura 56. Proceso de cocci3n.	116
Figura 57. Proceso de prensado.	117
Figura 58. Proceso de filtrado.	117
Figura 59. Apariencia física de la manteca de cacao líquida.....	118
Figura 60. Apariencia física de la manteca de cacao sólida.	118
Figura 61. Determinación del punto de fusión de la manteca de cacao.	118
Figura 62. Agitación en vortex de la manteca de cacao esterificada.	119
Figura 63. Volumen utilizado para titular y determinar el valor de saponificación de la manteca de cacao ..	119
Figura 64. Solución antes y después de la titulación para determinar el valor de saponificación de la manteca de cacao.....	120
Figura 65. Solución luego de ser titulada para encontrar el contenido de ácidos grasos libres presentes en la manteca de cacao	120
Figura 66. Certificado de análisis de la manteca de cacao por MakingCosmetics Inc.	122

RESUMEN

El trabajo de graduación se centró en la comparación cuantitativa de dos procesos para la extracción de manteca de cacao: uno con alcalinización utilizando bicarbonato de sodio y otro sin alcalinización. Por lo tanto, se realizó una fermentación y alcalinización del grano de cacao para la producción de aceite de Theobroma, y la realización de análisis fisicoquímicos para evaluar la calidad del producto final. También se llevó a cabo un balance de masa y energía para ambos procesos con el fin de identificar oportunidades de mejora. Los resultados mostraron que el proceso sin alcalinización tuvo un rendimiento ligeramente superior al proceso con alcalinización, siendo estos de 50.09% y 46.02% respectivamente, y requirió menos tiempo y costos operativos. La fermentación fue un paso crucial, con una disminución del pH a medida que avanzaba el proceso, indicando una actividad microbiana activa. La alcalinización aumentó significativamente el pH de los granos de cacao, lo que sugiere un buen desempeño en este aspecto.

Adicionalmente, los análisis fisicoquímicos confirmaron que ambas mantecas cumplen con los estándares de calidad requeridos para su uso cosmético según el COA de Making Cosmetics Inc. en términos de punto de fusión, valor de saponificación y contenido de ácidos grasos libres. Para la manteca de cacao sin alcalinización, el punto de fusión promedio fue de 35.50°C, con una desviación estándar de 1.291°C. En cambio, la manteca alcalina tuvo un punto de fusión promedio de 36.25°C, con una desviación estándar de 1.258°C. Por otro lado, las muestras de manteca de cacao alcalina tuvieron un valor promedio de saponificación de 189.632 mg KOH/g, mientras que las muestras de manteca sin alcalinización tuvieron un valor promedio de 189.107 mg KOH/g. Finalmente, las muestras presentaron contenidos de ácidos grasos libres promedio de 1.44% y 1.21%, para las muestras alcalinas y no alcalinas respectivamente. Por otro lado, se realizó un análisis mediante GC-MS para ambas muestras de manteca, el cual confirmó la presencia de los principales ácidos grasos en ambas mantecas, incluyendo ácido palmítico, ácido linoleico, ácido esteárico, ácido oleico y ácido araquídico.

De acuerdo con los balances de masa, se determinó que, en el proceso sin alcalinización, las pérdidas de masa se mantuvieron entre 0.471 kg y 0.507 kg. En contraste, en el proceso con alcalinización, las pérdidas de masa fueron mayores, oscilando entre 0.658 kg y 0.776 kg. Además, el proceso sin alcalinización mostró un consumo de energía más eficiente, especialmente en las etapas de tostado y cocción, en comparación con el proceso con alcalinización.

En conclusión, el proceso de extracción de manteca de cacao sin alcalinización demostró ser más eficiente en términos de rendimiento, tiempo y costos operativos. Sin embargo, se recomienda realizar más investigaciones para comprender completamente cómo la alcalinización puede influir en la calidad del producto final y si existen condiciones específicas en las cuales podría mejorar la eficiencia. También se destacó la importancia de monitorear y controlar el proceso de fermentación, así como buscar formas de minimizar las pérdidas de masa y mejorar la eficiencia energética en todas las etapas del proceso.

I. INTRODUCCIÓN

El cacao, conocido científicamente como *Theobroma cacao*, es un fruto ampliamente utilizado en la industria chocolatera debido a sus valiosas propiedades y su característico sabor. Dentro de este fruto, se encuentra el grano de cacao, el cual contiene una gran cantidad de compuestos beneficiosos, entre ellos el aceite de *Theobroma*, que tiene diversas aplicaciones en la industria alimentaria y cosmética (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2014).

El fruto de cacao crece en distintas zonas de Guatemala, principalmente en los departamentos de Alta Verapaz, Suchitepéquez, Retalhuleu, Quetzaltenango y San Marcos, en los cuales, el precio promedio de cada quintal de cacao cortado es de 1.200 quetzales (US\$150) a 1.500 quetzales (US\$188) (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2014).

El conocimiento sobre los métodos de obtención de manteca de cacao es crucial no sólo para el éxito de la industria, sino también para el bienestar de las comunidades que dependen de ella. Además, el cacao guatemalteco, con su aroma y sabor distintivos, es una fuente potencial de ingresos y un embajador de la riqueza natural de Guatemala en el mundo.

Por otro lado, el cacao, con su rica historia y su estrecha relación con Guatemala, es una cosecha emblemática y económicamente valiosa en la región. Además de su uso en la fabricación de productos de chocolate, el cacao posee un subproducto de gran importancia: la manteca de cacao. Esta manteca no solo tiene aplicaciones en la industria alimentaria, sino que también encuentra su lugar en la industria cosmética y farmacéutica, lo que la convierte en un recurso versátil y estratégico.

El objetivo principal de esta investigación es llevar a cabo una evaluación exhaustiva de dos métodos fundamentales para la obtención de aceite de *Theobroma* a partir del grano de cacao: el proceso alcalino, que involucra la alcalinización del grano, y el proceso no alcalino, que preserva el grano en su estado natural. Estos métodos tienen implicaciones significativas tanto en términos de calidad del aceite resultante como en la eficiencia del proceso de extracción.

La elección de este tema se fundamenta en varios motivos, entre ellos, el deseo de optimizar la producción de manteca de cacao, un subproducto valioso en la industria alimentaria y cosmética, y la intención de contribuir al conocimiento y desarrollo sostenible de la industria cacaotera guatemalteca, que tiene un rol destacado a nivel mundial. Además, este proyecto busca abordar un desafío científico interesante, ya que la extracción de aceite de cacao implica una serie de procesos químicos y físicos complejos.

A través de una combinación de experimentación, análisis fisicoquímicos y balance de masa y energía, esta tesis se enfoca en comprender en profundidad los pros y contras de cada método de obtención de aceite de Theobroma, con el fin de proporcionar conocimientos valiosos para la industria, la investigación científica y la comunidad académica. Los resultados de esta investigación no sólo tendrán implicaciones prácticas para la producción de manteca de cacao, sino que también contribuirán al crecimiento y desarrollo sostenible de una industria de gran importancia histórica y económica en Guatemala y a nivel global.

II. JUSTIFICACIÓN

En Guatemala, la producción de cacao es una actividad económica de gran importancia, ya que el país es uno de los principales productores de este fruto en el mundo. La manteca de cacao es un subproducto de alto valor agregado que se obtiene a partir de este grano, tiene múltiples usos en la industria alimentaria y cosmética; sin embargo, existen diferentes métodos de obtención de esta, y se desconoce cuál es el más eficiente y que proporciona mayor calidad en el aceite de Theobroma (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2014).

En Guatemala, no existen industrias que transformen el cacao en aceite de Theobroma, como la manteca de cacao, como un producto principal. Sin embargo, en el país operan chocolaterías artesanales que se destacan por la producción de chocolates de alta calidad utilizando manteca de cacao y cacao de origen local. Además, algunas empresas se especializan en la exportación de cacao y sus derivados, como la manteca de cacao, a nivel internacional. Estas empresas compran cacao de agricultores locales y lo procesan para su venta en el mercado global, donde la manteca de cacao es uno de los subproductos más valiosos (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2014).

Es importante destacar que, a pesar de que Guatemala no tenga una industria dedicada exclusivamente a la producción de manteca de cacao, la calidad del cacao guatemalteco es muy apreciada. La manteca de cacao de grado cosmético, se utiliza en la industria de productos de cuidado de la piel y cosméticos. El precio de la manteca de cacao de grado cosmético puede variar, pero en el mercado internacional, suele tener un valor aproximado de entre Q.6.50 y Q13.50 por onza debido a sus propiedades beneficiosas para la piel y su uso en la fabricación de productos de belleza (Nobi, 2023).

La falta de información y de estudios comparativos sobre los diferentes métodos de obtención de aceite de Theobroma puede llevar a una producción ineficiente y de baja calidad, lo que puede afectar negativamente la economía de los productores y la industria en general. Por otro lado, la industria del cacao demanda cada vez más productos de calidad, lo que conlleva a conocer el método de obtención de esta manteca que pueda satisfacer estas necesidades (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2014).

Por lo tanto, el presente trabajo de graduación realiza una comparación de dos métodos de obtención de manteca de cacao, evaluando su eficiencia y calidad contribuyendo a mejorar la competitividad a nivel internacional del cacao guatemalteco.

III. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Realizar una comparación cuantitativa entre los resultados obtenidos de la alcalinización, con bicarbonato de sodio, del grano de cacao fermentado y del grano no alcalino para la producción de aceite de Theobroma.

B. Objetivos específicos

1. Fermentar y alcalinizar el grano de cacao utilizando levadura *Saccharomyces Cerevisiae*, por medio de cajones fermentadores para obtener un grano seco de cacao que permita la obtención de aceite de Theobroma.
2. Producir aceite de Theobroma, para comparar los parámetros de calidad mediante análisis fisicoquímicos de puntos de fusión, valor de saponificación y análisis de ácidos grasos para determinar su aptitud para uso cosmético y alimenticio.
3. Realizar un balance de masa y energía para el proceso de obtención de manteca de cacao, con la finalidad de determinar los rendimientos de ambos procesos, alcalino y no alcalino; y así, identificar oportunidades de mejora.

VI. MARCO TEÓRICO

A. Cacao

El cacao (*Theobroma cacao*), pertenece a la familia de las Malváceas (alternativamente *esterculiáceas*). Es el fruto de un árbol llamado cacaotero, del que se sitúa su origen en la Amazonía Suramericana, y que gracias al intercambio comercial entre los nativos llegó hasta el sur de México, llegando a convertirse en una bebida sagrada para las culturas precolombinas. Hoy en día es un cultivo que se puede encontrar en toda la región tropical y subtropical, en un cinturón de entre 0 y 20 grados al norte y al sur del Ecuador geográfico (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2014).

B. Historia del cacao

Al cacao se le conoce científicamente como *theobroma cacao* que se traduce como alimento de los dioses. Por su historia y cultura precolombina, esta planta de la región mesoamericana se considera como uno de los productos agrícolas de mayor calidad (Ciudades Mayas, 2015).

Según algunas investigaciones, el cacao se menciona en la literatura maya k'iche'. Específicamente en el *Popol Vuh* cuando se narra: La cabeza de Hun Hunahpú brotó de un árbol de cacao. Por este motivo se considera que este fruto fue en su momento un elemento de gran valor para la antigua civilización maya, algo que dejó como herencia a los grupos mayas (Ciudades Mayas, 2015).

Los mayas consideraban al cacao como un producto extraordinario para comidas y bebidas. Además, fue utilizado como moneda y elemento de intercambio comercial. Según los estudios arqueológicos, el uso del cacao se practicó en todo territorio de Mesoamérica. Su uso más antiguo data de hace 2,600 años aproximadamente (Ciudades Mayas, 2015).

C. Generalidades del cacao

El cacao, oriundo de América del Sur, se cultiva en diversas zonas del planeta, principalmente en países de climas tropicales y subtropicales. Científicamente conocido como *Theobroma cacao*, este producto proviene del fruto del árbol cacaotero, que se caracteriza por ser ovalado y de considerable tamaño, con una pulpa carnosa que puede variar su coloración de amarillo a púrpura y alcanzar longitudes de unos 30 cm (Cerna, 2020).

El cacao, en su forma procesada, resulta de la fermentación y el secado de las semillas extraídas del fruto cacaotero, y desempeña un papel central en la fabricación del chocolate. Además, se distingue por su abundancia natural de nutrientes, como antioxidantes, minerales, vitaminas y fibra (Cerna, 2020).

El cultivo del cacao, típicamente perenne, pertenece a la familia *Esterculiaceae*, cuyos miembros producen flores y frutos en el tronco y ramas principales de estos árboles. Estos árboles tienen una altura media de 6 metros, aunque pueden alcanzar los 20 metros, y sus hojas, que varían en pigmentación desde el verde claro hasta el violeta oscuro, son lustrosas y pueden llegar a medir hasta 30 cm de longitud. Sus flores, en contraste, son pequeñas y rosadas (Cerna, 2020).

Considerado un "commodity," el cacao forma la base de la economía de millones de pequeños productores en todo el mundo. Finalmente, es imperativo destacar que el cacao posee una importancia económica y cultural significativa en numerosos países, con sus prácticas de producción y consumo arraigadas en la historia y la identidad de diversas comunidades (Cerna, 2020).

D. Principales productores de cacao en el mundo

La cuota de mercado mundial de cacao y chocolate se está expandiendo, y este crecimiento es directamente proporcional al aumento de la industria del chocolate que está a punto de crecer a una tasa robusta del 4,4% en el periodo de pronóstico. Además, las empresas de confitería más importantes del mundo, como Mars, Ferrero, Nestlé y Lindt, registraron ingresos rentables por las ventas netas de chocolates en 2018, que fueron 20.000, 13.566, 7.636 y 4.331 (todos en millones de USD), respectivamente. En adición, para destacar la participación de los países en la industria del cacao y el chocolate, Alemania fue responsable de la mayor cuota del 17,3% en las exportaciones en el año 2020 (EMR, 2023).

Asimismo, África Occidental es el mayor productor de cacao del mundo, y países como Costa de Marfil, Ghana y Nigeria representan la mayor parte de la producción mundial. Estos países suministran cacao en grano a fabricantes y chocolateros de todo el mundo, lo que los convierte en una parte fundamental de la industria del cacao y el chocolate. Además, Europa es el mayor consumidor de chocolate del mundo, con países como Suiza, Bélgica y Alemania, conocidos por sus productos de chocolate de alta calidad. En estos países se encuentran también muchos de los principales fabricantes de chocolate del mundo, como Lindt, Nestlé y Ferrero (EMR, 2023).

E. Producción de cacao en Guatemala

En Guatemala la producción de cacao se circunscribe a dos zonas muy específicas, de una parte, Alta Verapaz, y por otra en la costa sur occidental, en los departamentos de Suchitepéquez, Retalhuleu, Quetzaltenango y San Marcos. De acuerdo con el censo agrícola del INE (2003), en Guatemala había más de 2.500 hectáreas sembradas. No obstante, en el país se importan unas 800 Tm. de cacao, principalmente de Nicaragua. El cacao fino de aroma que puede producirse en Guatemala es altamente demandado tanto en la chocolatería gourmet, como para mejorar a través de mezclas el fuerte y amargo cacao africano líder en

producción mundial. Competir en volumen con este cacao no tiene sentido, es mucho mejor trabajar para tener productos de calidad diferenciada (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2014).

El total del área cosechada reportada para el año 2015 es de 4,340 hectáreas, lo que representa un incremento de un 55% del área con respecto al año 2010. La productividad en finca es bastante baja, los rendimientos son unos de los más bajos en la región con un promedio en los últimos cinco años de 0.28 Tm/ha, aunque el índice de productividad se ha ido mejorando paulatinamente (Cooperación Suiza en América Central, 2017).

El número de productores registrados que cultivan cacao es de 9,172 generando, en el 2015, de manera directa en el campo un total de 277 mil 200 jornales, equivalentes a 990 empleos permanentes por año. Dentro de los procesos de la cadena de valor del cacao, se estima que hay una participación del 30% de mujeres, vinculadas especialmente a labores de cosecha, quebrado de mazorca y transformación secundaria (Cooperación Suiza en América Central, 2017).

F. Factores y tendencias que impactan al mercado de cacao y chocolate

Las tendencias recientes y las innovaciones actuales que están influyendo en el tamaño del mercado de cacao y chocolate son:

- i. Creciente demanda de chocolate de calidad superior: Los consumidores están cada vez más dispuestos a pagar más por productos de chocolate premium de alta calidad, lo que ha provocado un aumento de la demanda de chocolates especiales elaborados con granos de cacao de alta calidad y aromas únicos (EMR, 2023).
- ii. Beneficios del chocolate negro para la salud: Se ha descubierto que el chocolate negro tiene varios beneficios para la salud, como mejorar la salud del corazón, reducir la inflamación y potenciar la función cerebral. Como resultado, los consumidores buscan cada vez más productos de chocolate negro, lo que ha impulsado el crecimiento de este segmento del mercado (EMR, 2023).
- iii. Aumento del consumo en los mercados emergentes: Los mercados emergentes de Asia, África y América Latina están experimentando un incremento en el consumo de chocolate a medida que aumentan los ingresos y evolucionan los gustos de los consumidores. Esto ha provocado un aumento de la demanda de productos de chocolate en estas regiones, lo que está impulsando el crecimiento del mercado del cacao y el chocolate (EMR, 2023).

- iv. Innovación en productos de chocolate: Los fabricantes de chocolate están constantemente innovando e introduciendo nuevos productos en el mercado, incluyendo nuevos sabores, texturas y formatos. Esto ha contribuido a impulsar la demanda y a ampliar el tamaño del mercado de productos de cacao y chocolate (EMR, 2023).
- v. Sostenibilidad y abastecimiento ético: Los consumidores están cada vez más preocupados por el impacto medioambiental y social de sus elecciones alimentarias, incluido el chocolate. Como consecuencia, crece la demanda de habas de cacao de origen sostenible y ético, lo que ha impulsado la adopción de programas de certificación como Fair Trade y Rainforest Alliance (EMR, 2023).

G. Producción mundial de cacao

Las regiones del norte de Sudamérica históricamente destacaron como los principales productores de cacao antes de que Brasil emergiera como un actor dominante en esta industria. Sin embargo, a partir de la década de 1870, las potencias coloniales introdujeron el cultivo de cacao en África Occidental, lo que resultó en un rápido aumento de la producción, especialmente en Ghana. Entre 1921 y 1978, Ghana se erigió como el principal exportador mundial de cacao (Hütz-Adams y Campos, 2022).

Con el tiempo, Costa de Marfil superó a Ghana en la producción de cacao, y en la actualidad, produce más del doble de cacao que toda América. Aproximadamente el 75% de la producción global de cacao proviene de África Occidental, mientras que menos del 20% se cultiva en el continente americano. Esto no implica necesariamente una disminución en la producción de cacao en todos los países americanos; simplemente, el crecimiento en África Occidental ha sido mucho más pronunciado (Hütz-Adams y Campos, 2022).

Específicamente, Costa de Marfil ha experimentado un aumento sustancial en la producción de cacao desde la temporada de cosecha 2005/06, alcanzando un total de 2,2 millones de toneladas en 2021/22. Este incremento casi iguala la producción de cacao de todo el continente americano en ese mismo período, que fue de 939.000 toneladas. Ecuador y Perú, por su parte, han triplicado sus producciones desde 2005/06 y se han convertido en actores destacados en la industria mundial de cacao (Hütz-Adams y Campos, 2022).

A pesar de un aumento en la producción de cacao en otros países de América, como Brasil, Colombia, República Dominicana y Nicaragua, se observa que Brasil, en particular, es un caso único, ya que es el único líder en producción de cacao que importa más de lo que produce. Esto se debe al alto consumo de chocolate en Brasil, que supera la producción nacional. Perú y Colombia cuentan con una industria de molienda y consumo local significativos, mientras que República Dominicana exporta la mayoría de su producción. Nicaragua

también depende en gran medida de las exportaciones, aunque muchas de estas tienen como destino países vecinos. México, por otro lado, importa más cacao del que produce (Hütz-Adams y Campos, 2022).

Figura 1. Producción de cacao en grano (en 1,000 toneladas).

	Costa de Marfil	Ghana	Ecuador	Camerún	Nigeria	Indonesia	Brasil	Perú	Colombia	República Dominicana	México	Mundial
2005/06	1408	741	118	171	210	585	162	31	37	46	34	3808
2006/07	1229	615	124	169	220	545	126	31	30	42	33	3430
2007/08	1382	729	113	185	230	585	171	34	38	45	28	3737
2008/09	1223	663	135	224	250	490	157	36	36	55	23	3592
2009/10	1242	633	150	209	235	550	161	43	40	58	27	3634
2010/11	1511	1025	161	229	240	440	200	54	35	54	21	4309
2011/12	1486	879	198	207	245	440	220	61	43	72	28	4095
2012/13	1449	836	192	225	238	410	185	70	48	68	28	3943
2013/14	1746	897	232	211	248	375	228	81	49	70	30	4370
2014/15	1796	740	261	232	195	325	230	92	51	82	28	4252
2015/16	1581	778	232	211	200	320	140	105	53	80	27	3994
2016/17	2020	969	300	246	245	290	174	116	55	57	27	4768
2017/18	1964	905	287	250	250	240	204	135	55	85	28	4647
2018/19	2154	812	322	280	270	220	176	141	59	75	29	4794
2019/20	2105	771	342	280	250	200	201	151	64	75	29	4735
2020/21*	2248	1047	365	290	290	170	200	158	70	75	30	5226
2021/22**	2200	822	370	280	280	180	210	150	67	80	28	4955

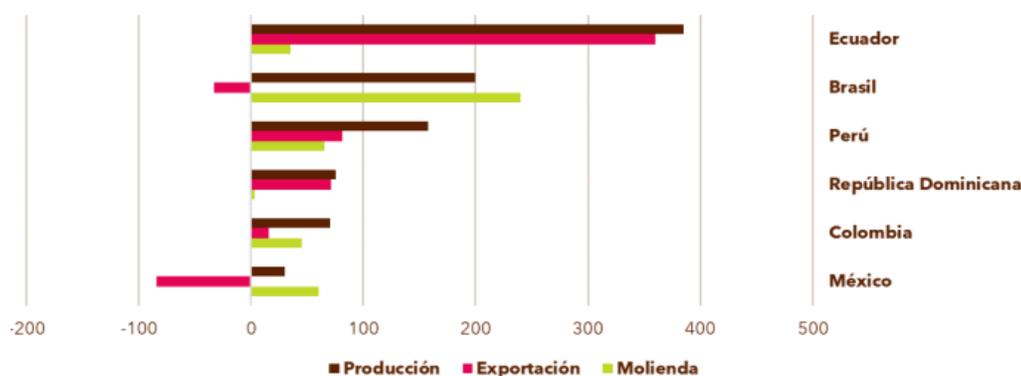
* Estimaciones

** Previsiones

Fuente: ICCO

(Hütz-Adams y Campos, 2022)

Figura 2. Producción, exportación y molienda de cacao en América Latina 2020-2021 (en toneladas).



(Hütz-Adams y Campos, 2022)

En términos de consumo *per cápita* de cacao, Brasil se destaca debido a su gran población y alto consumo de chocolate. Aunque el consumo *per cápita* en Colombia y Perú es cercano al de Brasil, sigue siendo considerablemente menor que en los países desarrollados, como Alemania, donde el consumo alcanza los 4 kg al año por persona (Hütz-Adams y Campos, 2022).

H. Consumo mundial de cacao

El consumo nacional desempeña un papel crucial en la configuración de la industria del cacao y el chocolate. La economía de escala y la eficiencia en la molienda y producción de chocolate se ven significativamente favorecidas cuando se dispone de grandes instalaciones de fabricación y una infraestructura de transporte eficiente. En contraste, en ausencia de un mercado nacional sustancial, los países productores de cacao en África Occidental han adoptado estrategias para captar la industria de la molienda de cacao mediante la implementación de subsidios, tanto directos como indirectos (Hütz-Adams y Campos, 2022).

Figura 3. Producción, exportación e importaciones de cacao, productos semielaborados y chocolate 2020/21 (en toneladas).

	Ecuador	Brasil	Perú	Colombia	República Dominicana	México
Granos de producción	370,000	210,000	150,000	67,300	80,000	28,000
Exportación de granos de cacao	323,407	556	51,480	10,950	69,367	153
Exportación de pasta/licor de cacao	21,351	6,480	2,828	1,136	130	930
Exportación de polvo y torta de cacao	4,097	21,386	9,810	1,405	152	1,524
Exportación de manteca de cacao	4,689	27,526	15,723	5,251	1,355	7,492
Exportación de chocolate y productos de chocolate	1,582	33,354	5,229	16,285	1,067	200,744
Importación de granos de cacao	103	52,968	100	394	75*	34,995
Importación de pasta/licor de cacao	6	610	1,415	123	60	9,410
Importación de polvo y torta de cacao	623	41,464	2,494	4,041	744	31,865
Importación de manteca de cacao	27	369	1,523	4	1	9,330
Importación de chocolate y productos de chocolate	8,976	17,158	9,239	10,776	6,249	81,637
Consumo nacional (2018/2019)	6,800	187,700	25,200	40,500	4,800	73,000
Consumo per cápita (en kg)	0.393	0.893	0.776	0.803	0.466	0.577

* 2019/20

Fuente: ICCO

(Hütz-Adams y Campos, 2022)

Esta estrategia ha tenido resultados mixtos. Por ejemplo, Costa de Marfil ha alcanzado niveles de molienda de cacao equiparables a los de los Países Bajos, una nación que históricamente lideró esta industria. Sin embargo, este enfoque no está exento de desafíos. En el caso de Ghana, se ha planteado un debate sobre la justificación de los subsidios otorgados a las empresas multinacionales, dado que las modernas fábricas no generan una cantidad significativa de empleos (Hütz-Adams y Campos, 2022).

Por otro lado, Indonesia ha incentivado la inversión en fábricas de molienda mediante una estructura fiscal que impone impuestos más elevados a la exportación de granos de cacao sin procesar en comparación con los productos intermedios (Hütz-Adams y Campos, 2022).

Es importante destacar que la mayor parte del valor en la cadena del cacao se agrega en la etapa de producción y venta de chocolate. Por lo tanto, el establecimiento de una industria chocolatera se facilita considerablemente cuando un país cuenta con una clase media que disfruta del chocolate, lo que se traduce en un consumo interno elevado, como es el caso de Brasil. México, por su parte, presenta un panorama diferente

debido a su proximidad a Estados Unidos y a sus acuerdos comerciales, lo que ha impulsado sus exportaciones anuales de chocolate y productos derivados del cacao (Hütz-Adams y Campos, 2022).

En términos de enfoque en la cadena de valor, algunos países dependen principalmente de la exportación de granos de cacao sin procesar, como Ecuador y República Dominicana, mientras que otros han desarrollado una cadena de valor diferenciada para productos derivados del chocolate, ya sea para el mercado interno, como Brasil, o para la exportación, como México. A pesar de estas diferencias, el mercado global de cacao y chocolate sigue siendo dominado por Estados Unidos y Europa (Hütz-Adams y Campos, 2022).

En el ámbito internacional, durante la temporada de cacao 2018/19, Brasil ocupó el sexto lugar en términos de consumo interno, mientras que aproximadamente la mitad de la producción mundial de cacao se destinó a los estados miembros de la Unión Europea (UE) (Hütz-Adams y Campos, 2022).

Figura 4. Principales países consumidores de cacao (en 1,000 toneladas).

1. Estados Unidos	817
2. Alemania	343
3. Francia	226
4. Reino Unido	223
5. Federación Rusa	203
6. Brasil	188
7. España	125
8. Italia	102
9. Canadá	89
10. México	73

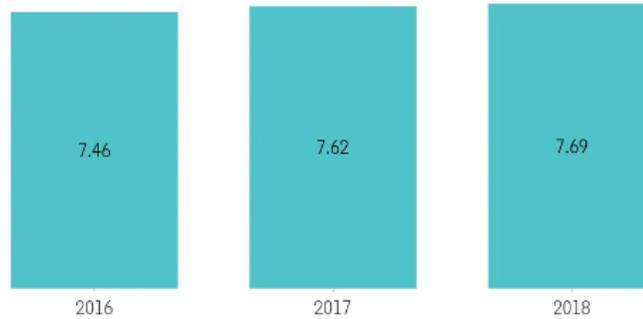
Fuente ICCO

(Hütz-Adams y Campos, 2022)

I. Mercado mundial del cacao

Se estima que el mercado mundial de granos de cacao registrará una tasa de retorno suavizada, CAGR, del 7,1 % durante el período de pronóstico. La demanda mundial de granos de cacao de las industrias de confitería, alimentos y bebidas, productos farmacéuticos y cosméticos es el principal impulsor del mercado. América del Norte está dominando el mercado de los granos de cacao, donde los granos de cacao se utilizan ampliamente para preparar chocolates, jarabes y dulces. El consumo de chocolate *per cápita* en América se registró en 4,4 Kg en el año 2017 (Mordor Intelligence, 2023).

Figura 5. Consumo minorista de productos de confitería de chocolate a nivel mundial (en millones de toneladas métricas).



(Mordor Intelligence, 2023)

La demanda de chocolates y productos relacionados con el chocolate ha aumentado continuamente en todo el mundo. El consumo mundial de chocolate per cápita se registró en 1 kg en 2018. Suiza, Austria y Alemania son los países líderes en términos de consumo *per cápita* con 8,8, 8,1 y 7,9 kg. Han habido lanzamientos de productos innovadores y tecnologías de producción en el segmento de chocolate premium en todo el mundo, lo que ha llevado a un aumento en las ventas y el consumo de chocolate (Mordor Intelligence, 2023).

La región africana es la principal productora de cacao en grano en el mundo con casi el 70% de la producción mundial. Según la FAO, el país registró una producción de 3,7 millones de toneladas métricas en 2018. Costa de Marfil, Ghana y Nigeria son los principales productores con el 52 %, 25 % y 8 % de la producción total de África. El clima adecuado, el alto valor del cacao en los mercados internacionales y las iniciativas gubernamentales para las plantaciones de cacao son las principales razones de la enorme producción de granos de cacao en África (Mordor Intelligence, 2023).

Figura 6. Tamaño del mercado global del cacao por región.



(Mordor Intelligence, 2023)

J. Instituciones reguladoras de cacao

El sector de cacao en Guatemala involucra diversas instituciones reguladoras tanto a nivel nacional como internacional. Estas entidades desempeñan funciones específicas para supervisar, regular y promover aspectos cruciales relacionados con el cacao y sus derivados (VECO, 2017). A continuación, se presenta una descripción detallada de estas instituciones y su rol en la industria cacaotera guatemalteca:

Instituciones reguladoras nacionales en Guatemala:

- i. **MAGA–VISAR (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación - Dirección de Sanidad Agropecuaria):** Esta entidad otorga permisos relacionados con la inocuidad y la sanidad vegetal, asegurando que los productos cacaoteros cumplan con los estándares requeridos en términos de calidad y seguridad (VECO, 2017).
- ii. **SAT (Superintendencia de Administración Tributaria de Guatemala):** La SAT es responsable de recaudar los impuestos relacionados con la producción y comercialización de cacao y sus productos derivados (VECO, 2017).
- iii. **Ministerio de Salud:** Encargado de inspeccionar y otorgar permisos sanitarios a las empresas procesadoras de cacao, garantizando la salubridad de los productos destinados al consumo humano (VECO, 2017).
- iv. **Ministerio de Economía de Guatemala (MINECO):** Este ministerio se encarga de la inscripción de nuevas empresas relacionadas con el cacao y promueve el desarrollo de nuevos emprendimientos empresariales en el sector (VECO, 2017).
- v. **Ministerio de Gobernación:** Otorga los permisos necesarios para la creación de nuevas asociaciones, cooperativas y organizaciones civiles sin fines de lucro relacionadas con la producción y comercialización del cacao (VECO, 2017).
- vi. **INAB-MINED (Instituto Nacional de Bosques - Ministerio de Educación):** Esta entidad otorga los permisos necesarios para operar fincas en áreas de amortiguamiento, asegurando la conservación de los recursos naturales en entornos cacaoteros (VECO, 2017).
- vii. **Consejo Nacional de Áreas Protegidas CONAP:** Regula la instalación de fincas de cacao en áreas protegidas, garantizando la preservación de la biodiversidad y los ecosistemas en estas zonas (VECO, 2017).

Por otro lado, a nivel internacional, existen diversas entidades que regulan y promueven la sostenibilidad en la industria del cacao:

- i. **Organización Internacional del Cacao (ICCO):** Fundada bajo el auspicio de las Naciones Unidas, la ICCO opera en el marco de los Convenios Internacionales del

Cacao y busca promover un mercado cacaotero sostenible y equitativo a nivel global (Carrera, 2014).

- ii. Federación Mundial de Cacao (WCF): Esta organización global sin fines de lucro trabaja en colaboración con diversas partes interesadas, incluyendo empresas, gobiernos y organizaciones de la sociedad civil, para promover la sostenibilidad en toda la cadena de suministro del cacao (Carrera, 2014).
- iii. Instituto del Chocolate (IC): Representa a la industria del chocolate en los Estados Unidos, contribuyendo al establecimiento de estándares de calidad y promoviendo la educación relacionada con el chocolate y el cacao (Carrera, 2014).
- iv. Organización Internacional para la Estandarización (ISO): La ISO establece estándares técnicos que son utilizados por empresas y organismos reguladores para garantizar la calidad y la seguridad de los productos relacionados con el cacao y el chocolate (Carrera, 2014).
- v. Certificadoras de Comercio Justo: Organizaciones como Fair Trade International y Rainforest Alliance certifican productos de cacao que cumplen con ciertos estándares de sostenibilidad y equidad, beneficiando a los agricultores y al medio ambiente (Carrera, 2014).
- vi. Asociaciones de la Industria del Chocolate: Organizaciones como la Asociación Nacional de Confiteros en los Estados Unidos y la Asociación Europea del Cacao y Chocolate representan a las empresas de la industria y colaboran en asuntos relacionados con la regulación y la promoción (Carrera, 2014).

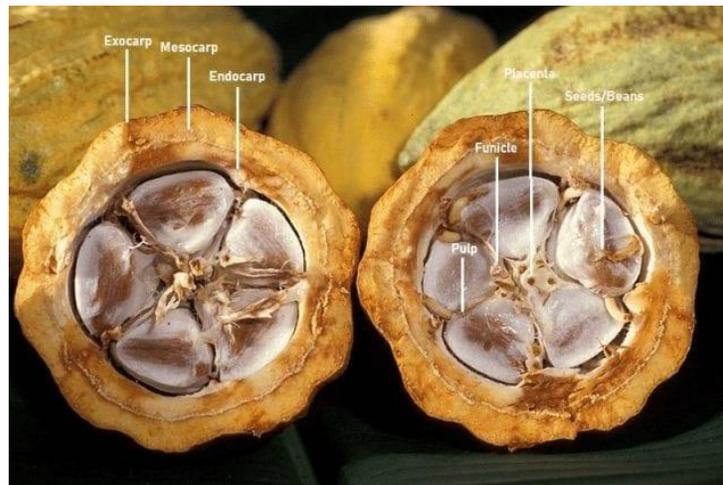
En conjunto, estas instituciones, tanto a nivel nacional como internacional, desempeñan roles fundamentales en la regulación, promoción y sostenibilidad de la industria del cacao y el chocolate. Su trabajo contribuye a garantizar la calidad de los productos, la equidad en la cadena de suministro y la protección del medio ambiente en esta industria, tanto en Guatemala como en el ámbito global (Carrera, 2014).

K. Partes del cacao

Las vainas de cacao nacen de “almohadas florales” que se encuentran en las ramas del árbol de cacao (*Theobroma cacao*). La variabilidad en la apariencia de las vainas, también referidas como mazorcas, es notable y depende de múltiples factores, que abarcan desde la variedad del cacao hasta sus características genéticas y la región geográfica en la que se cultiva (Guevara, 2018).

A pesar de estas diferencias en la apariencia externa, es importante destacar que todas las vainas de cacao comparten una estructura interna fundamental y común cuando se desglosan. Esta estructura comprende varios componentes esenciales que desempeñan un papel fundamental en la producción y procesamiento del cacao (Guevara, 2018), las vainas constan de los siguientes elementos:

Figura 7. Partes que conforman el cacao.



(Guevara, 2018)

1. Exocarpio

Es una parte fundamental de la vaina de cacao que desempeña un papel crucial en la protección de la fruta y que exhibe una variabilidad notable en términos de color y madurez. A diferencia del café, que tiende a ser verde en estado no maduro y rojo cuando alcanza la madurez, presentando algunas variaciones según la variedad, el exocarpio del cacao muestra una amplia gama de colores, que pueden incluir naranja, amarillo, verde, morado, rosa y otros tonos, dependiendo de diversos factores (Guevara, 2018).

El color del exocarpio se encuentra determinado por dos elementos clave: la tonalidad natural de la vaina en sí y su nivel de madurez. La vaina requiere un período de crecimiento y maduración que oscila entre cuatro y cinco meses. El color del exocarpio sirve como indicador de la madurez de la vaina, lo que facilita la identificación del momento óptimo para la recolección. Regularmente, se observa que el color de la vaina puede variar entre tonos, pero predominan dos colores básicos: el verde (que adquiere un tono amarillo cuando está maduro), típico del cacao Nacional, y el rojo o morado (que se torna naranja cuando está en su punto de madurez), presentes en las variedades Criollo y Trinitario (Guevara, 2018).

2. Mesocarpio

El mesocarpio del cacao, una parte esencial del fruto de la planta de cacao de donde provienen las semillas utilizadas en la elaboración del chocolate y otros productos relacionados, ocupa una posición central en la estructura del fruto, situado bajo la cáscara externa o exocarpio, el mesocarpio se caracteriza por ser una capa carnosa y suave (Guevara, 2018).

El mesocarpio posee una importancia vital en la producción de cacao debido a la presencia de pulpa dulce y jugosa que rodea a las semillas de cacao. Esta pulpa es comestible y cuenta con un sabor agridulce. Además, juega un papel fundamental en el proceso de fermentación del cacao, un componente esencial en la fabricación de chocolate. Es importante destacar que el mesocarpio no se utiliza en la elaboración del chocolate en sí, pero desempeña una función crucial en el proceso de fermentación y contribuye a la formación de los sabores y aromas característicos del cacao en la producción de chocolate de alta calidad (Guevara, 2018).

3. Endocarpio

El endocarpio del cacao es una capa interna del fruto de cacao que envuelve las semillas de cacao. Esta capa es sólida y resistente, y su función principal es salvaguardar las semillas en el interior del fruto. Actúa como una barrera natural que preserva la integridad de las semillas y las resguarda de posibles daños durante el proceso de crecimiento y maduración del cacao (Guevara, 2018).

Cuando se recolectan los frutos de cacao, el endocarpio se halla debajo de la pulpa jugosa y fina que rodea las semillas y también bajo el exocarpio, que constituye la capa exterior del fruto. Para acceder a las semillas de cacao, es necesario romper o abrir el endocarpio, lo que comúnmente se lleva a cabo durante las etapas de fermentación y secado del cacao (Guevara, 2018).

4. Pulpa

La pulpa del cacao constituye la parte carnosa y jugosa que rodea las semillas de cacao en el interior del fruto de esta planta. Esta porción del fruto es comestible y se caracteriza por su particular sabor agridulce, siendo frecuentemente consumida en las regiones donde se cultiva el cacao (Guevara, 2018).

A pesar de no estar presente en el producto final del chocolate, la pulpa de cacao desempeña un rol fundamental en la producción de este último. Durante el proceso de fermentación del cacao, la pulpa se mezcla con las semillas de cacao y se descompone gracias a la acción de levaduras y bacterias naturales. Esta fase de fermentación resulta esencial para el desarrollo de los sabores y aromas característicos del chocolate (Guevara, 2018).

Una vez concluida la fermentación, la pulpa de cacao se separa de las semillas y no se utiliza en la elaboración del chocolate. No obstante, su influencia en el proceso de fermentación es de vital importancia para la calidad y el sabor del cacao, y, por consiguiente, del chocolate que se obtiene de este (Guevara, 2018).

En algunas áreas donde se cultiva el cacao, la pulpa también se aprovecha para la creación de bebidas y productos como jugos, licores o dulces. Además, cabe destacar que la pulpa puede albergar nutrientes beneficiosos para la salud, lo que ha impulsado la exploración de su potencial utilización en la industria alimentaria y de bebidas debido a su sabor y su valor nutricional (Guevara, 2018).

5. Raquis, funículo y placenta

- i. Raquis: El raquis cacaotero es una estructura central ubicada en el interior de la vaina de cacao. Cumple la función de ser un eje o columna principal que sostiene y conecta las semillas de cacao contenidas en la vaina (Guevara, 2018).
- ii. Funículo: El funículo cacaotero es un fino cordón o enlace que conecta cada semilla de cacao con el raquis dentro de la vaina. Cada semilla de cacao queda unida al raquis a través de su correspondiente funículo. Este funículo desempeña un papel crucial al facilitar el suministro de nutrientes y agua a las semillas durante su desarrollo dentro de la vaina (Guevara, 2018).
- iii. Placenta: En el contexto del cacao, la placenta se refiere al tejido que rodea las semillas de cacao en el interior de la vaina. Esta placenta resulta fundamental para proveer los nutrientes y la hidratación necesarios a las semillas a medida que crecen y maduran en la vaina. Además, juega un rol clave en la producción de la pulpa del cacao, que es la parte comestible que envuelve las semillas y que desempeña una función esencial en el proceso de fermentación del cacao (Guevara, 2018).

6. Semillas

Las semillas de cacao son los granos que se extraen del fruto del cacao, conocido científicamente como *Theobroma cacao*. Estas semillas representan la materia prima primordial para la fabricación de chocolate y otros productos derivados del cacao (Guevara, 2018).

Las semillas de cacao tienen una forma ovalada y se asemejan en tamaño a las almendras. Presentan un sabor amargo y astringente debido a la presencia de compuestos como la teobromina y la cafeína, aunque también contienen sabores y aromas complejos que son esenciales para el sabor distintivo del chocolate (Guevara, 2018).

Las semillas de cacao desempeñan un papel fundamental en la industria chocolatera y se cultivan en regiones tropicales de todo el mundo, especialmente en países de América Latina, África y Asia. La calidad y el sabor del chocolate dependen en gran medida de la variedad de cacao, las condiciones de cultivo y el procesamiento de las semillas (Guevara, 2018).

L. Tipos de cacao

Es importante conocer que cuando se habla de cacao, existe una amplia variedad, de productos, desde los llamados cacaos finos de aroma y sabor (FFC por sus siglas en inglés), que son los obtenidos a partir de cacaos criollos especialmente. Los cacaos normales se obtienen principalmente de las variedades conocidas como forastero. La siembra y desarrollo de este tipo de cultivo, puede aportar un elemento diferencial muy importante en la comercialización y consecuentemente en los precios. Durante los últimos años, este tipo de cacao a granel ha tenido precios que han oscilado entre 1.000 y 2.000 dólares por tonelada, por encima del precio de cacao proveniente de la variedad forastero (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2014).

1. Cacao Criollo

El árbol de cacao de tipo Criollo se considera la variedad de mejor calidad, debido a que es más aromático y menos amargo, se utiliza para la fabricación de productos de lujo de chocolatería. También se conoce en Europa como “cacao fino” y en Estados Unidos como “cacao de sabor”. Este tipo de cacao se utiliza para la elaboración de chocolate negro, tipo gourmet, con el fin de conferirle a los productos características de aroma y sabor especial (Carballo, 2020).

El valor porcentual que representa su producción respecto al mundial asciende a 5% y Guatemala es uno de los pocos países en el mundo que ha iniciado su producción. El cacao criollo fino de aroma guatemalteco de Centro del Cacao es el resultado de una dedicada investigación de más de 20 años de nuestra empresa. Viene de plantaciones de cacao criollo de reliquia familiar de pequeños productores y de árboles semilleros ancestrales de más de 600 años (Carballo, 2020).

Figura 8. Cacao Criollo.



(Reyes, 2023)

2. Cacao Forastero

El cacao forastero o amazonia es la variedad más común, su sabor es fuerte, amargo, un poco ácido y representa el 70% del consumo de cacao del mundo. Es la más robusta (los productores dicen que confían en su resistencia a enfermedades) además que da la mayor cantidad de frutos, pero los puntos en contra son un aroma sin fineza y escaso sabor frutal (Carballo, 2020).

Este grano fue introducido por los europeos en los territorios colonizados cuando el chocolate era solicitado a principios del siglo XX en Europa. Las variedades de cacao Forastero se cultivan principalmente en Venezuela, Perú, Ecuador, Colombia, Brasil, Costa de Marfil, Ghana, Camerún, Costa Rica, Santo Tomé y algunas plantaciones en el sudeste asiático. El cacao de variedad Forastero es denominado "común o de baja calidad, a pesar de ser catalogado de este modo, el cacao "Nacional" o pertenece a esta variedad, es reconocido como el mejor a nivel mundial (Carballo, 2020).

Figura 9. Cacao Forastero.



(Reyes, 2023)

3. Cacao Trinitario

En contraparte, el cacao de variedad Trinitario es un híbrido entre las variedades Criollo y Forastero. Su producción es claramente superior en comparación con el criollo y combinando las características gustativas de ambos. Es mucho más resistente a enfermedades y tiene un sabor mucho más sutil (Carballo, 2020).

Contiene un amplio rango de sabores, aromas y persistentes en el paladar. Pueden apreciarse sabores a heno, roble miel, manzana y melón. Se cultiva en Trinidad, Java, Sri Lanka, Papua- Nueva Guinea, Camerún y en Venezuela con el nombre de Carenero Superior. Actualmente representa aproximadamente el 5% de la producción mundial. (Carballo, 2020).

En el caso de los productos orgánicos, intervienen todas las entidades de certificación y control de los productos, así como las autoridades que controlan de forma adecuada los productos de exportación. La mayoría de las cadenas de distribución minorista exigen a los proveedores certificaciones privadas que en ningún caso son de carácter obligatorio para vender en la Unión Europea, por lo que se recomienda la búsqueda activa de alternativas comerciales que no requieran este tipo de certificaciones privadas que con frecuencia encarecen los costes de producción, y no siempre compensan el esfuerzo del productor al momento de negociar los precios de venta (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2014).

Figura 10. Cacao Trinitario.



(Reyes, 2023)

M. Cosecha y recolección del cacao

La recolección de cacao es una etapa de gran sensibilidad en la producción cacaotera. Uno de los desafíos más significativos en este proceso radica en la determinación del momento óptimo para cosechar las mazorcas de cacao. Es crucial considerar que el cacao, al no estar completamente maduro, no alcanzará su pleno desarrollo en términos de sabores y aromas. Por otro lado, cuando las mazorcas se encuentran en un estado de madurez excesiva, comienzan a manifestar signos no deseados (Guevara, 2018).

Sin embargo, lamentablemente, las vainas de cacao no maduran de manera uniforme, incluso cuando pertenecen al mismo árbol. La identificación precisa del grado de madurez del cacao exige un conocimiento experto y, en ocasiones, la observación de características particulares de las vainas se convierte en un indicador esencial para determinar el momento adecuado de la cosecha (Guevara, 2018).

Una vez que el productor determina que su cosecha de cacao ha alcanzado el punto óptimo de madurez, el proceso de recolección inicia de manera manual. Debido a la disparidad en el momento de maduración de las vainas de cacao, la recolección mecánica no resulta factible. Por lo tanto, los productores suelen recurrir a herramientas manuales como machetes o cuchillos especializados para llevar a cabo esta tarea (Guevara, 2018).

Sin embargo, es importante destacar la necesidad de una extrema precaución durante el proceso, debido a que las vainas de cacao surgen de flores fertilizadas, y estas flores de cacao tienden a agruparse en lo que se denomina una "almohada floral". Por lo tanto, el área donde ha crecido una vaina es el lugar donde se desarrollará la nueva floración el próximo año. Si se efectúan cortes que causen daño en esa zona, se generan heridas y el árbol evitará florecer en esa parte, lo que conlleva una disminución en la productividad (Guevara, 2018).

N. Ciclo productivo del cacao

El cacaotero, también conocido como árbol del cacao, es una planta perenne que produce múltiples cosechas a lo largo del año. Aunque los frutos del cacao alcanzan la madurez en el mismo período, normalmente se realizan dos cosechas anuales: la cosecha principal y la cosecha intermedia. La cosecha intermedia generalmente resulta de menor magnitud en comparación con la cosecha principal, aunque su relativa proporción varía de un país a otro. El árbol de cacao exhibe patrones estacionales de producción, caracterizados por picos de alta producción y períodos de baja o nula producción. La fase de mayor producción abarca desde principios de octubre hasta mediados de enero (Exportadora Erazo, 2019).

El intervalo entre la fertilización y la recolección de los frutos oscila entre 5 y 6 meses. La cosecha del cacao se da dos veces al año, en verano desde septiembre a diciembre y en invierno desde enero a mayo. La temporada de cosecha se extiende por aproximadamente 5 meses y engloba el proceso de corte de los frutos maduros de los árboles, su posterior apertura y la extracción de las semillas. Estas semillas se someten a un proceso de fermentación que dura entre 2 y 8 días, seguido de un secado al sol. Posteriormente, los granos se acondicionan en sacos antes de ser despachados (Exportadora Erazo, 2019).

El cacao debe ser cultivado en filas con una distancia de aproximadamente 3 metros entre cada uno, lo que resulta en una densidad de alrededor de 950 a 1330 árboles por hectárea, dependiendo de la calidad del suelo y las condiciones climáticas (Exportadora Erazo, 2019).

El proceso de siembra del cacao se lleva a cabo durante la primera mitad de la temporada de lluvias, lo que permite que el árbol tenga el tiempo necesario para establecerse antes de la siguiente temporada seca. A pesar de que el cacao alcanza la madurez alrededor de 24 meses después de la siembra inicial, los árboles solo comienzan a ser productivos después de aproximadamente cinco años (Exportadora Erazo, 2019).

Los rendimientos máximos se registran entre el octavo y décimo año de vida del cacao, aunque es posible obtener buenos rendimientos a lo largo de varias décadas. El cacao es una planta de sombra, lo que significa que en los primeros años de su vida requiere un nivel significativo de sombra, que alcanza aproximadamente el 70%. Sin embargo, después del tercer año, a medida que la copa del árbol se expande y se desarrolla, las

necesidades de sombra disminuyen a alrededor del 30%, lo que coincide con un aumento en los rendimientos (Exportadora Erazo, 2019).

O. Subproductos del cacao

Los subproductos derivados del cacao son todos aquellos que se obtienen a partir del procesamiento de esta semilla. Con estas semillas y determinados procesos de fermentación y transformación, se pueden obtener diferentes subproductos como (Citalsa, 2020):

- i. Cáscara para infusiones.
- ii. Licor de cacao.
- iii. Manteca de cacao.
- iv. Cacao en polvo.
- v. Chocolate negro.
- vi. Chocolate con leche.
- vii. Chocolate de cobertura.
- viii. Chocolates rellenos.
- ix. Chocolate blanco.
- x. Vino de cacao.

(Citalsa, 2020)

P. Cáscara para infusiones

La cascarilla del cacao es la responsable del sabor y el aroma de este, y tiene múltiples propiedades que la alejan de ser un simple desecho. Esta parte del cacao corresponde a la cascarilla tostada que se retira luego de ser tostada. De hecho, es precisamente aquí donde se encuentra la mayor parte de sus propiedades terapéuticas y medicinales (Isabel, 2020).

En general, estas propiedades son poco conocidas por la población. La cascarilla es utilizada en la alimentación humana, como suplemento nutricional para animales y como abono orgánico para la tierra. Debido a sus múltiples propiedades beneficiosas, es rica en magnesio, ácidos oleico y linoleico, vitaminas y pectinas es recomendable utilizarla para la salud gastrointestinal ya que, actúa eliminando bacterias nocivas de nuestro intestino. Su alto contenido en pectina lo convierte en un poderoso absorbente intestinal que, junto con la también presente en la cascarilla, contribuye a depurar el organismo eliminando toxinas, y a prevenir el cáncer de colon (Isabel, 2020).

Por otro lado, debido a su alto contenido en magnesio, es útil para tratar la fatiga, la debilidad y los calambres, así como la deficiencia nutricional de este elemento. Finalmente, el uso de la cáscara de cacao en productos como las galletas, pasteles y suplementos dietéticos de chocolate puede ayudar a disminuir

desórdenes gastrointestinales, a prevenir enfermedades degenerativas crónicas y a reducir los niveles de calorías, colesterol y glucosa en sangre (Isabel, 2020).

Q. Licor del cacao

El licor de cacao corresponde a una sustancia líquida y altamente concentrada que se obtiene mediante un proceso de molienda de las semillas de cacao, que libera su contenido de grasa natural, conocida como manteca de cacao, y crea una pasta densa y líquida con una intensa concentración de sabor a cacao (Egas, 2015).

El licor de cacao sirve como materia prima principal para la fabricación de chocolate y otros productos relacionados con el cacao. Su influencia en la calidad y el sabor del chocolate es innegable, ya que contiene los sabores y aromas naturales característicos del cacao. Además, su contenido de manteca de cacao influye en la textura y la suavidad del chocolate (Egas, 2015).

Este componente líquido se combina posteriormente con otros ingredientes, como azúcar, leche y posiblemente otros sabores y aditivos, en un proceso que varía según el tipo de chocolate que se desea obtener. La manipulación cuidadosa del licor de cacao, junto con la selección de las proporciones adecuadas de ingredientes, son factores cruciales para lograr la calidad y las características específicas de cada tipo de chocolate (Egas, 2015).

R. Cacao en polvo

El cacao en polvo proviene de los granos (semillas) del árbol de cacao o cacaotero, planta tropical que crece en África, Asia del Sureste, Hawái, Brasil, Colombia y otros países donde existen condiciones de bosques tropicales (Flexicon, 2023).

El cacao en polvo es un material orgánico derivado de la extracción de la grasa (manteca de cacao) de los granos. El material del grano de cacao tostado se prensa a una alta intensidad (6,000 a 12,000 psi o 413.7 a 827.4 bar) para extraer la mayoría de la manteca de cacao. El material residual contiene normalmente alrededor de 10% de grasa y puede entonces molerse sin mayores modificaciones para producir el polvo de cacao natural o puede ser tratado con una solución alcali suave para mejorar ciertas características destinadas a aplicaciones de alimentos y bebidas (Flexicon, 2023).

El cacao natural en polvo es de color café claro y presenta un nivel de pH de 5.1 a 5.4. El cacao en polvo procesado (alcalizado) es de color más oscuro, varía entre rojo pardusco castaño a casi negro, con un pH entre 6.8 y 8.1. El proceso de alcalización reduce la amargura y mejora la solubilidad, lo que es importante en aplicaciones de productos de bebidas. Todos estos valores de pH se consideran seguros para uso alimenticio (Flexicon, 2023).

El cacao en polvo debe almacenarse en un lugar fresco y seco para preservar el sabor y la vida útil. Las temperaturas de almacenamiento por debajo de 30°C (86° F) son necesarias para mantener la calidad general. Este siempre debe mantenerse alejado de la luz ultravioleta y la luz solar natural directas, además debe guardarse en sacos sellados herméticamente a fin de evitar contaminación de otros materiales aromáticos u olores (Flexicon, 2023).

Por otro lado, es un sólido difícil de manejar, el cacao en polvo se incrusta y apiña, además tiende a fluidizarse, es decir, las partículas finas de cacao en polvo pueden adoptar las características de un líquido. En consecuencia, el cacao en polvo tiende a formar depósitos en la línea de transporte. El cacao en polvo es higroscópico, lo cual hace que el control de humedad constituya un elemento esencial durante el manejo. La prevención de derrames es importante cuando se maneja el cacao en polvo debido principalmente al gasto de producto desperdiciado y a la limpieza; el mejor método de limpieza completa es el proceso de aspirado en seco (Flexicon, 2023).

Los operadores experimentados de cacao en polvo han observado que las densidades aparentes tienden a cambiar sin avisar conforme los envíos llegan a la planta procesadora por parte de una multitud de proveedores. Algunos de estos grados de cacao en polvo fluirán libremente, mientras que otros no fluirán de la misma manera. La mayoría de los grados de cacao en polvo tienen una densidad aparente promedio de 35 lb/pies³. Finalmente, el cacao en polvo es sensible al aire, es decir, el movimiento del aire puede ocasionar que el cacao en polvo vuele y se convierta en polvo, si no se contiene correctamente (Flexicon, 2023).

S. Pasta de cacao

La pasta de cacao, también conocida como torta de cacao o masa de cacao, es un producto sólido que se obtiene a partir de la molienda de las semillas de cacao (*Theobroma cacao*) después de haber sido sometidas a la extracción de la manteca de cacao. Es un componente esencial en la producción de chocolate y otros productos relacionados con el cacao ya que, esta pasta resultante es un sólido denso con un alto contenido de sólidos de cacao y un sabor concentrado a cacao (Assestine et al., 2016).

En el contexto de la elaboración del chocolate, la pasta de cacao desempeña un papel crucial. Actúa como la base sólida a partir de la cual se produce el chocolate. A menudo, se combina con otros ingredientes, como azúcar, leche en polvo y emulsionantes, en proporciones específicas para crear diferentes tipos de chocolate, como el chocolate negro, el chocolate con leche o el chocolate blanco (Assestine et al., 2016).

La calidad y el perfil de sabor del chocolate final dependen en gran medida de la calidad de la pasta de cacao utilizada. La pasta de cacao contiene los sabores y aromas naturales característicos del cacao, lo que la convierte en un componente crítico para definir el sabor del chocolate (Assestine et al., 2016).

Además de su función en la producción de chocolate, la pasta de cacao también se utiliza en otras aplicaciones culinarias y de confitería. Por ejemplo, puede emplearse para hacer trufas de chocolate, decoraciones de pastelería y productos de repostería que requieran un sabor intenso a cacao. Finalmente, su contenido concentrado de cacao y sus propiedades de sabor hacen que sea un elemento clave en la creación de productos chocolateros de alta calidad (Assestine et al., 2016).

T. Chocolate

El chocolate, ampliamente conocido por su aroma distintivo y sabor único, representa uno de los alimentos más apreciados a nivel global. Gran parte de las características que definen el sabor del chocolate están estrechamente ligadas a las propiedades intrínsecas de los granos de cacao, particularmente en lo que concierne a su genética y al entorno en el que crecen. No obstante, es importante subrayar que el sabor a chocolate no se encuentra de manera inherente en los granos de cacao, sino que se desarrolla a través de un proceso que se inicia con la fermentación de los granos, seguido de su posterior tratamiento postcosecha y tostado (Assestine et al., 2016).

La composición química del chocolate es notoria por su elevada concentración de polifenoles, principalmente flavonoides, que son compuestos químicos con propiedades que contribuyen a la salud cardiovascular. Resulta relevante señalar que los flavonoides del cacao se encuentran en mayor cantidad en el chocolate amargo, lo que implica que el consumo de chocolate con leche o chocolate blanco no brinda los mismos beneficios. Esta sustancia también se halla presente en otros alimentos, como el vino tinto, el té verde y diversas frutas (De Pizzol, 2023).

Es pertinente mencionar que el consumo moderado de chocolate puede desempeñar un papel en la prevención de enfermedades cardíacas, siempre y cuando se acompañe de una ingesta controlada de otros alimentos ricos en calorías, a fin de mantener un peso corporal estable. Cabe destacar que los chocolates poseen una alta densidad calórica y contienen grasas saturadas, cuya relación con el exceso de peso se ha documentado ampliamente (De Pizzol, 2023).

En resumen, el chocolate es un alimento cuyas características de sabor se ven influidas por factores genéticos y ambientales relacionados con el cacao. Su composición química, rica en flavonoides, ofrece beneficios potenciales para la salud cardiovascular, aunque estos beneficios deben ser considerados en el contexto de un equilibrio calórico para evitar implicaciones en el peso corporal (De Pizzol, 2023).

U. Manteca de cacao

La manteca de cacao también se conoce como grasa de cacao, aceite de cacao o aceite de Theobroma (Acofarma Fórmulas Magistrales, S.F.).

La manteca de cacao es la grasa que se extrae a partir de los granos de cacao, fruto del cacaotero (*Theobroma cacao*, L.). Este triglicérido se extrae del grano de cacao mediante un proceso de fermentación, tostado, molienda y prensado; sin embargo, se puede obtener usando disolventes orgánicos o fluidos supercríticos, pero estas formas de extracción no son tan utilizadas (Gea, 2021).

Por otro lado, la manteca de cacao es una grasa sólida a temperatura ambiente, con un punto de fusión entre los 30 – 34 °C. Asimismo, tiene un color amarillo claro y su olor recuerda al chocolate (Gea, 2021).

Esta grasa es muy importante para utilizarse como materia prima en la producción de diversos cosméticos, productos farmacéuticos y productos alimenticios de chocolate. Esta grasa es ampliamente utilizada porque es la responsable de las propiedades de fusión del chocolate, una característica que no sólo define la calidad y palatabilidad del chocolate, sino que también influye en cómo debe almacenarse (Gea, 2021).

1. Composición de la manteca de cacao

En su composición se encuentra una fracción insaponificable que representa entre el 0,2 y el 0,6%. Está compuesta por glicolípidos, fosfolípidos y fitoesteroles. El resto de su composición se basa en triglicéridos principalmente de ácido esteárico (34 – 36%), ácido oleico (30 – 40%) y ácido palmítico (24 – 29%) y en menor cantidad ácido linoleico (2,5 – 3,5%). Por tanto, los triglicéridos de la manteca de cacao son sobre todo de ácidos grasos saturados (C16:0 – ácido palmítico; C18:0 – ácido esteárico) y monoinsaturados (C18:1 – ácido oleico) lo que justifica muchas de sus características fisicoquímicas como la solidez a temperatura ambiente (Gea, 2021).

Los ácidos esteárico, oleico, palmítico, linoleico y araquídico son los ácidos grasos principales que se encuentran en la manteca de cacao. Dichos ácidos grasos proporcionan la textura y el sabor característicos de la manteca de cacao. El ácido esteárico y el ácido palmítico son ácidos grasos saturados que proporcionan la solidez y la estructura de la manteca de cacao. El ácido oleico es un ácido graso monoinsaturado que proporciona la suavidad y la fluidez. El ácido linoleico y el ácido araquídico son ácidos grasos poliinsaturados que proporcionan el sabor y el aroma característicos de la manteca de cacao (Codini et al., 2004).

Adicionalmente, son beneficiosos para la salud ya que, los ácidos grasos saturados y monoinsaturados se consideran saludables para el corazón, ya que ayudan a reducir el colesterol LDL "malo" y aumentar el colesterol HDL "bueno". Los ácidos grasos poliinsaturados también son beneficiosos para la salud, ya que son precursores de las prostaglandinas, que desempeñan un papel importante en la función celular (Codini et al., 2004).

La razón por la que estos ácidos grasos están presentes en la manteca de cacao es que se encuentran en los granos de cacao. Los granos de cacao contienen alrededor de un 50% de grasa, que está compuesta por una mezcla de estos ácidos grasos. El perfil de ácidos grasos de la manteca de cacao puede variar en función de la variedad de cacao, el método de cultivo y el proceso de elaboración (Codini et al., 2004)

2. Usos de la manteca de cacao

La manteca de cacao se obtiene a partir del licor del chocolate mediante presión, entre sus beneficios destaca que refuerza la producción de colágeno y elastina en la piel manteniéndola hidratada y flexible, previene estrías, se utiliza como aromaterapia y como hidratante labial (Gea, 2021).

Asimismo, es un ingrediente utilizado en repostería y confitería pues, es una grasa saturada de origen vegetal que ayuda a prevenir enfermedades cardiovasculares y resulta un excelente remedio natural para tratar el estreñimiento; ya que, mejora el funcionamiento de los intestinos (Phamacius, 2022).

3. Proceso de obtención de manteca de cacao

La forma más habitual de extraer la manteca de cacao es el prensado del licor de cacao. También, se puede hacer usando disolventes orgánicos o fluidos supercríticos, pero estas formas de extracción no son tan utilizadas. Adicionalmente, los procesos a los cuales se somete el cacao para la obtención de la manteca son la fermentación, alcalinización en algunos casos, secado, tostado, molienda, prensado y obtención de la manteca (Gea, 2021).

Durante este proceso de obtención de la manteca de cacao hay etapas (como la fermentación, el secado y el prensado) en las que se pueden alcanzar altas temperaturas, lo que afecta negativamente a la cantidad en polifenoles en el producto final. También, para el procesado para uso alimentario, se incluye una etapa de alcalinización (para mejorar algunas características organolépticas como el amargor) que puede afectar al contenido en polifenoles. Con esto quiero remarcar que el contenido en este tipo de antioxidantes en la manteca de cacao será limitado y como veremos a continuación, la manteca se caracteriza por tener una composición lipídica, no tanto antioxidante (Gea, 2021).

a. Fermentación

La fermentación es un procedimiento muy importante para reducir notas desagradables como acidez, amargura y astringencia en los granos de cacao. También, es un paso clave en la formación de azúcares reductores y aminoácidos, que son los precursores de la reacción de Maillard durante el tostado. Es por esto por lo que, se lleva a cabo el proceso de alcalinización del cacao, el cual ofrece ventajas en colorantes y

aromatizantes no presentes en el otro método. La alcalinización brinda un sabor más profundo e intenso, pues los tintos son posibles mientras ofrecen un sabor limpio (Assestine et al., 2016).

1) *Saccharomyces Cerevisiae*

Entre todos los microorganismos más utilizados para realizar fermentaciones, se encuentran las levaduras de la especie *Saccharomyces cerevisiae*, las cuales son las protagonistas, influyendo significativamente en las características organolépticas del producto final. La cepa de levadura involucrada en la fermentación y su actividad metabólica específica contribuyen de manera importante en el aroma, sabor y color del cacao. Adicionalmente, este tipo de levadura tiene tolerancia a bajos niveles de pH como con los que cuenta la pulpa de esta fruta (Zumárraga y Barbero, 2017).

Adicionalmente, esta levadura produce alcoholes superiores y acetyl-CoA para formar ésteres de acetato, compuestos que producen notas florales y afrutadas. Sin embargo, aún existen controversias en los informes científicos porque algunos mencionan que no existen diferencias significativas en las características sensoriales del producto final. Sin embargo, se recomienda el uso de levaduras como cultivos iniciadores para la fermentación del grano de cacao para homogeneizar atributos sensoriales como notas y sabores en el chocolate (Zumárraga y Barbero, 2017).

La *Saccharomyces cerevisiae* es conocida por su capacidad para fermentar rápidamente los azúcares y producir dióxido de carbono y alcohol. En muchos contextos, como la producción de cerveza y vino, la fermentación primaria puede completarse en unos pocos días, pero la duración total del proceso puede variar (Zumárraga y Barbero, 2017).

2) *Cándida Rugosa*

Es una levadura que puede participar en procesos fermentativos en general, como la producción de enzimas que descomponen los lípidos, su papel específico en la fermentación del cacao no está bien documentado (Assestine et al., 2016).

La fermentación del cacao suele ser llevada a cabo por una combinación de levaduras y bacterias, y las levaduras comúnmente asociadas incluyen especies de *Saccharomyces*. Además, la fermentación del cacao es un proceso complejo que involucra una comunidad microbiana diversa, por lo que la presencia y contribución de diferentes especies pueden variar según las condiciones específicas de fermentación (Assestine et al., 2016).

b. Alcalinización

La alcalinización del cacao es un proceso de valor agregado en el procesamiento del cacao para producir una masa o polvo de cacao alcalinizado. Implica el tratamiento de semillas de cacao con una solución alcalina

de calidad alimentaria para elevar el pH, produciendo colores más oscuros y sabores más fuertes. La técnica de alcalinización fue desarrollada por Van Houten en el siglo XIX en Holanda, de ahí el nombre de proceso “Dutching”. Se trataba de tratar las semillas de cacao con álcali-potasa para mejorar el sabor y el color. Los polvos de cacao alcalinizados todavía se producen hoy en día y se prefieren para muchas aplicaciones de alimentos y bebidas (Kamphuis, 2017).

1) Agentes alcalinizantes

Existen múltiples agentes alcalinizantes que se pueden utilizar en el cacao, incluyendo hidróxido de potasio, carbonato de potasio, hidróxido de sodio, carbonato de sodio, bicarbonato de sodio, bicarbonato de amonio, hidróxido de amonio o mezclas de los mismos, Por ejemplo. La FDA tiene normas estrictas que regulan tanto los agentes alcalinizantes aprobados como los niveles máximos de utilización de los agentes alcalinizantes o combinaciones de los mismos (Trout, 2008).

a) Bicarbonato de sodio

El bicarbonato de sodio es una sal que se descompone para formar sodio y bicarbonato en el agua. Esto hace que una solución sea alcalina, lo que significa que es capaz de neutralizar el ácido (WebMD, 2022).

La capacidad del bicarbonato de sodio para neutralizar el ácido ayuda a tratar afecciones relacionadas con una alta acidez en los fluidos corporales, como la indigestión, que es causada por un exceso de ácido en el estómago (WebMD, 2022).

Las personas comúnmente usan bicarbonato de sodio para la indigestión. También se usa para las úlceras estomacales, el rendimiento atlético, el daño renal, la placa dental, la decoloración de los dientes y muchas otras afecciones, pero no existe evidencia científica sólida que respalde muchos de estos usos (WebMD, 2022).

c. Secado del grano

El secado es una etapa del beneficio del cacao en la que se elimina el exceso de humedad de los granos por calentamiento y se completa la formación del aroma y sabor a chocolate. Al finalizar la fermentación del cacao el grano queda con un contenido de humedad de aproximadamente 60%, que debe ser reducido hasta un valor próximo a 8% para evitar el desarrollo de mohos que deterioran la calidad (Rohan, 1964) y además para facilitar el almacenamiento, transporte, manejo y comercialización del cacao (Assestine et al., 2016).

Es recomendable reducir la humedad hasta valores del 6 a 7%, máximo 8% (COVENIN, 1995a), ya que si se reduce demasiado la cáscara se vuelve muy quebradiza, en caso contrario existe el riesgo del crecimiento de hongos al almacenar el grano (Assestine et al., 2016).

Durante el secado continúa la fase oxidativa de la fermentación, por lo que juega un papel importante en la disminución de la astringencia, amargor y acidez del grano, así como en el desarrollo del color marrón a partir de los compuestos fenólicos, lo que ocurre solamente en esta etapa (Assestine et al., 2016).

d. Tueste del grano

Luego de la alcalinización del cacao, se debe de realizar el tostado del grano. El cual, dependiendo del sistema de tueste y el contenido de humedad de la mezcla alcalina del grano, es posible que se requiera un poco de secado antes de ingresar a la tostadora. El tostado completará el proceso de secado mientras realza el sabor del chocolate. El tiempo y la temperatura del tueste afectará el color final y el sabor además del tiempo de reacción alcalina. Finalmente, luego de que se realicen la reacción alcalina y el tostado, las puntas se muelen y prensan para poder obtener licor de chocolate tardío y, por ende, la manteca de cacao (Assestine et al., 2016).

e. Molienda

Una vez tostado y atemperado el grano de cacao se procede a retirar la cascarilla del haba, este proceso es muy delicado pues la cascarilla es un elemento no deseado por su amargor y astringencia por lo que tradicionalmente se hacía a mano y como ilustramos en la fotografía de la derecha aun se sigue haciendo para chocolates de la mas alta calidad y finura , pero con la evolución de la tecnología se han desarrollado maquinas muy fiables llamadas aventadoras capaces de resolver el proceso brillantemente, es decir con menos del 1,5% de cascarilla en el cacao resultante (Food, 2021).

Al primer paso para moler el grano de cacao se le llama “Molienda gruesa”, la cual regularmente se realiza en molinos de piedras. Sin embargo, debido a su humedad y alto contenido en grasa (más de un 55%) debe hacerse en varias fases antes prensar y extraer la manteca. Tradicionalmente se hacía con molinos de piedra que evolucionaron a discos o púas y posteriormente a cuchillas, la idea es relativamente simple las cuchillas impactan a gran velocidad sobre el grano y se hacen pasar por un tamiz repitiendo el proceso hasta obtener el tamaño deseado. Todo esto en unas condiciones de temperatura y humedad óptimas para respetar la integridad química del cacao y evitar reacciones no deseadas (Food, 2021).

Se trata de moler en segunda y tercera instancia los granos de cacao ya partidos hasta obtener un polvo fino de unas 75 micras, proceso que tiene dos peligros debido al aumento de temperatura; la contaminación metálica y el tueste no deseado, para ello se utilizan en la segunda molienda molinos de rodillos y para la tercera refinadores o molinos de bolas. Con este proceso se obtiene la pasta o licor de cacao (Food, 2021).

f. Prensado del cacao

El prensado es el proceso donde la pasta de cacao es desengrasada utilizando prensas horizontales, las cuales contienen cámaras que son llenadas por bombeo de pasta de cacao. Así, la pasta finamente molida, a una temperatura de 90 a 100 grados centígrados, se somete a presiones de 900 kg/cm a través de émbolos de acero. El resultado de este proceso es la manteca de cacao y la torta de cacao (Infocafes, 2017).

1) Condiciones de almacenamiento de manteca de cacao

La manteca de cacao es un producto delicado que requiere condiciones de almacenamiento específicas para preservar su calidad y propiedades (López y López, 2020). Estas condiciones incluyen:

- i. Temperatura y humedad: La manteca de cacao debe almacenarse a una temperatura constante y controlada entre 13°C y 21°C (55°F a 69°F). Las fluctuaciones de temperatura pueden causar condensación y formación de cristales en la superficie. Por otro lado, la manteca de cacao puede absorber fácilmente la humedad, lo que puede provocar la formación de grumos y cambios en su textura. Se recomienda mantenerla en un ambiente seco con una humedad relativa baja (López y López, 2020).
- ii. Luz: La manteca de cacao es sensible a la luz ultravioleta, que puede degradarla. Por lo tanto, se debe almacenarla en un lugar oscuro o en envases opacos la protegerá de la luz directa (López y López, 2020).
- iii. Sellado: Almacenar la manteca de cacao en envases herméticos o bolsas con cierre hermético ayudará a prevenir la absorción de olores y sabores no deseados, así como a evitar la contaminación cruzada con otros alimentos; ya que, la manteca de cacao puede absorber fácilmente los olores de su entorno por lo que se recomienda mantenerla alejada de productos con olores fuertes (López y López, 2020).
- iv. Ventilación: El área de almacenamiento debe estar bien ventilada para prevenir la acumulación de humedad y el crecimiento de moho (López y López, 2020).

Siguiendo estas condiciones, la manteca de cacao se mantendrá en óptimas condiciones durante un período prolongado y estará lista para su uso en diversas aplicaciones. Si la manteca de cacao se almacena en condiciones adecuadas, puede durar hasta 5 años (López y López, 2020).

2) Principales grupos funcionales de la manteca de cacao

Los grupos funcionales principales que se encuentran en la manteca de cacao desempeñan un papel fundamental en las propiedades físicas, químicas y sensoriales, entre estos se encuentran (López y López, 2020):

- i. Ácidos grasos: Estos son compuestos orgánicos que incluyen una cadena de carbono con un grupo carboxilo (-COOH) en uno de sus extremos. En la manteca de cacao, predominan los ácidos grasos saturados, que carecen de enlaces dobles entre los átomos de carbono en la cadena y son los responsables de su textura firme y estable (López y López, 2020).
- ii. Alcoholes: Los alcoholes en la manteca de cacao son compuestos orgánicos que contienen un grupo hidroxilo (-OH) en su estructura molecular. Principalmente son alcoholes grasos con cadenas de carbono largas, contribuyendo a la suavidad y sensación sedosa de la manteca de cacao (López y López, 2020).
- iii. Ésteres: Los ésteres son compuestos orgánicos que constan de un grupo carbonilo (C=O) y un grupo hidroxilo (-OH) unidos en la misma molécula. En la manteca de cacao, se forman ésteres a través de la reacción de ácidos grasos con alcoholes. Estos ésteres son responsables del aroma y sabor característicos de la manteca de cacao (López y López, 2020).
- iv. Fenoles: Los fenoles son compuestos orgánicos que incorporan un grupo fenilo (C₆H₅) en su estructura molecular. Los fenoles presentes en la manteca de cacao son los responsables de su color marrón distintivo (López y López, 2020).

V. Aplicaciones industriales

La manteca de cacao es un recurso natural ampliamente utilizado en diversas industrias debido a sus propiedades versátiles y beneficiosas. A continuación, se explorarán las múltiples aplicaciones de la manteca de cacao en diferentes sectores industriales, incluyendo la farmacéutica, cosmética, perfumería, alimentaria y como repelente de insectos (Florapower GmbH & Co. KG, 2020).

1. Industria médica y farmacéutica

La manteca de cacao desempeña un papel importante en la industria farmacéutica y médica. Se utiliza en la fabricación de pastillas y apósitos adhesivos, conocidos como "curitas" o "banditas", debido a su capacidad para actuar como aglutinante y adhesivo. Aunque su uso en supositorios y geles vaginales es limitado debido a ciertas

limitaciones, como su comportamiento de fusión variable, su breve vida útil y su capacidad limitada para absorber agua, aún se encuentra ocasionalmente en bases de ungüentos y otros productos medicinales tópicos (Florapower GmbH & Co. KG, 2020).

a) Características de la manteca de cacao en la industria farmacéutica.

En la industria farmacéutica, la manteca de cacao debe cumplir con rigurosos estándares de calidad para garantizar su idoneidad y seguridad en la fabricación de productos medicinales (Florapower GmbH & Co. KG, 2020).

Por lo tanto, la manteca de cacao debe ser pura y libre de contaminantes, incluidos residuos de pesticidas, metales pesados, microorganismos patógenos y otros compuestos indeseables. Asimismo, debe cumplir con los requisitos establecidos para la composición de ácidos grasos y otros componentes naturales presentes en la manteca de cacao, como el ácido esteárico, el ácido oleico y el ácido palmítico (Florapower GmbH & Co. KG, 2020).

Se espera que la manteca de cacao utilizada en la industria farmacéutica cumpla con los estándares de grado farmacéutico, lo que garantiza su pureza y seguridad para su uso en medicamentos. Por otro lado, debe demostrar estabilidad química y física adecuada durante el almacenamiento y la manipulación, para garantizar la eficacia y la seguridad de los productos farmacéuticos que la contienen. Es indispensable que la manteca se someta a pruebas microbiológicas exhaustivas para verificar la ausencia de microorganismos patógenos y garantizar que cumpla con los estándares de pureza microbiológica requeridos para su uso en productos farmacéuticos (Florapower GmbH & Co. KG, 2020).

La manteca de cacao debe estar libre de alérgenos comunes, como gluten, nueces y otros ingredientes que puedan causar reacciones alérgicas en los pacientes. Es importante que esté acompañada de documentación completa que detalle su origen, procesamiento, pruebas de calidad y cumplimiento de los estándares farmacéuticos aplicables, así como un sistema de trazabilidad que permita rastrear su origen hasta su uso en productos farmacéuticos específicos. Finalmente, debe cumplir con las regulaciones y normativas locales e internacionales aplicables a la fabricación de productos farmacéuticos, incluidas las Buenas Prácticas de Manufactura (GMP, por sus siglas en inglés) (Florapower GmbH & Co. KG, 2020).

2. Industria cosmética

En el ámbito cosmético, la manteca de cacao es un ingrediente popular en una variedad de productos para el cuidado de la piel y el cuerpo. Su característica más destacada es su capacidad para fundirse a la temperatura corporal, lo que la convierte en un componente ideal en bálsamos labiales y productos para el cuidado de la piel. Es especialmente beneficiosa para pieles secas y agrietadas. La manteca de cacao se utiliza en lociones,

cremas corporales, productos para el cuidado de los labios y bálsamos debido a sus propiedades hidratantes y suavizantes. Además, se encuentra en cremas antiarrugas, ya que puede ayudar a reducir la apariencia de arrugas, especialmente alrededor de los ojos y la boca. También se utiliza para prevenir o reducir las estrías en la piel. En la fabricación de jabones, la manteca de cacao contribuye a producir jabones sólidos, suaves y de alta calidad (Florapower GmbH & Co. KG, 2020).

3. Industria de la perfumería

En la perfumería, la manteca de cacao se emplea en el proceso de enfleurage, donde actúa como una capa de grasa que absorbe las fragancias de las flores. Estas fragancias se extraen posteriormente con alcohol y se utilizan en la creación de perfumes (Florapower GmbH & Co. KG, 2020).

4. Industria alimentaria

En la industria alimentaria, la manteca de cacao encuentra su lugar en la fabricación de productos como turrone y chocolate blanco. También se añade al chocolate con leche y al chocolate para fundir. Además, se combina con masa de cacao para crear cobertura, que se utiliza como recubrimiento para productos horneados y pralinés, aportando un sabor y textura distintivos (Florapower GmbH & Co. KG, 2020).

i. Características de la manteca de cacao en la industria alimentaria.

En la industria alimentaria, la manteca de cacao se utiliza en una variedad de productos debido a sus propiedades únicas (Florapower GmbH & Co. KG, 2020).

La manteca de cacao debe ser pura y libre de impurezas, incluidos residuos de pesticidas, metales pesados y otros contaminantes, para garantizar su seguridad y calidad alimentaria. También, debe cumplir con los estándares establecidos para la composición de ácidos grasos y otros componentes naturales presentes en la manteca de cacao, lo que garantiza su autenticidad y calidad (Florapower GmbH & Co. KG, 2020).

Se espera que la manteca de cacao utilizada en la industria alimentaria cumpla con los estándares de grado alimenticio, lo que garantiza su seguridad para el consumo humano y su idoneidad para su uso en productos alimenticios. Por otro lado, debe ser estable tanto física como químicamente para garantizar su durabilidad y calidad durante el almacenamiento y la manipulación en la producción de alimentos (Florapower GmbH & Co. KG, 2020).

Es importante que tenga un sabor y aroma característicos de la manteca de cacao, lo que contribuye al perfil sensorial de los productos alimenticios en los que se utiliza, debe tener un color característico que varía desde

un tono beige claro hasta un amarillo pálido, dependiendo de factores como el procesamiento y el almacenamiento, lo que indica su calidad y frescura (Florapower GmbH & Co. KG, 2020).

Adicionalmente, debe someterse a pruebas microbiológicas para verificar la ausencia de microorganismos patógenos y garantizar su seguridad microbiológica para su uso en alimentos. Es indispensable que esté libre de alérgenos conocidos y otros ingredientes que puedan causar reacciones alérgicas en los consumidores. Finalmente, debe cumplir con las regulaciones y normativas locales e internacionales aplicables a la fabricación y el etiquetado de alimentos, incluidos los estándares de etiquetado de alérgenos y la declaración de ingredientes (Florapower GmbH & Co. KG, 2020).

5. Repelente de insectos

Las pruebas han demostrado que la manteca de cacao es un repelente de insectos eficaz. Su aplicación en la piel puede ayudar a proteger contra las picaduras de insectos (Florapower GmbH & Co. KG, 2020).

La manteca de cacao es un recurso versátil y valioso con una amplia gama de aplicaciones en diversas industrias, destacando su uso en la fabricación de productos farmacéuticos, cosméticos, perfumes, alimentos y como un repelente natural de insectos. Su versatilidad y propiedades beneficiosas la convierten en un ingrediente valioso en la producción de una variedad de productos de alta calidad en múltiples sectores industriales (Florapower GmbH & Co. KG, 2020).

W. Desechos generados en la producción de manteca de cacao

En la producción de manteca de cacao, se generan varios residuos que, hasta hace poco, se consideraban subproductos sin un uso específico (Sánchez, García y García, 2019). Estos residuos incluyen:

- i. Cáscara de cacao: La cáscara es la capa exterior del fruto del cacao y, aunque carece de contenido de grasa significativo, es rica en fibra. Tradicionalmente, se ha utilizado como alimento para animales o en la producción de abono. Sin embargo, entre sus aplicaciones potenciales se encuentra que puede ser convertida en recursos como etanol, biogás o energía eléctrica a través de procesos de fermentación y generación de energía. Esto contribuiría a la producción de energía sostenible (Sánchez, García y García, 2019).
- ii. Casquillo de cacao: El casquillo es la capa interna del fruto del cacao y contiene teobromina, un alcaloide con propiedades estimulantes. Además de su potencial como alimento para animales y abono, se ha explorado su aplicación en productos alimenticios y cosméticos debido a sus propiedades beneficiosas. Tiene el potencial

de ser utilizado en la producción de biofertilizantes o bioplásticos, lo que impulsaría la sostenibilidad en la agricultura y la reducción de plásticos convencionales (Sánchez, García y García, 2019).

- iii. Mucílago: El mucílago es una sustancia viscosa que se encuentra en el interior del fruto del cacao y es rico en fibra. Ha sido utilizado como alimento para animales o en la producción de abono. Justo como el casquillo, puede ser transformado en biocombustibles o bioplásticos, lo que representa una opción ecológica para la producción de combustibles y materiales plásticos (Sánchez, García y García, 2019).
- iv. Suero de cacao: El suero de cacao es un líquido que se obtiene durante el procesamiento del cacao. Contiene fibra y proteínas, y su aplicación tradicional ha sido como alimento para animales o en la industria del compostaje. Puede ser empleado en la obtención de proteínas utilizadas en la industria alimentaria o cosmética, lo que podría abrir nuevas oportunidades en la formulación de productos (Sánchez, García y García, 2019).

Estos residuos representan una parte significativa, aproximadamente el 60%, del peso total del fruto del cacao. Históricamente, se han destinado a métodos de eliminación convencionales o se han utilizado en la producción de compost. Sin embargo, en los últimos años, se ha llevado a cabo una investigación exhaustiva para identificar nuevas oportunidades de valorización de estos residuos (Sánchez, García y García, 2019).

La valorización de estos residuos en la producción de cacao podría tener un doble impacto positivo al reducir el desperdicio de recursos naturales y promover la sostenibilidad en diversas industrias. Además, podría crear nuevas oportunidades económicas al aprovechar estos subproductos anteriormente desaprovechados. Este enfoque refleja una creciente conciencia de la importancia de la economía circular y la búsqueda de soluciones sostenibles en la producción de alimentos y productos relacionados con el cacao (Sánchez, García y García, 2019).

X. Punto de fusión de la manteca de cacao

El punto de fusión de la manteca de cacao es un parámetro importante que indica la temperatura a la cual la manteca cambia de estado sólido a líquido. Este punto de fusión varía según diversos factores, como el grado de refinamiento y la composición de ácidos grasos presentes en la manteca. En general, el punto de fusión de la manteca de cacao suele estar en el rango de 30 a 40°C. Sin embargo, este valor puede variar ligeramente dependiendo de las condiciones de almacenamiento y procesamiento del producto. Es importante controlar y mantener el punto de fusión dentro de estos rangos para garantizar la calidad y las propiedades deseables de la manteca de cacao en aplicaciones cosméticas y alimenticias (Codini et al., 2004).

Un punto de fusión más bajo en la manteca de cacao puede ser beneficioso debido a que, la manteca de cacao se vuelve más suave y fácil de aplicar, lo que facilita su uso en productos cosméticos como cremas, lociones y bálsamos labiales. Por otro lado, contribuye a una mayor estabilidad del producto final, especialmente en condiciones de almacenamiento y transporte. Esto ayuda a evitar la formación de cristales no deseados y a mantener la consistencia y la calidad del producto a lo largo del tiempo. Por último, una manteca de cacao con un punto de fusión más bajo puede tener una gama más amplia de aplicaciones, ya que puede utilizarse en una variedad de productos que requieren una textura suave y una fácil aplicación, como chocolates, helados, productos de panadería y productos de cuidado personal (Codini et al., 2004).

V. ANTECEDENTES

El cacao, con su nombre científico *Theobroma cacao*, no solo es un emblema de sabor en Guatemala, sino también una fuente invaluable de recursos económicos y culturales. El país destaca como uno de los productores de cacao de alta calidad en el mundo, con un sector que involucra a miles de agricultores y comunidades rurales. Sin embargo, detrás de la dulzura del chocolate se esconde un proceso intrincado y crítico: la obtención de aceite de *Theobroma* a partir del grano de cacao (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2014).

La industria del cacao en Guatemala es una parte fundamental de su historia y economía, pero se enfrenta a un desafío persistente en cuanto a la extracción eficiente y la calidad de la manteca de cacao. A pesar de la abundancia de cacao producido, la falta de investigaciones comparativas sólidas ha dejado preguntas sin respuesta sobre cuál es el método más efectivo para obtener manteca de cacao en términos de rendimiento, calidad y sostenibilidad.

Adicionalmente a la manteca de cacao, existe un sinfín de aceites con propiedades similares al aceite de *Theobroma*, tal como lo son el aceite de coco que se utiliza en productos de cuidado de la piel y cosméticos debido a sus propiedades hidratantes y suavizantes, el aceite de karité que es conocido por sus propiedades hidratantes y es comúnmente utilizado en cremas hidratantes, bálsamos labiales y productos para el cabello y el aceite de almendras dulces el cual es suave y ligero, lo que lo hace adecuado para masajes y cuidado de la piel. Se utiliza en productos para el cuidado de la piel y masajes (Palma, 2018).

Una de las marcas más reconocidas de productos cosméticos a base de manteca de cacao es Palmer's Cocoa Butter Formula la cual, es una marca que ha estado en el mercado durante más de 175 años, en los cuales se ha especializado en el uso de ingredientes naturales, principalmente manteca de cacao, para la formulación de sus productos de cuidado de la piel (Palmer's, 2023).

La manteca de cacao es conocida por sus propiedades hidratantes y suavizantes para la piel, lo que la convierte en un ingrediente clave en productos destinados a tratar la piel seca y mejorar la apariencia de cicatrices y estrías. Palmer's Cocoa Butter Formula ofrece una amplia gama de productos para el cuidado de la piel que incluyen: lociones corporales, aceites para la piel, productos para el cuidado del embarazo, productos para el cuidado del rostro y productos para el cuidado del cabello (Palmer's, 2023)..

En un contexto más amplio, el cacao es un recurso valioso en la industria alimentaria y cosmética a nivel global. Guatemala tiene la oportunidad de liderar en la producción de manteca de cacao de alta calidad, lo que podría tener un impacto significativo en la economía y la reputación del país en el mercado internacional.

VI. METODOLOGÍA

A. Elaboración de manteca de cacao con grano alcalino

1. Fermentación de los granos de cacao

Para el proceso de fermentación se requiere del uso de levadura *S. cerevisiae*, que favorece el consumo de azúcares y producción de etanol. La primera es una fermentación anaeróbica (Rosero, 2021) y alcohólica que se desarrolla aproximadamente en 48 horas a un pH de 4,5 por lo que se favorece el crecimiento de levaduras y el azúcar se convierte en etanol. Para esto se requiere de cajas de plástico cubiertas de hojas de banano, se da la hidrólisis inicial de la sacarosa y así aumenta el contenido de glucosa y fructosa, donde esta última está en una mayor proporción que la glucosa (Rosero, 2021). Para la fermentación anaeróbica se necesita el 1% del peso de cacao, aproximadamente 20g de *Saccharomyces cerevisiae* para 2000 g de cacao. Para la activación de la levadura se deben adicionar 100 ml de agua destilada a 40°C y se debe agitar constantemente. Una vez diluido, se adiciona en la masa fresca de cacao (Rosero, 2021).

La segunda fase se da de la hora 48 a la 96, en cestas plásticas y es una fermentación aeróbica con predominio de bacterias acéticas, entonces el alcohol producido en la etapa 1, empieza a ser transformado a ácido acético y este penetra las semillas y baja el pH interno a 4,5 y el de la pulpa sube a 6, además la temperatura aumenta entre 48 a 51°C (Rosero, 2021). Para esta etapa se deben de rotar los granos de cacao cada 24 horas para que estos se puedan airear, la rotación o el volteado se hace trasegando las almendras de cacao de un recipiente a otro, también con una pala pequeña se remueve la masa y se vuelve cubrir de nuevo hasta completar la fermentación.

La tercera fase es oxidativa, se da a partir de la hora 96, acá ya no hay más producción de ácido acético ya que se ha consumido el alcohol presente y por el contrario el que estaba al interior del grano empieza a salir por lo que el pH empieza a aumentar. Esta etapa es importante porque se hay disminución de alcaloides que reduce el sabor amargo del grano y se forman las quinonas que son las que le dan un color rojizo marrón al grano que es el indicador de calidad e indicador que la fermentación ha terminado. Por último, el proceso de fermentación dura de 7 a 8 días hasta que los granos muestren una apariencia similar a la de la figura 40 del apartado de anexos (Rosero, 2021).

2. Alcalinización del cacao

Se utilizarán granos de cacao fermentados, los cuales serán pesados (1 kg). La solución alcalina seleccionada será bicarbonato de sodio debido a su practicidad y propiedades físicas. Por lo tanto, se alcalinizará el cacao por medio de remojar los granos de cacao en 700 ml de solución acuosa de bicarbonato de sodio al

1:10 durante 60 min, luego se retirará la solución alcalina haciéndola pasar por un tamiz (Huang y Barringer, 2010).

3. Secado del grano

Luego, para el secado del grano se debe utilizar un secador de bandejas. Por lo tanto, se debe colocar el cacao fermentado y alcalinizado en bandejas forradas de papel aluminio para evitar su contaminación. Después, se deben dejar secado los granos a 80°C durante 3 horas antes del tostado, haciendo rotaciones cada 20 minutos para asegurar que se seque completamente (Huang y Barringer, 2010).

a. Operación unitaria de secado

Para llevar a cabo este proceso de secado de los granos de cacao a nivel industrial, se debe realizar en un secador rotatorio. Esta es una fase esencial en la elaboración de manteca de cacao, que sigue a la fermentación o alcalinización en algunos casos. Este dispositivo industrial se emplea para eliminar la humedad de manera eficiente de grandes cantidades de material. Funciona mediante la exposición de los granos de cacao fermentados a un flujo de aire caliente dentro de un cilindro giratorio equipado con aletas internas. Este diseño asegura una distribución uniforme del calor y del aire, lo que resulta en un secado homogéneo de los granos. Durante este proceso, se monitorea de cerca la humedad para garantizar que los granos alcancen el nivel óptimo sin perder sus cualidades sensoriales. Una vez que los granos alcanzan el nivel deseado de humedad, se detiene el secado y se retiran del secador. Estos granos de cacao secos están preparados para su almacenamiento o para las siguientes etapas del proceso de fabricación de manteca (Huang y Barringer, 2010).

4. Tueste del grano de cacao

Después, se deberá de realizar el tostado en una estufa con temperaturas aproximadas a 150°C, durante 30 minutos. Se debe observar cómo se va quemando la cascara para asegurarse que se tueste cada grano. Después, se realiza el descascarillado en el cual se debe retirar toda la cáscara que cubre el grano como tal. Como resultado, se obtiene el interior del grano ya partido o “nib de cacao” (Huang y Barringer, 2010). El descascarillado se realiza de manera manual tal como se observa en la Figura 51 del apartado de anexos.

a. Operación unitaria de tostado

El tostado del grano de cacao en un secador de bandejas es una etapa crucial en la producción de cacao y chocolate. Este proceso tiene como objetivo desarrollar los sabores y aromas naturales del cacao, eliminar la humedad residual y esterilizar el producto. En un secador de bandejas, los granos de cacao se distribuyen sobre múltiples bandejas, donde se aplica calor controlado durante un tiempo específico. Durante el tostado, se producen reacciones químicas que afectan el color, sabor y aroma del cacao, desarrollando compuestos

aromáticos y eliminando sabores no deseados. Es fundamental controlar la temperatura y el tiempo para evitar quemar los granos. Después del tostado, los granos se enfrían rápidamente y se almacenan adecuadamente para preservar su frescura y calidad hasta su procesamiento posterior en la fabricación de chocolate (Huang y Barringer, 2010).

Por otro lado, el descascarillado del grano de cacao en una descascarilladora es esencial en la producción de chocolate. Esta máquina rompe la cáscara del grano, separándola del nib de cacao. Los granos procesados se alimentan a la máquina, donde son sometidos a fuerzas mecánicas para romper la cáscara sin dañar el nib. Luego, se separa la cáscara del nib, generalmente mediante tamices o sistemas de aire. Es crucial controlar la calidad para asegurar que los nibs estén limpios y libres de impurezas. Una vez completado, los nibs se almacenan para su uso en la fabricación de chocolate y otros productos (Huang y Barringer, 2010).

5. Molienda

A continuación, los granos se deberán ingresar a una licuadora tipo “Bullet” con filo para asegurarse de que los nibs se muelan completamente, a una velocidad de 12000 RPM. De esta manera, se obtendrán los nibs de cacao molidos y listos para la obtención de manteca de cacao (Huang y Barringer, 2010).

a. Operación Unitaria de Molienda

La molienda del grano de cacao en un molino de discos es una etapa esencial en la producción de chocolate y de manteca de cacao. En este proceso, los granos de cacao tostados se introducen en un molino de discos, donde dos discos giratorios aplican fuerzas de corte y fricción para triturar los granos y convertirlos en una pasta fina y homogénea. Los discos giran a alta velocidad, lo que permite una molienda eficiente del cacao. Dependiendo de las especificaciones del producto final, se pueden ajustar la distancia entre los discos para controlar el tamaño de partícula de la pasta resultante. Una vez completada la molienda, se obtiene una pasta de cacao líquida, que es la base para la fabricación de chocolate. Este proceso es fundamental para liberar los sabores y aromas del cacao y garantizar una textura suave y sedosa en la manteca final (Huang y Barringer, 2010).

6. Cocción

Para el proceso de cocción se debe añadir 600 a 700 ml de agua al cacao molido debido a que la grasa de la manteca no es soluble en agua; haciendo que su extracción sea más fácil. Esta mezcla debe calentarse en una estufa a fuego medio, revolver periódicamente y esperar a que se evapore la mayor parte del agua posible. Luego, se debe esperar a que se enfríe y utilizar una pipeta pasteur para extraer la mayor parte de la manteca en la parte superior de la mezcla. Adicionalmente, en la Figura 56 se observa más a detalle el proceso de cocción.

7. Prensado

Para el prensado, esta masa se agrega a una tela de manta, para realizar el prensado manual y separar el licor de cacao, que contiene alrededor de un 55% de grasa, y la torta de prensado de cacao, que puede procesarse posteriormente en cacao en polvo. La manteca de cacao luego se filtra y se retira por diferencia de temperatura con el licor del cacao (Arriaga, 2007).

a. Operación unitaria de prensado y filtrado

El filtrado de la pasta de cacao para obtener manteca de cacao utilizando un filtro prensa es una operación esencial en la producción de chocolate. En este proceso, la pasta de cacao, que es una mezcla densa de partículas sólidas y líquidas, se introduce en el filtro prensa. El filtro prensa consta de una serie de placas y marcos que están intercalados con telas filtrantes (Arriaga, 2007).

Cuando se aplica presión al filtro prensa, la pasta de cacao se fuerza a través de las telas filtrantes, mientras que las partículas sólidas más grandes quedan atrapadas y forman una torta sólida. La manteca de cacao líquida, que es la fracción líquida de la pasta de cacao, pasa a través de las telas filtrantes y se recoge en un recipiente adecuado (Arriaga, 2007).

Este proceso de filtrado elimina las partículas sólidas no deseadas de la pasta de cacao, dejando solo la manteca de cacao purificada. La manteca de cacao resultante es un ingrediente valioso en la fabricación de chocolate, ya que aporta suavidad, brillo y textura al producto final (Arriaga, 2007).

8. Filtración de manteca de cacao

Luego, la manteca de cacao se debe derretir y filtrarse utilizando un colador para evitar residuos no deseados y así asegurar su pureza (Arriaga, 2007).

Por último, el aceite de cacao se enfría para convertirse en un sólido de manteca de cacao, que es rico en aceites calientes naturales y es imprescindible para que los artesanos del chocolate hagan una variedad de chocolates. Este proceso de obtención de manteca de cacao se deberá de repetir evitando el proceso de alcalinización con la finalidad de realizar una comparación entre muestras para conocer cuál de las dos muestras tiene un mejor rendimiento (Arriaga, 2007).

B. Elaboración de manteca de cacao con grano no alcalino

1. Fermentación de los granos de cacao

Para el proceso de fermentación se requiere del uso de levadura *S. cerevisiae*, que favorece el consumo de azúcares y producción de etanol. La primera es una fermentación anaeróbica (Rosero, 2021) y alcohólica que se desarrolla aproximadamente en 48 horas a un pH de 4,5 por lo que se favorece el crecimiento de levaduras y el azúcar se convierte en etanol. Para esto se requiere de cajas de plástico cubiertas de hojas de banano, se da la hidrólisis inicial de la sacarosa y así aumenta el contenido de glucosa y fructosa, donde esta última está en una mayor proporción que la glucosa (Rosero, 2021). Para la fermentación anaeróbica se necesita el 1% del peso de cacao, aproximadamente 20g de *Saccharomyces cerevisiae* para 2000 g de cacao. Para la activación de la levadura se deben adicionar 100 ml de agua destilada a 40°C y se debe agitar constantemente. Una vez diluido, se adiciona en la masa fresca de cacao (Rosero, 2021).

La segunda fase se da de la hora 48 a la 96, en cestas plásticas y es una fermentación aeróbica con predominio de bacterias acéticas, entonces el alcohol producido en la etapa 1, empieza a ser transformado a ácido acético y este penetra las semillas y baja el pH interno a 4,5 y el de la pulpa sube a 6, además la temperatura aumenta entre 48 a 51°C (Rosero, 2021). Para esta etapa se deben de rotar los granos de cacao cada 24 horas para que estos se puedan airear, la rotación o el volteado se hace trasegando las almendras de cacao de un recipiente a otro, también con una pala pequeña se remueve la masa y se vuelve cubrir de nuevo hasta completar la fermentación.

La tercera fase es oxidativa, se da a partir de la hora 96, acá ya no hay más producción de ácido acético ya que se ha consumido el alcohol presente y por el contrario el que estaba al interior del grano empieza a salir por lo que el pH empieza a aumentar. Esta etapa es importante porque se hay disminución de alcaloides que reduce el sabor amargo del grano y se forman las quinonas que son las que le dan un color rojizo marrón al grano que es el indicador de calidad e indicador que la fermentación ha terminado. Por último, el proceso de fermentación dura de 7 a 8 días hasta que los granos muestren una apariencia similar a la de la figura 40 del apartado de anexos (Rosero, 2021).

2. Secado del grano

Luego, para el secado del grano se debe utilizar un secador de bandejas. Por lo tanto, se debe colocar el cacao fermentado y alcalinizado en bandejas forradas de papel aluminio para evitar su contaminación. Después, se deben de dejar secado los granos a 80°C durante 3 horas antes del tostado, haciendo rotaciones cada 20 minutos para asegurar que se seque completamente (Huang y Barringer, 2010).

a. Operación unitaria de secado

Para llevar a cabo este proceso de secado de los granos de cacao a nivel industrial, se debe realizar en un secador rotatorio. Esta es una fase esencial en la elaboración de manteca de cacao, que sigue a la fermentación o alcalinización en algunos casos. Este dispositivo industrial se emplea para eliminar la humedad de manera eficiente de grandes cantidades de material. Funciona mediante la exposición de los granos de cacao fermentados a un flujo de aire caliente dentro de un cilindro giratorio equipado con aletas internas. Este diseño asegura una distribución uniforme del calor y del aire, lo que resulta en un secado homogéneo de los granos. Durante este proceso, se monitorea de cerca la humedad para garantizar que los granos alcancen el nivel óptimo sin perder sus cualidades sensoriales. Una vez que los granos alcanzan el nivel deseado de humedad, se detiene el secado y se retiran del secador. Estos granos de cacao secos están preparados para su almacenamiento o para las siguientes etapas del proceso de fabricación de manteca (Huang y Barringer, 2010).

3. Tueste del grano de cacao

Después, se deberá de realizar el tostado en una estufa con temperaturas aproximadas a 150°C, durante 30 minutos. Se debe observar cómo se va quemando la cascara para asegurarse que se tueste cada grano. Después, se realiza el descascarillado en el cual se debe retirar toda la cáscara que cubre el grano como tal. Como resultado, se obtiene el interior del grano ya partido o “nib de cacao” (Huang y Barringer, 2010). El descascarillado se realiza de manera manual tal como se observa en la Figura 51 del apartado de anexos.

a. Operación unitaria de tostado

El tostado del grano de cacao en un secador de bandejas es una etapa crucial en la producción de cacao y chocolate. Este proceso tiene como objetivo desarrollar los sabores y aromas naturales del cacao, eliminar la humedad residual y esterilizar el producto. En un secador de bandejas, los granos de cacao se distribuyen sobre múltiples bandejas, donde se aplica calor controlado durante un tiempo específico. Durante el tostado, se producen reacciones químicas que afectan el color, sabor y aroma del cacao, desarrollando compuestos aromáticos y eliminando sabores no deseados. Es fundamental controlar la temperatura y el tiempo para evitar quemar los granos. Después del tostado, los granos se enfrían rápidamente y se almacenan adecuadamente para preservar su frescura y calidad hasta su procesamiento posterior en la fabricación de chocolate (Huang y Barringer, 2010).

4. Molienda

A continuación, los granos se deberán ingresar a una licuadora tipo “Bullet” con filo para asegurarse de que los nibs se muelan completamente, a una velocidad de 12000 RPM. De esta manera, se obtendrán los nibs de cacao molidos y listos para la obtención de manteca de cacao (Huang y Barringer, 2010).

a. Operación unitaria de molienda

La molienda del grano de cacao en un molino de discos es una etapa esencial en la producción de chocolate y de manteca de cacao. En este proceso, los granos de cacao tostados se introducen en un molino de discos, donde dos discos giratorios aplican fuerzas de corte y fricción para triturar los granos y convertirlos en una pasta fina y homogénea. Los discos giran a alta velocidad, lo que permite una molienda eficiente del cacao. Dependiendo de las especificaciones del producto final, se pueden ajustar la distancia entre los discos para controlar el tamaño de partícula de la pasta resultante. Una vez completada la molienda, se obtiene una pasta de cacao líquida, que es la base para la fabricación de chocolate. Este proceso es fundamental para liberar los sabores y aromas del cacao y garantizar una textura suave y sedosa en la manteca final (Huang y Barringer, 2010).

5. Cocción

Para el proceso de cocción se debe añadir 600 a 700 ml de agua al cacao molido debido a que la grasa de la manteca no es soluble en agua; haciendo que su extracción sea más fácil. Esta mezcla debe calentarse en una estufa a fuego medio, revolver periódicamente y esperar a que se evapore la mayor parte del agua posible. Luego, se debe esperar a que se enfríe y utilizar una pipeta pasteur para extraer la mayor parte de la manteca en la parte superior de la mezcla. Adicionalmente, en la Figura 56 se observa más a detalle el proceso de cocción.

6. Prensado

Para el prensado, esta masa se agrega a una tela de manta, para realizar el prensado manual y separar el licor de cacao, que contiene alrededor de un 50% de grasa, y la torta de prensado de cacao, que puede procesarse posteriormente en cacao en polvo. La manteca de cacao luego se filtra y se retira por diferencia de temperatura con el licor del cacao (Arriaga, 2007).

a. Operación unitaria de prensado y filtrado

El filtrado de la pasta de cacao para obtener manteca de cacao utilizando un filtro prensa es una operación esencial en la producción de chocolate. En este proceso, la pasta de cacao, que es una mezcla densa de partículas

sólidas y líquidas, se introduce en el filtro prensa. El filtro prensa consta de una serie de placas y marcos que están intercalados con telas filtrantes (Arriaga, 2007).

Cuando se aplica presión al filtro prensa, la pasta de cacao se fuerza a través de las telas filtrantes, mientras que las partículas sólidas más grandes quedan atrapadas y forman una torta sólida. La manteca de cacao líquida, que es la fracción líquida de la pasta de cacao, pasa a través de las telas filtrantes y se recoge en un recipiente adecuado (Arriaga, 2007).

Este proceso de filtrado elimina las partículas sólidas no deseadas de la pasta de cacao, dejando sólo la manteca de cacao purificada. La manteca de cacao resultante es un ingrediente valioso en la fabricación de chocolate, ya que aporta suavidad, brillo y textura al producto final (Arriaga, 2007).

7. Filtración de manteca de cacao

Luego, la manteca de cacao se debe derretir y filtrarse utilizando un colador para evitar residuos no deseados y así asegurar su pureza (Arriaga, 2007).

Por último, el aceite de cacao se enfría para convertirse en un sólido de manteca de cacao, que es rico en aceites calientes naturales y es imprescindible para que los artesanos del chocolate hagan una variedad de chocolates. Este proceso de obtención de manteca de cacao se deberá de repetir evitando el proceso de alcalinización con la finalidad de realizar una comparación entre muestras para conocer cuál de las dos muestras tiene un mejor rendimiento (Arriaga, 2007).

C. Desarrollo de metodología de análisis

1. Análisis de acidez o pH

Primero, se debe exprimir la pulpa de las almendras de cacao con sacos de malla de algodón y se coloca en un beaker. Luego, se mide directamente el pH de la pulpa en la superficie plana del electrodo (que se uniformó entre pH 4 y pH 7). Después, se pegan 8.25 g de cacao sin cáscara y se colocan en una french square bottle de 100 ml. Se añade agua destilada en una relación 1:2 (16.5 ml de agua) y se homogeniza con ayuda de un agitador magnético. Finalmente, se mide el pH de la solución utilizando el electrodo (Stevenson, Corven y Villanueva, 1993).

2. Análisis de ácidos grasos

Hacer uso del Cromatógrafo de Gas (GC), marca Agilent 6890 para analizar una muestra de manteca de cacao y dos patrones de algunos de los componentes de éstas, puras o diluidas en éter dietílico. Para la inyección de la muestra, se utilizará una jeringa de 10 microlitros, se inyectarán entre 0.50 microlitros de las muestras puras o sus soluciones en etanol.

Figura 11. Perfil de ácidos grasos de la manteca de cacao.

Table 1: Fatty acid and triglycerides profile of genuine cocoa butter

Types of fatty acids	% of fatty acids
Saturated fatty acids	
Palmitic acid (C16:0)	24.5-33.7
Stearic acid (C18:0)	33.7-40.2
Myristic acid (C14:0)	0-4
Arachidic acid (C20:0)	1
Lauric acid (C12:0)	0-1
Unsaturated fatty acids	
Oleic acid (18:1)	26.3-35
Palmitoleic acid(C16:1)	0-4
Linoleic acid (18:2)	1.7-3
α -Linolenic acid	0-1
others	1.6
Triacylglycerol	
1(3) palmitoyl-3(1) stearoyl-2-oleoylglycerol (POS)	42.2
24.2% 1(3)-distearoyl-2-oleoylglycerol (SOS)	24.2
1,3-dipalmitoyl-2-oleoylglycerol (POP)	21.8

(Gunstone, 2011)

(Naik & Kumar, 2014)

3. Determinación del punto de fusión

Fundir la muestra, agitando hasta alcanzar una temperatura de 90 a 92 °C y luego dejar enfriar la sustancia fundida hasta una temperatura de 8 a 10 °C sobre el punto de fusión esperado (36 °C). Enfriar hasta 5 °C el bulbo del termómetro, secar y, mientras esté aún frío, sumergirlo en la muestra fundida hasta la mitad del bulbo aproximadamente (Anmat, 2015).

Retirar inmediatamente y sostener en posición vertical, hasta que la superficie de la muestra depositada sobre el bulbo solidifique. Introducir en un baño de agua a una temperatura que no exceda los 16 °C durante 5 minutos aproximadamente. Adaptar el termómetro dentro de un tubo de ensayo, por medio de un tapón perforado, de modo que su extremo inferior quede 15 mm por encima del fondo del tubo. Suspender el tubo de ensayo en un baño de agua a una temperatura de 16 °C y elevar la temperatura del baño hasta 30 °C, a una velocidad de 2 °C por minuto, y luego a una velocidad de 1 °C por minuto hasta que la primera gota se desprenda del termómetro (Anmat, 2015).

La temperatura a la cual esto sucede es el punto de fusión. Para cada determinación emplear una porción recién fundida de la muestra. Realizar la determinación por triplicado. Si la máxima diferencia entre las determinaciones es menor de 1 °C, promediar los valores obtenidos. De lo contrario, realizar dos determinaciones adicionales y promediar los cinco (Anmat, 2015).

4. Determinación del valor de saponificación

a. Solución de HCl

Se requiere de una solución estándar de HCl 0.5 N, para la cual se debe preparar una solución estándar de HCl 1N y diluirla exactamente dos veces (Low y Ng, 1987).

b. Solución de KOH

Se debe preparar una solución estándar de hidróxido de potasio etanólico 0,5 N, para la cual se deben pesar 35 g de KOH, disolver en 20 ml de agua, luego enrasar hasta 1000 ml con 95% (v/v) etanol o alcohol absoluto (Low y Ng, 1987).

c. Fenolftaleína

Se utilizará como indicador, para lo cual se debe tomar 1 g de fenolftaleína y enrasar hasta 100 ml con etanol al 95 % (Low y Ng, 1987).

d. Procedimiento

Tomar 1.0 g de manteca de cacao en un matraz Erlenmeyer de 100 ml. Luego, añadir 10 ml de solución etanólica de hidróxido de potasio 0,5 N y mezclar. Después, calentar a 80-85°C en un baño de agua durante 30 min. Enfriar entre 30 y 40 °C en estado líquido, luego titule con solución estándar de HCl 0,5 N (Agregue 2 o 3 gotas de indicador). Finalmente, realice la prueba para un blanco sin utilizar manteca de cacao (Low y Ng, 1987).

Figura 12. Ecuación para encontrar el valor de saponificación.

$$\text{Saponification value (mg/g)} = \frac{28.05^* \times (A - B) \times F}{S}$$

where S = sample weight

A = titration volume of blank (ml)

B = titration volume of sample (ml)

F = Factor of 0.5N HCl standard solution

* Half of molecular weight of KOH

(Low y Ng, 1987)

5. Determinación de ácidos grasos libres

Aproximadamente 2 g de extracto de manteca de cacao se pesan (W) y se disuelven en 20 ml de una mezcla de éter/etanol absoluto previamente caliente (1:1, v/v) (Guehi et al., 2008).

Luego, se debe de neutralizar la solución añadiendo 2 gotas de fenolftaleína. Después, se debe realizar una titulación con una solución de hidróxido de potasio 0.1 N previamente preparada (Guehi et al., 2008). Por último, determinar el contenido de ácidos grasos libres, FFA (% ácido oleico), utilizando la siguiente expresión:

Figura 13. Determinación del contenido de ácidos grasos libres en la manteca de cacao.

$$FFA (\% \text{ oleic acid}) = \frac{(28.2 \times V \times N)}{W}$$

(Guehi et al., 2008)

Donde:

V es el volumen utilizado para titular.

N es la normalidad de la solución de hidróxido de potasio.

W es el peso de la muestra de manteca de cacao utilizada.

(Guehi et al., 2008).

D. Descripción del Diagrama de Flujo de proceso de extracción de manteca de cacao sin alcalización.

El diagrama de flujo presente en la Figura 15 del apartado de resultados, describe el proceso de extracción de manteca de cacao sin alcalización. Comienza con la entrada de cacao y una solución de lavadura agua activada a 37°C, que se agita para fermentar anaeróbicamente el cacao durante 48 horas. Luego, la masa resultante se transfiere a un tanque abierto con agitación para fermentarse aeróbicamente durante 120 horas adicionales. Durante este proceso, se generan pérdidas y residuos líquidos.

Después de la fermentación, el cacao fermentado se pasa a un secador rotatorio, donde se seca durante 2 horas a 80°C. Durante este proceso, se producen pérdidas por calor. A continuación, el cacao seco se tuesta en un secador de bandejas a 150°C durante 45 minutos, también resultando en pérdidas.

Una vez tostado, el cacao pasa por una descascarilladora de cacao, donde se elimina la cáscara seca y se obtienen los nibs de cacao. Estos nibs se muelen en un molino de discos para producir cacao molido. El cacao molido se mezcla con agua a 110°C para obtener licor de cacao.

El licor de cacao se somete a un proceso de prensado y filtrado mediante una prensa hidráulica, lo que resulta en la obtención de manteca de cacao, el producto principal del proceso. Además, se obtiene licor de cacao como subproducto, que puede utilizarse para otras aplicaciones.

E. Descripción del Diagrama de Flujo de proceso de extracción de manteca de cacao sin alcalización.

El diagrama de flujo que describe el proceso de extracción de manteca de cacao con alcalinización se puede apreciar en la Figura 14 del apartado de resultados de este trabajo de graduación. En proceso comienza con la entrada de cacao y una solución de lavadura de agua activada a 37°C, que se agita para fermentar anaeróbicamente el cacao durante 48 horas. Posteriormente, la masa resultante se transfiere a un tanque abierto con agitación para fermentarse aeróbicamente durante 120 horas adicionales, generando pérdidas y residuos líquidos.

Después de la fermentación, los granos de cacao fermentados se alcalinizan con una solución 1:10 de agua y bicarbonato de sodio durante 1 hora hasta que el pH alcanza un valor mayor a 8. Luego, el cacao alcalinizado se seca en un secador rotatorio durante 2 horas a 80°C, resultando en pérdidas por calor.

Posteriormente, el cacao seco se tuesta en un secador de bandejas a 150°C durante 45 minutos, también resultando en pérdidas. Después de la etapa de tostado, el cacao pasa por una descascarilladora de cacao, donde se elimina la cáscara seca y se obtienen los nibs de cacao.

Estos nibs se muelen en un molino de discos para producir cacao molido, que luego se mezcla con agua a 110°C para obtener licor de cacao. El licor de cacao se somete a un proceso de prensado y filtrado mediante una prensa hidráulica, lo que resulta en la obtención de manteca de cacao, el producto principal del proceso. Además, se obtiene licor de cacao como subproducto, que puede utilizarse para otras aplicaciones.

VII. RESULTADOS

Cuadro 1. Comparación de rendimientos entre la manteca de cacao alcalina y la no alcalina.

	%Rendimiento manteca alcalina	%Rendimiento manteca no alcalina
Promedio	46.02%	50.09%
Desviación estándar	0.036704589	0.020649458
Coefficiente de variación	7.976421703	4.122644757
Intervalo superior	49.61%	52.11%
Intervalo inferior	42.42%	48.06%

Cuadro 2. Comparación de costos y tiempo entre la manteca de cacao alcalina y la no alcalina.

Manteca	Costo (Q / Oz)	Tiempo (Horas)
Alcalina	Q 22.42	177.52
No alcalina	Q 22.20	175.52

Figura 14. Diagrama de Flujo de Proceso para la obtención de manteca de cacao con alcalinización.

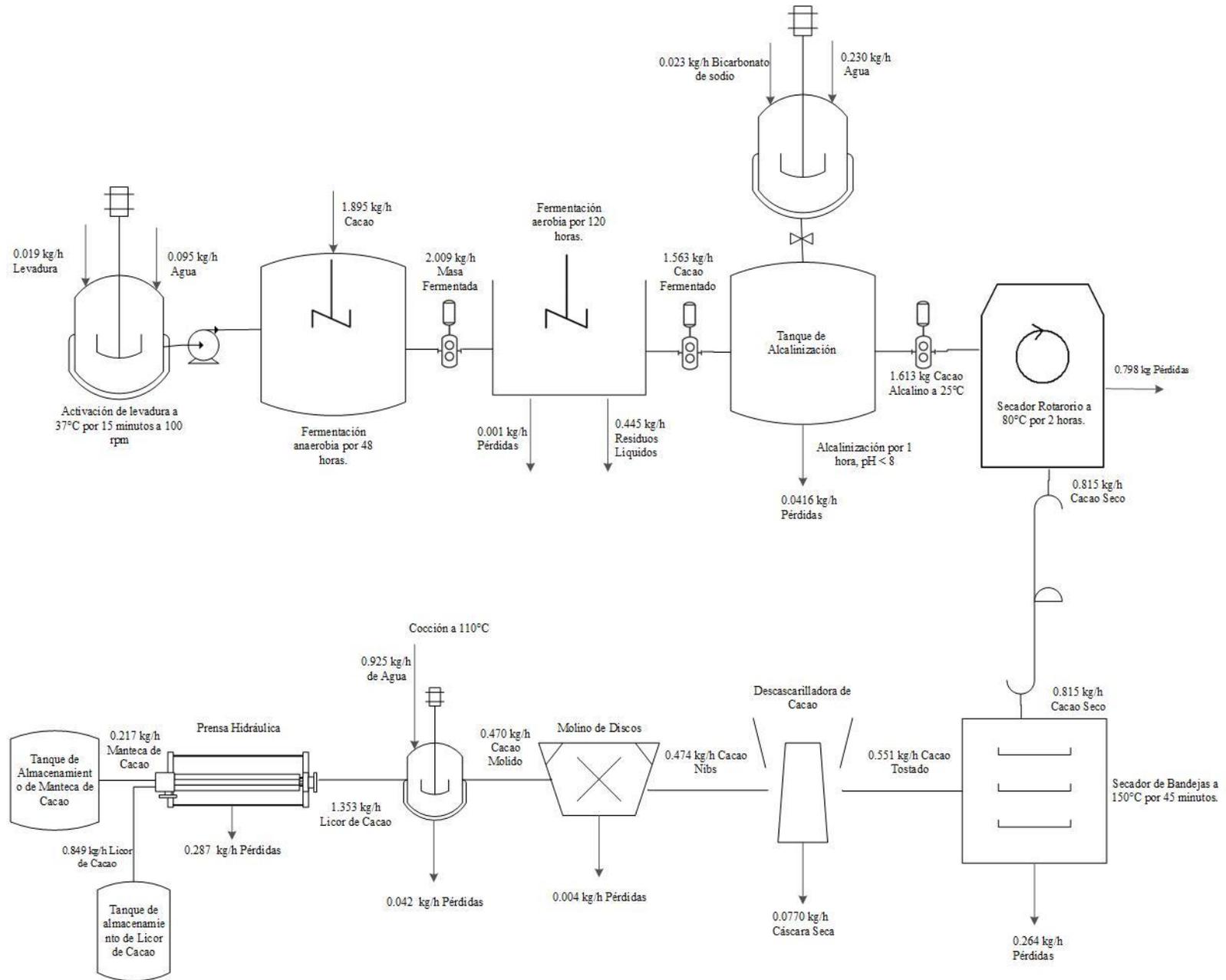
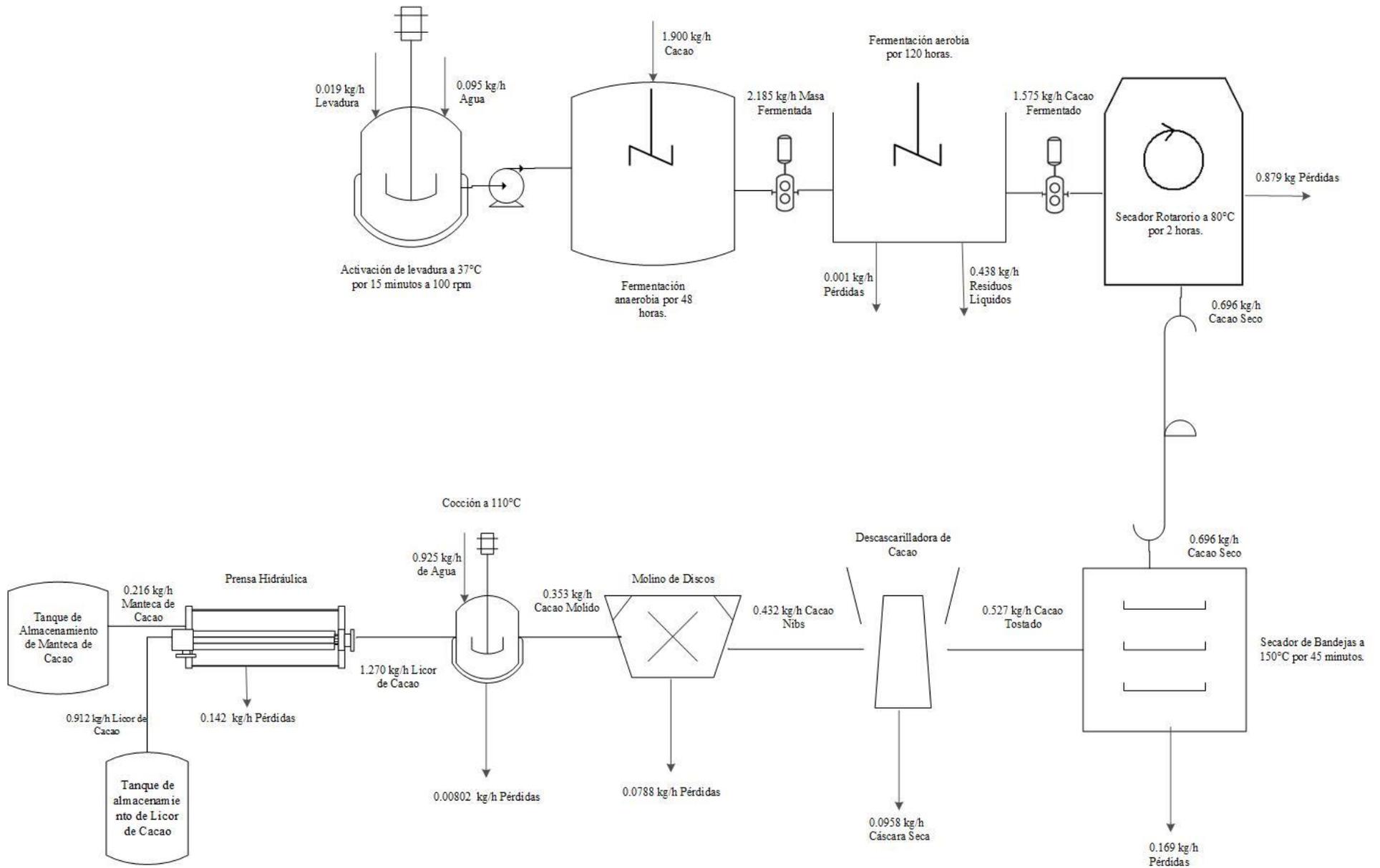
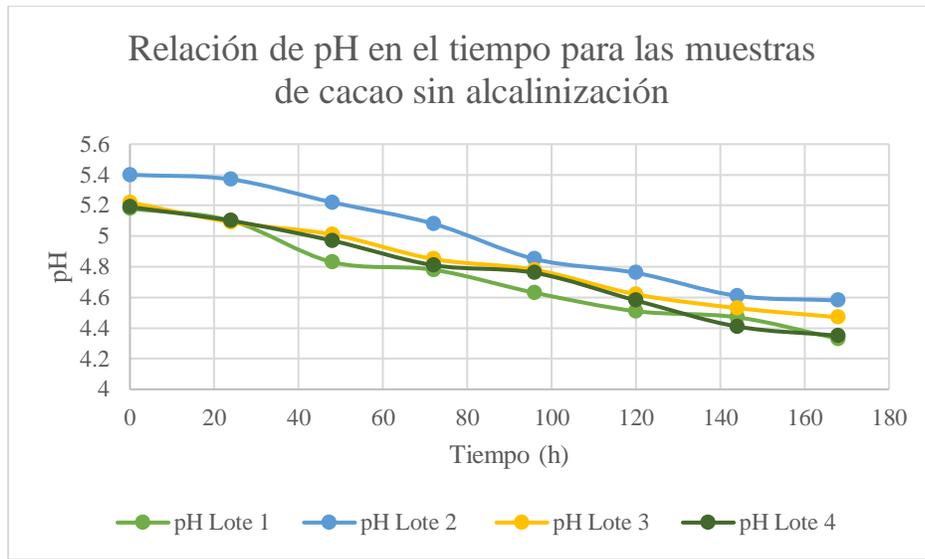


Figura 15. Diagrama de Flujo de Proceso para la obtención de manteca de cacao sin alcalinización.



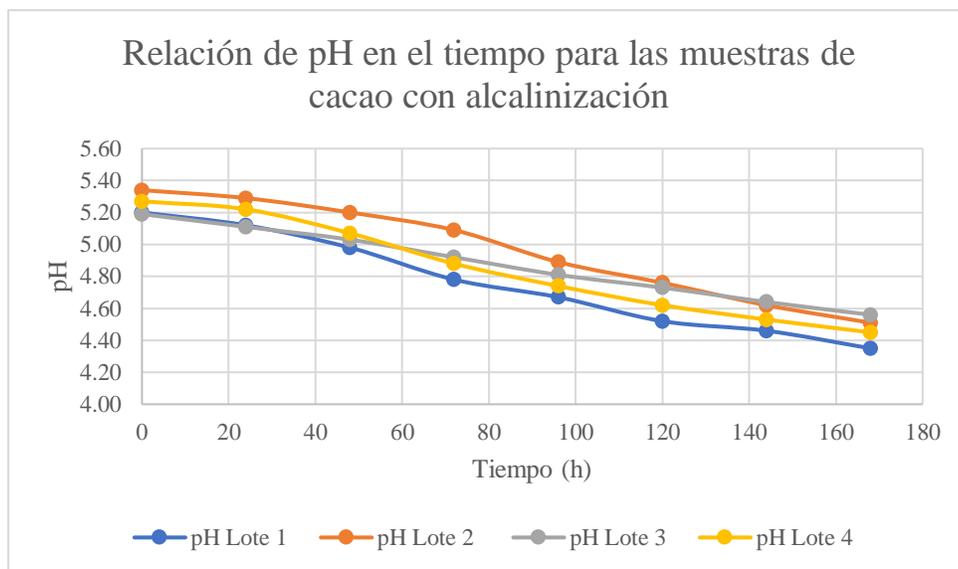
Grafica 1. Comportamiento del pH, a través del tiempo, durante el proceso de fermentación de cacao.



Cuadro 3. Estadística descriptiva de los pH implicados en la fermentación de los granos de cacao que no serán alcalinizados.

	Tiempo (h)	Promedio (kJ) (± 0.01)	Desviación Estándar (kJ) (± 0.01)	Coefficiente de variación	Intervalo superior (kJ) (± 0.01)	Intervalo inferior (kJ) (± 0.01)
Fermentación anaerobia	0	5.25	0.10	1.96	5.35	5.15
	24	5.17	0.14	2.65	5.30	5.03
	48	5.01	0.16	3.22	5.17	4.85
Fermentación aerobia	72	4.88	0.14	2.79	5.01	4.75
	96	4.76	0.09	1.93	4.84	4.67
	120	4.62	0.11	2.28	4.72	4.51
	144	4.51	0.09	1.90	4.59	4.42
	168	4.43	0.12	2.62	4.55	4.32

Gráfica 2. Comportamiento del pH, a través del tiempo, durante el proceso de fermentación de cacao que será alcalinizado.



Cuadro 4. Estadística descriptiva de los pH implicados en la fermentación de los granos de cacao que serán alcalinizados.

Tiempo (h)	Promedio (kJ) (± 0.01)	Desviación Estándar (kJ) (± 0.01)	Coefficiente de variación	Intervalo superior (kJ) (± 0.01)	Intervalo inferior (kJ) (± 0.01)
0	5.25	0.070	1.33	5.32	5.18
24	5.19	0.086	1.66	5.27	5.10
48	5.09	0.094	1.86	5.16	4.98
72	4.92	0.13	2.63	5.044	4.79
96	4.78	0.094	1.97	4.87	4.69
120	4.66	0.11	2.35	4.77	4.55
144	4.56	0.083	1.82	4.64	4.48
168	4.47	0.090	2.02	4.56	4.38

Cuadro 5. Estadística descriptiva de los pH implicados en la calinización de los granos de cacao.

pH	pH alcalinización (± 0.01)	pH final fermentación (± 0.01)
Promedio	8.10	4.47
Desviación estándar	0.048	0.090
Coefficiente de variación	0.59	2.02
Intervalo superior	8.15	4.56
Intervalo inferior	8.06	4.38

Cuadro 6. Comparación de análisis fisicoquímicos de punto de fusión entre la manteca de cacao alcalina y la no alcalina.

	P.F. Manteca alcalina ($^{\circ}\text{C}$)	P.F. Manteca no alcalina ($^{\circ}\text{C}$)
Promedio	36.25	35.5
Desviación Estándar	1.258	1.291
Coefficiente de variación	3.471	3.637
Intervalo superior	37.483	36.765
Intervalo inferior	35.017	34.235

Cuadro 7. Comparación de análisis fisicoquímicos de valor de saponificación entre la manteca de cacao alcalina y la no alcalina.

Muestra	Vapor de saponificación alcalina (mg KOH/g)	Vapor de saponificación no alcalina (mg KOH/g)
1	189.148	190.816
2	188.142	189.073
3	189.039	188.142
4	192.200	188.398
Promedio	189.632	189.107
Desviación estándar	1.770	1.205
Coefficiente de variación	0.93	0.64
Intervalo superior	191.367	190.288
Intervalo inferior	187.897	187.926

Cuadro 8. Comparación de análisis fisicoquímicos de ácidos grasos libres entre la manteca de cacao alcalina y la no alcalina.

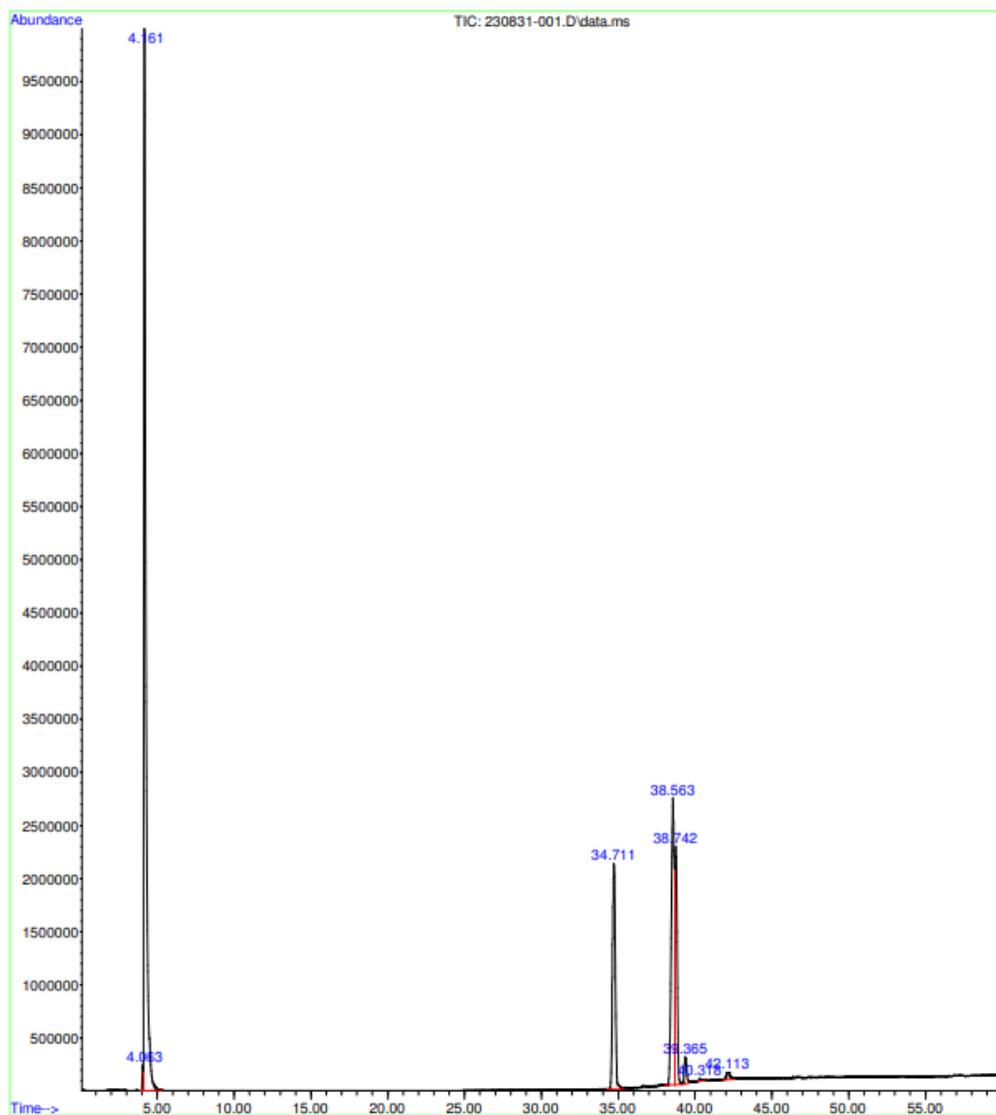
Muestra	Ácidos grasos libres manteca alcalina (% Ácido Oléico)	Ácidos grasos libres manteca no alcalina (% Ácido Oléico)
1	1.2%	1.02%
2	1.7%	1.27%
3	1.3%	1.13%
4	1.6%	1.41%
Promedio	1.44%	1.21%
Desviación estándar	0.002	0.002
Coefficiente de variación	15.514	14.041
Intervalo superior	1.65%	1.37%
Intervalo inferior	1.22%	1.04%

Cuadro 9. Comparación de componentes mediante cromatografía de gases con detector de masas (GC-MS) de la manteca de cacao alcalina y la no alcalina.

Ácido graso	Alcalina (% Área)	No alcalina (% Área)
Ácido Palmítico	14.40	18.58
Ácido Linoleico	1.46	1.98
Ácido Esteárico	20.30	25.09
Ácido Oléico	11.52	13.69
Ácido Araquídico	0.63	0.90

Figura 16. Cromatograma de gases con detector de masas (GC-MS) para aceite de Theobroma sin alcalinización.

File :C:\msdchem\1\DATA\Ing Quimica\2023\230831-001.D
Operator : AdeM
Acquired : 31 Aug 2023 13:27 using AcqMethod ACIDOS GRASOS DBWAX SCAN BIO.M
Instrument : GC-MSD
Sample Name: Muestra 1 DS
Misc Info : IQ
Vial Number: 1



Cromatograma analizado el 31 de agosto de 2023, por medio del instrumento cromatógrafo de gas con detector de masas (GC-MS) del departamento de química de la Universidad del Valle de Guatemala.

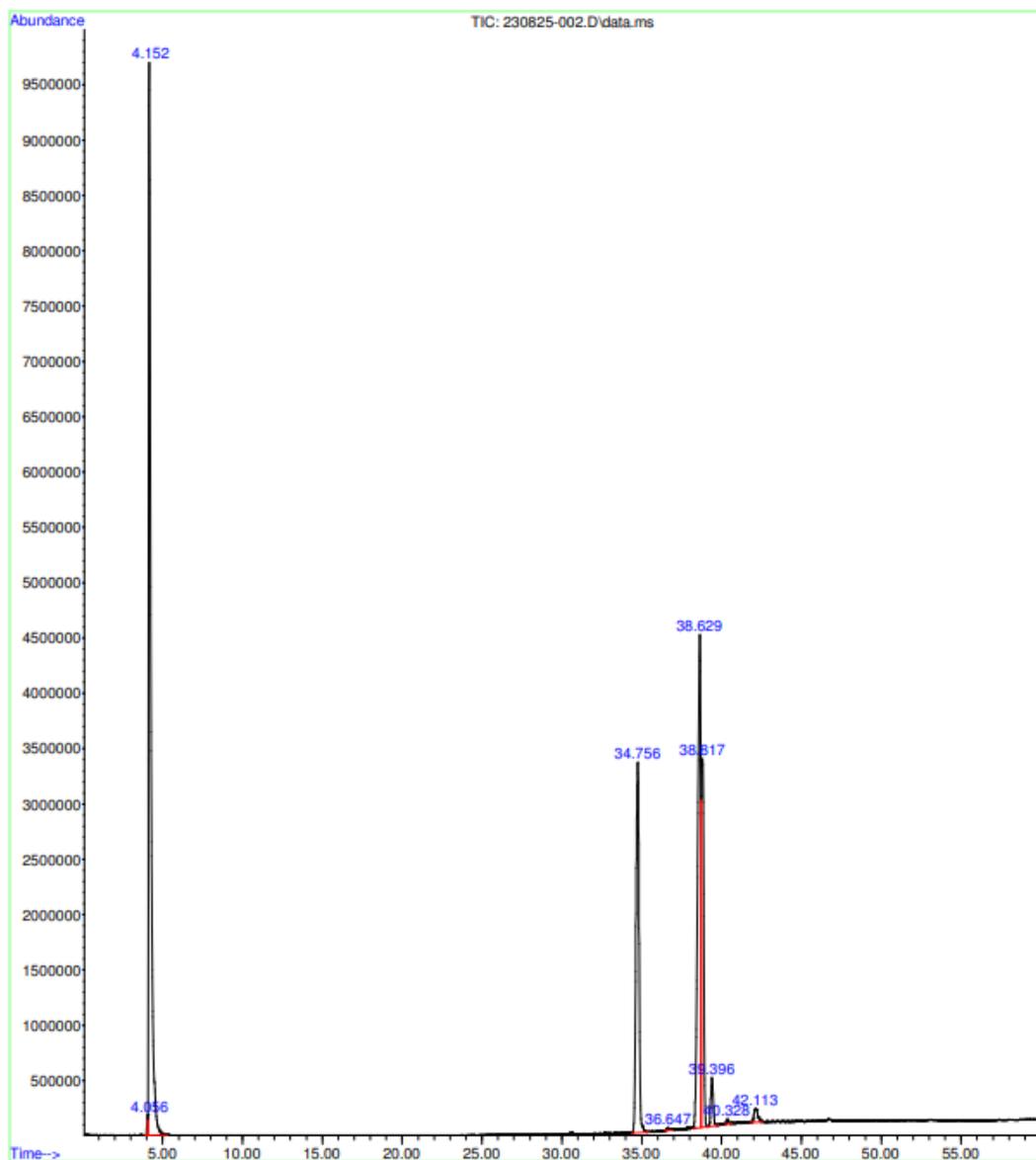
Cuadro 10. Análisis cromatografía de gases acoplado a espectrofotometría de masa GC-MS para la manteca de cacao no alcalina.

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	4.058	0.3	C:\Database\NIST05a.L	3888	000589-34-4	87
			Hexane, 3-methyl-	3885	000142-82-5	64
			Heptane		000142-82-5	
			Heptane, 3,4-dimethyl-	12287	000922-28-1	64
2	4.154	39.15	C:\Database\NIST05a.L	3885	000142-82-5	95
			Heptane	3884	000142-82-5	94
			Heptane	3886	000142-82-5	91
3	34.757	18.58	C:\Database\NIST05a.L	105639	000112-39-0	99
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105662	005129-60-2	98
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105644	000112-39-0	97
4	36.645	0.14	C:\Database\NIST05a.L	114864	002490-49-5	64
			Hexadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester			
			Heptadecanoic acid, methyl ester	114853	001731-92-6	55
			Heptadecanoic acid, methyl ester	114851	001731-92-6	49
5	38.628	25.09	C:\Database\NIST05a.L	123709	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123708	000112-61-8	97
			Octadecanoic acid, methyl ester	123700	000112-61-8	96
6	38.819	13.69	C:\Database\NIST05a.L	122297	002345-29-1	99
			7-Octadecenoic acid, methyl ester	122298	057396-98-2	99
			9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	122326	001937-62-8	99
7	39.397	1.98	C:\Database\NIST05a.L	121093	002462-85-3	99
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester	121105	000112-63-0	99
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester, (E,E)-	121112	002566-97-4	99
8	40.329	0.18	C:\Database\NIST05a.L	186450	003055-98-9	74
			Hexagol	112857	002615-15-8	50
			1,4,7,10,13,16-Hexaoxonadecane, 18-(2-propenyl)-	135590	1000163-64-0	50
9	42.112	0.9	C:\Database\NIST05a.L	140314	001120-28-1	96
			Eicosanoic acid, methyl ester	140312	001120-28-1	95
			Eicosanoic acid, methyl ester	140310	001120-28-1	90

El análisis del cromatógrafo se realizó el 31 de agosto de 2023 en el departamento de Química de la Universidad del Valle de Guatemala, haciendo uso de un Cromatógrafo de Gas (GC), marca Agilent e ingresando la muestra de manteca de cacao no alcalina y previamente esterificada.

Figura 17. Cromatograma de gases con detector de masas (GC-MS) para aceite de Theobroma con alcalinización.

File :C:\msdchem\1\DATA\Ing Quimica\2023\230825-002.D
Operator : AdeM
Acquired : 31 Aug 2023 14:33 using AcqMethod ACIDOS GRASOS DEWAX SCAN BIO.M
Instrument : GC-MSD
Sample Name: Muestra 2 DS
Misc Info : IQ
Vial Number: 2



Cromatograma analizado el 31 de agosto de 2023, por medio del instrumento cromatógrafo de gas con detector de masas (GC-MS) del departamento de química de la Universidad del Valle de Guatemala.

Cuadro 11. Análisis cromatografía de gases acoplado a espectrofotometría de masa GC-MS para la manteca de cacao alcalina.

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	4.063	0.51	C:\Database\NIST05a.L	3888	000589-34-4	81
			Hexane, 3-methyl-	3891	000589-34-4	68
			Hexane, 3-methyl-	3885	000142-82-5	64
2	4.163	51.06	C:\Database\NIST05a.L	3885	000142-82-5	95
			Heptane	3886	000142-82-5	91
			Heptane	3884	000142-82-5	91
3	34.712	14.4	C:\Database\NIST05a.L	105639	000112-39-0	97
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105644	000112-39-0	97
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105662	005129-60-2	97
			Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester		017309-05-6	
4	38.564	20.3	C:\Database\NIST05a.L	123709	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123708	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123700	000112-61-8	98
5	38.742	11.52	C:\Database\NIST05a.L	122326	001937-62-8	99
			9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	122297	002345-29-1	99
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	122323	000112-62-9	99
6	39.365	1.46	C:\Database\NIST05a.L	121093	002462-85-3	99
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester	121114	017309-05-6	99
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	121107	000112-63-0	99
7	40.316	0.13	C:\Database\NIST05a.L	186450	003055-98-9	72
			1,4,7,10,13,16-Hexaoxonadecane, 18-propyl-	136741	1000163-65-3	53
			Octaethylene glycol	161142	1000289-34-2	50
8	42.112	0.63	C:\Database\NIST05a.L	140312	001120-28-1	95
			Eicosanoic acid, methyl ester	140313	001120-28-1	95
			Eicosanoic acid, methyl ester	140310	001120-28-1	8

El análisis del cromatógrafo se realizó del 31 de agosto de 2023 en el departamento de Química de la Universidad del Valle de Guatemala, haciendo uso de un Cromatógrafo de Gas (GC), marca Agilent e ingresando la muestra de manteca de cacao alcalina y previamente esterificada.

Cuadro 12. Estadística descriptiva del balance de masa global del proceso de obtención de manteca de cacao sin alcalinización.

Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
m_{total inicial} (kg)	2.939	0.065	2.218	3.003	2.875
m_{total final} (kg)	2.445	0.075	3.071	2.519	2.372
Pérdidas totales (kg)	0.494	0.016	3.200	0.509	0.478

Cuadro 13. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de fermentación en la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.

Entradas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
m _{cacao} (kg)	1.9000	0.0800	4.2105	1.9784	1.8216
m _{agua} (kg)	0.0950	0.0040	4.2105	0.0989	0.0911
m _{levadura} (kg)	0.0190	0.0008	4.2105	0.0198	0.0182
m_{Inicial Fermentación} (kg)	2.0140	0.0848	4.2105	2.0971	1.9309
Salidas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
m _{cacao fermentado} (kg)	1.5752	0.0912	5.7902	1.6646	1.4858
m _{residuos líquidos} (kg)	0.4379	0.0364	8.3217	0.4736	0.4022
m_{final Fermentación} (kg)	2.0132	0.0849	4.2173	2.0964	1.9299
Pérdidas (kg)	0.0008	0.0003	31.1265	0.0011	0.0006

Cuadro 14. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de secado en la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.

Entradas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{cacao fermentado}}$ (kg)	1.5752	0.0912	5.7902	1.6646	1.4858
Salidas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{cacao seco}}$ (kg)	0.6960	0.0977	14.0407	0.7918	0.6002
Pérdida _{agua} (kg)	0.8792	0.0474	5.3929	0.8792	0.8792

Cuadro 15. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de tostado en la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.

Entradas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{cacao seco}}$ (kg)	0.6960	0.0977	14.0407	0.7918	0.6002
Salidas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{cacao nib}}$ (kg)	0.4318	0.0398	9.2204	0.4708	0.3928
$m_{\text{cáscara}}$ (kg)	0.0958	0.0051	5.3509	0.1008	0.0907
m_{final} tostado (kg)	0.5275	0.0396	7.5043	0.5663	0.4887
Pérdidas _{tostado} (kg)	0.1685	0.0942	55.8925	0.2608	0.0762

Cuadro 16. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de molienda en la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.

Entradas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{cacao nib}}$ (kg)	0.4318	0.0398	9.2204	0.4708	0.3928
Salidas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{cacao molido}}$ (kg)	0.3530	0.0524	14.8340	0.4043	0.3017
Pérdidas Cacao Molido (kg)	0.0788	0.0478	60.6816	0.0788	0.0788

Cuadro 17. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de cocción en la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.

Entradas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{cacao molido}}$ (kg)	0.3530	0.0524	14.8340	0.4043	0.3017
$m_{\text{agua cocción}}$ (kg)	0.9250	0.1500	16.2162	1.0720	0.7780
$m_{\text{Inicial cocción}}$ (kg)	1.2780	0.0982	7.6834	1.3742	1.1818
Salidas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{licor cocción}}$ (kg)	1.2700	0.0956	7.5308	1.3637	1.1762
Pérdidas cocción (kg)	0.0080	0.0074	92.4158	0.0080	0.0080

Cuadro 18. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de prensado en la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.

Entradas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{licor cocción}} \text{ (kg)}$	1.2700	0.0956	7.5308	1.3637	1.1762
Salidas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{manteca de cacao}} \text{ (kg)}$	0.2160	0.0188	8.7244	0.2345	0.1976
$m_{\text{licor puro}} \text{ (kg)}$	0.2415	0.0636	26.3464	0.3039	0.1791
$m_{\text{cacao molido}} \text{ (kg)}$	0.6708	0.0618	9.2164	0.7313	0.6102
$m_{\text{total cocción}} \text{ (kg)}$	1.1283	0.0703	6.2332	1.1972	1.0594
$\text{Pérdidas}_{\text{cocción}} \text{ (kg)}$	0.1417	0.0413	29.1233	0.1417	0.1417

Cuadro 19. Estadística descriptiva del balance de energía del sistema de secado para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.

Energía	Promedio (kJ)	Desviación Estándar (kJ)	Coefficiente de variación	Intervalo superior (kJ)	Intervalo inferior (kJ)
$Q_{\text{calor Cacao}} \text{ (kJ)}$	76.5620	10.7498	14.0407	87.0966	66.0273
$Q_{\text{vapor agua}} \text{ (kJ)}$	202.3231	10.9111	5.3929	213.0158	191.6304
$Q_{\text{total secado}} \text{ (kJ)}$	278.8851	12.1052	4.3406	290.7480	267.0222

Cuadro 20. Estadística descriptiva del balance de energía del sistema de tostado para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.

Energía	Promedio (kJ)	Desviación Estándar (kJ)	Coefficiente de variación	Intervalo superior (kJ)	Intervalo inferior (kJ)
$Q_{\text{calor Cacao}} \text{ (kJ)}$	131.8795	9.8966	7.5043	141.5780	122.1810
$Q_{\text{vapor agua}} \text{ (kJ)}$	88.1255	49.2556	55.8925	136.3951	39.8559
$Q_{\text{total tostado}} \text{ (kJ)}$	220.0050	49.0729	22.3054	268.0956	171.9144

Cuadro 21. Estadística descriptiva del balance de energía del sistema de cocción para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.

Energía	Promedio (kJ)	Desviación Estándar (kJ)	Coefficiente de variación	Intervalo superior (kJ)	Intervalo inferior (kJ)
Q_{calor Cacao} (kJ)	60.0100	8.9019	14.8340	68.7337	51.2863
Q_{vapor agua} (kJ)	328.9670	53.3460	16.2162	381.2451	276.6889
Q_{fusión manteca} (kJ)	46.0080	3.5350	7.6834	49.4722	42.5438
Q_{licor de cacao} (kJ)	0.0007	0.0002	24.1297	0.0008	0.0005
Q_{total cocción} (kJ)	434.9857	48.0509	11.0465	482.0747	387.8967

Cuadro 22. Estadística descriptiva del balance de masa global del proceso de obtención de manteca de cacao con alcalinización.

Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
m_{total inicial} (kg)	3.187	0.061	1.925	3.247	3.127
m_{total final} (kg)	2.471	0.070	2.817	2.539	2.402
Pérdidas Totales (kg)	0.716	0.049	6.850	0.765	0.668

Cuadro 23. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de fermentación en la extracción de manteca de cacao alcalina.

Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
m _{cacao} (kg)	1.8950	0.0700	3.6939	1.9636	1.8264
m _{agua} (kg)	0.0948	0.0035	3.6939	0.0982	0.0913
m _{levadura} (kg)	0.0190	0.0007	3.6939	0.0196	0.0183
m_{Inicial Fermentación} (kg)	2.0087	0.0742	3.6939	2.0814	1.9360
Salidas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
m _{cacao fermentado} (kg)	1.5625	0.0900	5.7570	1.6507	1.4743
m _{residuos líquidos} (kg)	0.4454	0.0315	7.0710	0.4762	0.4145
m_{final Fermentación} (kg)	2.0079	0.0742	3.6963	2.0806	1.9351
Pérdidas (kg)	0.0008	0.0002	24.5533	0.0010	0.0006

Cuadro 24. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de alcalinización en la extracción de manteca de cacao alcalina.

Entradas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{cacao fermentado}}$ (kg)	1.5625	0.0900	5.7570	1.6507	1.4743
m_{agua} (kg)	0.2300	0.0141	6.1488	0.2439	0.2161
$m_{\text{bicarbonato}}$ (kg)	0.0233	0.0014	6.1488	0.0247	0.0219
$m_{\text{Inicial Alcalinización}}$ (kg)	1.8158	0.1055	5.8083	1.9192	1.7125
Salidas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{cacao alcalinizado}}$ (kg)	1.6125	0.0854	5.2956	1.6962	1.5288
$m_{\text{solución alcalina}}$ (kg)	0.1618	0.0353	21.8421	0.1964	0.1271
$m_{\text{final Alcalinización}}$ (kg)	1.7743	0.1187	6.6883	1.8905	1.6580
$\text{Pérdida}_{\text{agua}}$ (kg)	0.0416	0.0192	46.0804	0.0604	0.0228

Cuadro 25. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de secado en la extracción de manteca de cacao alcalina.

Entradas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{cacao alcalinizado}}$ (kg)	1.6125	0.0854	5.2956	1.6962	1.5288
Salidas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{cacao seco}}$ (kg)	0.8150	0.0971	11.9172	0.9102	0.7198
$\text{Pérdida}_{\text{agua}}$ (kg)	0.7975	0.0340	4.2676	0.8309	0.7641

Cuadro 26. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de tostado en la extracción de manteca de cacao alcalina.

Entradas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{cacao seco}} \text{ (kg)}$	0.8150	0.0971	11.9172	0.9102	0.7198
Salidas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{cacao nib}} \text{ (kg)}$	0.4735	0.0298	6.2851	0.5027	0.4443
$m_{\text{cáscara}} \text{ (kg)}$	0.0773	0.0449	58.0911	0.1213	0.0333
$m_{\text{final tostado}} \text{ (kg)}$	0.5508	0.0615	11.1725	0.6111	0.4905
Pérdidas_{tostado} (kg)	0.2642	0.0376	14.2194	0.3010	0.2274

Cuadro 27. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de molienda en la extracción de manteca de cacao alcalina.

Entradas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{cacao nib}} \text{ (kg)}$	0.4735	0.0298	6.2851	0.5027	0.4443
Salidas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{cacao molido}} \text{ (kg)}$	0.4693	0.0315	6.7019	0.5001	0.4385
Pérdidas_{Cacao Molido} (kg)	0.0042	0.0019	44.8689	0.0060	0.0023

Cuadro 28. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de cocción en la extracción de manteca de cacao alcalina.

Entradas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{cacao molido}} \text{ (kg)}$	0.4693	0.0315	6.7019	0.5001	0.4385
$m_{\text{agua cocción}} \text{ (kg)}$	0.9250	0.1500	16.2162	1.0720	0.7780
$m_{\text{Inicial cocción}} \text{ (kg)}$	1.3943	0.1239	8.8869	1.5158	1.2729
Salidas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{licor cocción}} \text{ (kg)}$	1.3526	0.1082	8.0001	1.4586	1.2465
Pérdidas_{cocción} (kg)	0.0418	0.0232	55.6038	0.0645	0.0190

Cuadro 29. Estadística descriptiva del balance de masa para el proceso de prensado en la extracción de manteca de cacao alcalina.

Entradas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{licor cocción}} \text{ (kg)}$	1.3526	0.1082	8.0001	1.4586	1.2465
Salidas					
Medición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Intervalo superior	Intervalo inferior
$m_{\text{manteca de cacao}} \text{ (kg)}$	0.2173	0.0103	4.7595	0.2274	0.2071
$m_{\text{licor puro}} \text{ (kg)}$	0.2310	0.0615	26.6084	0.2912	0.1708
$m_{\text{cacao molido}} \text{ (kg)}$	0.6178	0.0306	4.9496	0.6477	0.5878
$m_{\text{total cocción}} \text{ (kg)}$	1.0660	0.0864	8.1071	1.1507	0.9813
Pérdidas_{cocción} (kg)	0.2866	0.0236	8.2205	0.3468	0.2263

Cuadro 30. Estadística Descriptiva del balance de energía del sistema de secado para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.

Energía	Promedio (kJ)	Desviación Estándar (kJ)	Coefficiente de variación	Intervalo superior (kJ)	Intervalo inferior (kJ)
$Q_{\text{calor Cacao}} \text{ (kJ)}$	89.6500	10.6838	11.9172	100.1199	79.1801
$Q_{\text{vapor agua}} \text{ (kJ)}$	183.5207	7.8320	4.2676	191.1959	175.8455
$Q_{\text{total secado}} \text{ (kJ)}$	273.1707	9.5890	3.5103	282.5678	263.7736

Cuadro 31. Estadística descriptiva del balance de energía del sistema de tostado para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.

Energía	Promedio (kJ)	Desviación Estándar (kJ)	Coefficiente de variación	Intervalo superior (kJ)	Intervalo inferior (kJ)
$Q_{\text{calor Cacao}} \text{ (kJ)}$	137.6938	15.3838	11.1725	152.7696	122.6179
$Q_{\text{vapor agua}} \text{ (kJ)}$	138.1897	19.6498	14.2194	157.4461	118.9332
$Q_{\text{total secado}} \text{ (kJ)}$	275.8834	34.3004	12.4329	309.4972	242.2696

Cuadro 32. Estadística descriptiva del balance de energía del sistema de cocción para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.

Energía	Promedio (kJ)	Desviación Estándar (kJ)	Coficiente de variación	Intervalo superior (kJ)	Intervalo inferior (kJ)
Q_{calor Cacao} (kJ)	79.7853	5.3471	6.7019	85.0254	74.5451
Q_{vapor agua} (kJ)	328.9670	53.3460	16.2162	381.2451	276.6889
Q_{fusion manteca} (kJ)	50.1957	4.4609	8.8869	54.5673	45.8241
Q_{licor de cacao} (kJ)	0.0008	0.0001	11.3622	0.0009	0.0007
Q_{total cocción} (kJ)	458.9487	53.2613	11.6051	511.1439	406.7536

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente trabajo de graduación tiene como finalidad realizar una comparación cuantitativa entre los resultados obtenidos de la alcalinización, con bicarbonato de sodio, del grano de cacao fermentado y del grano no alcalino para la producción de aceite de Theobroma. Asimismo, se buscó fermentar y alcalinizar el grano de cacao utilizando levadura *Saccharomyces Cerevisiae*, por medio de cajones fermentadores para obtener un grano seco de cacao que permita la obtención de aceite de Theobroma. Después, se produjo aceite de Theobroma, para comparar los parámetros de calidad mediante análisis fisicoquímicos de puntos de fusión, valor de saponificación y análisis de ácidos grasos para determinar su aptitud para uso cosmético. Finalmente, se realizó un balance de masa y energía para el proceso de obtención de manteca de cacao, con la finalidad de determinar los rendimientos de ambos procesos, alcalino y no alcalino; y así, identificar oportunidades de mejora.

Para la comparación cuantitativa se tomaron en cuenta diferentes factores como lo es el rendimiento general del proceso, el tiempo requerido y los costos operacionales. Por lo tanto, se determinó que la manteca de cacao alcalina presentó un rendimiento del 46.02%; mientras que la manteca no alcalina un rendimiento del 50.09%, siendo este más elevado. La diferencia entre estos rendimientos radica principalmente en la influencia de la alcalinización del grano de cacao para la extracción de la grasa. En algunos casos, la alcalinización puede mejorar la eficiencia de la extracción al romper las células de grasa, mientras que en otros casos puede afectar negativamente el rendimiento. Por lo tanto, las variaciones pueden deberse más a la calidad del grano de cacao.

Adicionalmente, se evaluó el tiempo y costo implicados en los procesos. La extracción de manteca de cacao alcalina tomó un tiempo total de 177.52 horas y la extracción de la grasa no alcalina fue de 175.52 horas, demostrando una diferencia total de 2 horas principalmente debido al proceso de alcalinización y a un mayor tiempo de secado de los granos de cacao. En contraparte, el proceso alcalino presentó un costo total de Q.686.60; mientras que el no alcalino de Q.676.60, esta diferencia de Q10.00 radica principalmente en el costo del bicarbonato de sodio como agente alcalino. A pesar de no haber presenciado diferencias altamente significativas, si estos procesos se escalan a nivel industrial, podrían denotar diferencias entre estas características de una forma más significativa. Por lo tanto, debido a que el proceso de extracción de manteca de cacao es más costoso, más tardado y presenta un menor rendimiento, es mejor y más eficiente el proceso de extracción de manteca de cacao sin alcalinización en términos de contenido de extracción, precio y tiempo.

Para el proceso de obtención de la manteca de cacao fue de suma importancia buscó fermentar el grano de cacao utilizando levadura *Saccharomyces Cerevisiae*, por medio de cajones fermentadores para obtener un grano seco de cacao que permita la obtención de aceite de Theobroma. El proceso de fermentación es uno de los más importantes en la producción de manteca de cacao debido a que esta es la etapa principal en la que se desarrollarán todas sus características organolépticas como olor, sabor, color y apariencia.

Como parte de evaluar la fermentación, se midió el pH de la fermentación durante todos los días, por una semana, para conocer como este se iba comportando a través del tiempo.

En los gráficos 1 y 2 se aprecia como el pH se va comportando, tanto para las muestras de granos de cacao que serán alcalinos como para los que no. En promedio para las 4 muestras de fermentación de granos que no serán alcalinizados se obtuvieron pH de 5.25, 5.17, 5.01, 4.88, 4.76, 4.62, 4.51 y 4.43 para mediciones cada 24 horas durante 7 días respectivamente. En contraparte, las muestras de fermentación de los granos que si serán alcalinizados indicaron pH promedio de 5.25, 5.19, 5.07, 4.92, 4.78, 4.67, 4.56 y 4.47 para las mediciones cada 24 horas durante 7 días respectivamente. Estas tendencias, muestran que el pH disminuye a medida que avanza el tiempo, siendo este cada vez más ácido.

Durante las primeras horas de la fermentación, se observa una disminución gradual del pH. Esto puede atribuirse a la producción de ácidos orgánicos, como ácido láctico y ácido acético, a medida que los microorganismos presentes en el cacao inician la fermentación. Estos ácidos contribuyen al descenso del pH y al ambiente ácido necesario para la transformación química y la generación de compuestos de sabor característicos del cacao.

Por otro lado, a medida que el tiempo de fermentación avanza, la disminución del pH se vuelve más pronunciada. Esto indica una mayor producción de ácidos orgánicos, lo cual es un resultado esperado en un proceso de fermentación activo. La actividad microbiana y las reacciones bioquímicas continúan, lo que contribuye a la acidificación del medio.

Posteriormente a la fermentación, 4 de las muestras de manteca de cacao fueron sometidos al proceso de alcalinización con una solución de bicarbonato de sodio 1:10 al 1.5% del peso de los granos de cacao, para no sobrepasar límites establecidos por la FDA. Luego de la preparación de la solución, se dejaron reposar los granos en la solución por 60 minutos para que estos sean sometidos al proceso de neutralización.

Luego del remojo, instantáneamente se notó que estos desarrollaron un color café más oscuro en comparación a los granos que no fueron sometidos a este proceso. Nuevamente, para evaluar este proceso se realizaron mediciones de pH tanto al inicio del proceso, como al finalizarlo. Inicialmente, las 4 muestras del grano de cacao demostraron un pH inicial del 4.47; mientras que, después de ser sometidos a alcalinización, su pH fue de 8.10, siendo este mucho más alcalino e indicando un perfecto desempeño de la alcalinización en los granos de cacao.

A partir de este punto, los procesos consiguientes para la obtención de manteca de cacao fueron exactamente los mismos para ambos métodos de extracción. Y, luego de obtener ambas mantecas, se prosiguió a la realización de distintos análisis fisicoquímicos para determinar y comparar los parámetros de calidad para determinar su aptitud para uso cosmético, según el COA de Making Cosmetics Inc.

En dicho certificado de análisis, los análisis fisicoquímicos que se debían realizar consistían en la determinación del punto de fusión (30°C a 38°C), el valor de saponificación (188 a 200) y el contenido de ácidos grasos libres (175 máximo).

Todos los análisis se realizaron en cuadruplicado, uno para cada muestra de manteca, con la finalidad de obtener resultados más certeros de los mismos. Para la determinación del punto de fusión de la manteca alcalina, se obtuvo un resultado promedio de 36.25°C con una desviación estándar de 1.258°C y un coeficiente de variación de 3.471 °C. Mientras que, la manteca de cacao demostró resultados de punto de fusión promedio de 35.50°C con una desviación estándar de 1.291°C y un coeficiente de variación de 3.637°C. Entre ambas mantecas los resultados están muy cercanos y ambos se encuentran dentro de los rangos establecidos por el COA. Esto indica que la manteca resultante de ambos métodos es adecuada en términos de su punto de fusión para su uso en productos cosméticos.

Adicionalmente, se realizó un análisis de valor de saponificación para ambas mantecas. Los cuales fueron de 189.148, 188.142, 189.039 y 192.200 mg KOH/g para las cuatro muestras de la manteca alcalina respectivamente. Mientras que la manteca no alcalina brindó resultados de 190.816, 189.073, 188.142 y 188.398 mg KOH/g para las cuatro muestras de la manteca no alcalina respectivamente. Dichos valores permitieron determinar valores de saponificación promedio de 189.632 mg KOH/g y 189.107 mg KOH/g para las muestras de manteca alcalina y no alcalina, respectivamente. Nuevamente, dichos datos de valor de saponificación se encuentran dentro de los rangos establecidos por e COA, confirmando una buena extracción de la manteca y un buen análisis fisicoquímico.

Como último análisis fisicoquímico, se realizó una determinación del contenido de ácidos grasos libres en la manteca de cacao. La determinación del contenido de ácidos grasos libres es relevante para evaluar la pureza de la manteca. Por lo tanto, las muestras de la manteca de cacao alcalina indicaron contenidos de ácidos grasos de 1.2%, 1.7%, 1.3% y 1.6%. Mientras que la manteca no alcalina indico valores de 1.0%. 1.3%, 1.1% y 1.41%. En promedio, las mantecas alcalina y no alcalina contienen un total de 1.44% y 1.21% de contenido de ácidos grasos libres respectivamente, encontrándose inferior al rango máximo establecido por el COA, siendo una indicación positiva de la calidad de las mantecas obtenidas.

Para complementar los análisis fisicoquímicos, se decidió realizar un análisis para las mantecas por medio de cromatografía de gases con detector de masas (GC-MS), debido a que este es uno de los instrumentos más efectivos para analizar la composición química de las mantecas y sirve para confirmar que, efectivamente, se haya extraído la manteca de cacao.

Para desarrollar este análisis se tuvo que esterificar la muestra utilizando distintos solventes orgánicos, con la finalidad de que la muestra sea leída y analizada por el equipo. Por lo tanto, esta esterificación también afecta

la composición química de la muestra de manteca. Este análisis sólo se realizó para una de las muestras de cada tipo de manteca ya que, es un método muy costoso y tardado.

Sin embargo, se determinó que ambas mantecas contienen los principales contenidos presentes en la manteca de cacao, los cuales son: ácido palmítico, ácido linoleico, ácido esteárico, ácido oleico y ácido araquídico. Las proporciones en las que la manteca los contenía se midió según el porcentaje de área medido por el cromatógrafo, tal como se puede apreciar en los cuadros 33 y 34 del apartado de anexos.

Por consiguiente, la muestra de manteca de cacao alcalina demostró un contenido de 14.40% de ácido palmítico, 1.46% de ácido linoleico, 20.30% de ácido esteárico, 11.52% de ácido oleico y 0.63% de ácido araquído. Mientras que la manteca de cacao no alcalina presentó contenidos de 18.58% de ácido palmítico, 1.98% de ácido linoleico, 25.09% de ácido esteárico, 13.69% de ácido oleico y 0.90% de ácido araquído.

Finalmente, se evaluaron ambos procesos por medio de balances de masa y energía, con la finalidad de determinar los rendimientos de los procesos, alcalino y no alcalino; y así, identificar oportunidades de mejora.

En el proceso de obtención de manteca de cacao sin alcalinización (Cuadro 10), se observa que las pérdidas totales oscilan entre 0.471 kg y 0.507 kg en las cuatro corridas. Estas pérdidas pueden atribuirse a varios factores, como la pérdida de agua durante el secado y el proceso de cocción, así como a posibles residuos sólidos que quedan atrapados en el proceso. La consistencia en las pérdidas entre las corridas indica una cierta estabilidad en el proceso.

En el caso del proceso con alcalinización (Cuadro 11), las pérdidas totales son mayores, oscilando entre 0.658 kg y 0.776 kg. Esto sugiere que la alcalinización puede contribuir significativamente a un mayor desperdicio de materia prima. La alcalinización podría estar afectando negativamente la extracción de manteca, lo que resulta en pérdidas adicionales.

Es importante destacar que las pérdidas de masa tienen implicaciones significativas en términos de eficiencia y costos de producción. Cuanto mayor sea la pérdida de masa, menor será el rendimiento del proceso, lo que puede afectar la rentabilidad de la producción de manteca de cacao. Además, las pérdidas de materia prima pueden contribuir a una mayor generación de residuos, lo que plantea cuestiones ambientales y de sostenibilidad.

La diferencia en las pérdidas entre los dos procesos resalta la importancia de evaluar no solo el rendimiento de manteca, sino también la eficiencia general del proceso. Si bien el proceso sin alcalinización parece tener pérdidas de masa más bajas, es esencial considerar otros factores, como la calidad del producto final y los costos operativos, al tomar decisiones sobre qué método de extracción utilizar en la producción de manteca de cacao.

Por otro lado, los resultados sugieren la necesidad de evaluar el proceso con alcalinización para identificar oportunidades de mejora que puedan reducir las pérdidas de materia prima. Esto podría incluir ajustes en las condiciones de alcalinización o en otras etapas del proceso para minimizar las pérdidas. Además, se debe considerar la posibilidad de reciclar o reutilizar los subproductos generados durante el proceso para reducir el impacto ambiental.

Por consiguiente, los datos de balance de masa resaltan la importancia de la eficiencia del proceso en la producción de manteca de cacao y cómo la alcalinización puede influir en las pérdidas de materia prima. Estos resultados proporcionan una base sólida para la optimización y la toma de decisiones en la industria de la manteca de cacao, con el objetivo de lograr un proceso más eficiente y sostenible.

Adicionalmente, se realizaron balances de energía en ambos procesos para las partes de secado, tostado y cocción debido a que son las partes que requirieron de ayuda mecánica para llevarse a cabo; así como también, donde ocurrió transferencia de calor y de masa.

Los datos del balance de energía para el proceso de secado (Cuadros 12 y 13) muestran que el proceso sin alcalinización requiere una energía promedio de alrededor de 278.89 kJ para llevar a cabo el secado. En contraste, el proceso con alcalinización requiere un promedio de aproximadamente 273.17 kJ. Estos valores son bastante cercanos y sugieren que la alcalinización no tiene un impacto significativo en la demanda de energía para el secado. Sin embargo, es importante considerar los costos asociados al proceso de secado para verificar a que se debe la diferencia. Sin embargo, esto se debe a que el proceso de secado de los granos alcalinos tomó más tiempo, ya que, el proceso de alcalinización produjo que los granos absorbieran parte de la solución alcalina, conteniendo mayor humedad.

En cuanto al tostado (Cuadros 16 y 17), los datos muestran que el proceso sin alcalinización requiere en promedio aproximadamente 220.01 kJ, mientras que el proceso con alcalinización necesita más energía, con un promedio de aproximadamente 275.88 kJ. Estos resultados sugieren que la alcalinización puede influir en las características de los granos de cacao, lo que requiere una mayor energía para alcanzar el tostado deseado.

En el proceso de cocción (Cuadros 20 y 21), nuevamente se observa que la alcalinización tiende a requerir más energía en promedio en comparación con el proceso sin alcalinización. El promedio de energía total requerida para la cocción es más alto en las corridas con alcalinización. Esto puede estar relacionado con la modificación de las propiedades químicas de los granos de cacao debido a la alcalinización, lo que podría afectar el proceso de cocción.

Los resultados indican que el proceso sin alcalinización parece ser más eficiente en términos de pérdida de materia prima y puede requerir menos energía en las etapas de tostado y cocción en comparación con el proceso con alcalinización. Sin embargo, es crucial considerar que la alcalinización puede tener otros beneficios o

efectos en la calidad de la manteca de cacao que no se reflejan en estos datos, como cambios en el perfil de sabor o características físicas.

Por último, la elección entre los dos procesos debe basarse en una evaluación integral que incluya no solo el rendimiento y la eficiencia energética, sino también la calidad del producto final y los costos asociados. Además, es importante realizar más investigaciones para comprender completamente cómo la alcalinización afecta la calidad y la eficiencia del proceso de extracción de manteca de cacao. Estos resultados proporcionan una base sólida para futuras investigaciones y la toma de decisiones en la industria de la manteca de cacao.

IX. CONCLUSIONES

- La manteca de cacao sin alcalinización presenta un rendimiento promedio del 50.09%, mientras que la manteca de cacao alcalina muestra un rendimiento promedio del 46.02%. Adicionalmente, el proceso alcalino resulta en un mayor costo total (Q.686.60) en comparación con el proceso sin alcalinización (Q.676.60). El tiempo requerido para la extracción de manteca de cacao es ligeramente mayor en el proceso alcalino, con una diferencia de 2 horas. Estos factores podrían influir en la eficiencia y la rentabilidad a escala industrial; sin embargo, es más factible el proceso alcalino debido a que presenta más beneficios para las industrias cosmética y alimenticia.
- El proceso de fermentación es crucial para el desarrollo de las características organolépticas del cacao, y se observa una disminución del pH durante la fermentación, indicando una activa actividad microbiana y bioquímica. Adicionalmente, se observa que el pH de la fermentación va disminuyendo y volviéndose más ácido a medida que pasa el tiempo debido a la presencia de ácidos orgánicos que se van desarrollando.
- Los análisis fisicoquímicos indican que ambas mantecas (alcalina y no alcalina) cumplen con los estándares de calidad requeridos para su uso cosmético y alimenticio en términos de punto de fusión y valor de saponificación. También, el contenido de ácidos grasos libres en ambas mantecas se encuentra dentro de los rangos establecidos, lo que sugiere una buena calidad y pureza del producto.
- El proceso sin alcalinización muestra pérdidas de masa más bajas en comparación con el proceso alcalino, lo que indica una mayor eficiencia en la extracción de manteca. Los datos de balance de energía sugieren que la alcalinización tiende a requerir más energía en las etapas de tostado y cocción en comparación con el proceso sin alcalinización.

X. RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis de costo-beneficio más detallado a nivel industrial para determinar si los beneficios de la alcalinización, como la mejora en la calidad del producto final, justifican los costos adicionales asociados con este proceso.
- Se recomienda monitorear y controlar el proceso de fermentación debido a que, este proceso es fundamental para el desarrollo de las características organolépticas del cacao, es esencial establecer un control preciso del proceso para asegurar resultados consistentes y óptimos.
- Es recomendable explorar y desarrollar técnicas que permitan obtener mantecas de cacao con un punto de fusión más bajo, con el objetivo de maximizar su versatilidad y beneficios en una variedad de aplicaciones cosméticas y alimenticias.
- Se recomienda realizar un análisis organoléptico o sensorial adicional para evaluar el sabor y el olor de la manteca de cacao, especialmente si se considera su aplicación en la industria alimenticia.
- Realizar un seguimiento constante de la eficiencia energética en todas las etapas del proceso y buscar oportunidades para reducir el consumo de energía, especialmente en las etapas de tostado y cocción.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Acofarma Fórmulas Magistrales. (S.F.). *Fichas de Información Técnica*. Manteca de Cacao. Extraído de: <https://formulasmagistrales.acofarma.com/idb/descarga/3/f3b255e29df47c92.pdf>
- Arriaga, C. (2007). *Contenido de Ácidos Grasos de la manteca proveniente de mezclas, en distintas fracciones, de semillas de Theobroma cacao y Theobroma bicolor y su uso en la manufactura de chocolate*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Guatemala. 1-50 pp.
- Assestine, M., Mollo, J., Morales, J., Papanikolopoulos, V. (2016). *Cocoa Liquor, Butter, & Powder Production*. Extraído de: https://www.researchgate.net/publication/303968666_Cocoa_Liquor_Butter_Powder_Production/citation/download
- Carballo, J.. (2020). *Cacao criollo, trinitario y forastero ¿Conoces la diferencia?*. Extraído de: <https://levicechocolat.com/blogs/articulos/cacao-criollo-trinitario-y-forastero-conoces-la-diferencia>
- Cerna, P. (2020). *Generalidades del cacao*. Extraído de: https://www.academia.edu/29531306/Generalidades_del_cacao
- Citalisa. (2020). *PROCESAMIENTO DE LOS SUBPRODUCTOS DERIVADOS DEL CACAO*. Extraído de: <https://www.citalisa.com/blogs/noticias/procesamiento-de-los-subproductos-derivados-del-cacao>
- Ciudades Mayas. (2015). *Cacao: moneda y alimento de los mayas*. Extraído de: <https://ciudadesmayas.com/publicaciones/cacao-moneda-y-alimento-de-los-mayas>
- Codini, M., Díaz, F., Ghirardi, M., Villavicencio, I. (2004). *Obtención y Utilización de la Manteca de cacao*. Universidad Nacional de Litoral. Extraído de: [file:///C:/Users/Daniela/Downloads/Dialnet-ObtencionYUtilizacionDeLaMantecaDeCacao-3331434%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Daniela/Downloads/Dialnet-ObtencionYUtilizacionDeLaMantecaDeCacao-3331434%20(3).pdf)
- Cooperación Suiza en América Central. (2017). *Situación actual de la cadena de valor del cacao en Guatemala*. Extraído de: https://assets.rikolto.org/paragraph/attachments/analisis_guatemala.pdf
- De Pizzol, M. (2023). *¿El chocolate hace bien a la salud?*. Hospital Alemán. Extraído de: <https://www.hospitalaleman.org.ar/mujeres/%C2%BFel-chocolate-hace-bien-a-la-salud/#:~:text=Incrementa%20la%20actividad%20antioxidante%2C%20ya,riesgo%20de%20formaci%C3%B3n%20de%20trombos> .

- Egas, M. (2015). *El licor de cacao está compuesto por materia grasa conocida como manteca de cacao y otras partículas sólidas que constituyen la torta de cacao, las mismas que se encuentran en forma de suspensión en el licor de cacao*. Con el fin de separar la grasa de los sólidos se utilizan diferentes métodos de extracción. Extraído de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11477/1/CD-6485.pdf>
- EMR.(2023). *Análisis del Mercado De Cacao Y Chocolate, Tamaño, Cuota 2023-2028*. Extraído de: <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-cacao-y-chocolate>
- Exportador Erazo. (2019). *Temporada de cosecha de cacao*. Extraído de: https://exportadoraerazo.com/blog_post/0013-temporada_de_cosecha.html
- Food, L. (2021). *Después del tostado y hasta el chocolate*. Extraído de: <https://chocolatecaliente.es/hasta-el-chocolate/>
- Flexicon. (2023). *Cacao en Polvo*. Extraído de: <https://www.flexicon.es/Materiales-Manejados/Cacao-en-Polvo.html>
- Gea, M. (2021). *Manteca de cacao: origen, propiedades cosméticas y formulación*. Extraído de: <https://www.mentactiva.com/manteca-de-cacao-origen-propiedades-cosmeticas-y-formulacion/>
- Guehi, T., Koffi, K., Tagro, G. & Amani, G. (2008). *Effect of free fatty acid content on the quality of cocoa butter extracted from different varieties of cocoa beans cultivated in Côte d'Ivoire*. Journal of Food Technology in Africa, 13(1), 1-7. Extraído de: https://agritrop.cirad.fr/543904/1/document_543904.pdf
- Guevara, J. (2018). *El Fruto del Chocolate: Viendo de Cerca una Vaina de Cacao*. Extraído de: <https://perfectdailygrind.com/es/2018/03/30/el-fruto-del-chocolate-viendo-de-cerca-una-vaina-de-cacao/>
- Guevara, J. (2018). *Explicación paso a paso: la cosecha y el procesamiento del cacao*. Extraído de: <https://perfectdailygrind.com/es/2018/03/06/explicacion-paso-paso-la-cosecha-y-el-procesamiento-del-cacao/>
- Huang Y., Barringer S. (2010) *Alkylpyrazines and other volatiles in cocoa liquors at pH 5 to 8, by Selected Ion Flow Tube-Mass Spectrometry (SIFT-MS)*. J Food Sci.;75(1):C121-7. doi: 10.1111/j.1750-3841.2009.01455.x. PMID: 20492142. Extraído de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20492142/>
- Gutiérrez, H., Suárez, M, Hernández, Z, Castellanos, O., Alonso, R., Rayas, P., Cano, C., Figueroa, C., González, O. (2022). *Yeasts as Producers of Flavor Precursors during Cocoa Bean Fermentation and Their Relevance as Starter Cultures: A Review*. Fermentation. <https://doi.org/10.3390/fermentation8070331>
- Hütz-Adams, F., Campos, P., Fountain, A.C. (2022). *Barómetro del cacao - Base de referencia para Latinoamérica*.

- Infocafes. (2017). *PROCESO INDUSTRIAL DEL CHOCOLATE*. Extraído de: <http://infocafes.com/portal/wpcontent/uploads/2017/02/PROCESO INDUSTRIAL DEL CHOCOLATE.pdf>
- Isabel. (2020). *Cascarilla de cacao: beneficios y recetas*. Isabel Chocolates Artesanos. Extraído de: <https://chocolatesartesanosisabel.com/cascarilla-de-cacao-beneficios-recetas/>
- Kalvatchev, Z., Garzaro, D., Guerra, F. (1998). *THEOBROMA CACAO L.: Un nuevo enfoque para nutrición y salud*. Agroalimentaria. 23.6. 1-3 pp.
- Kamphuis, H.J. (2017). *Production of Cocoa Mass, Cocoa Butter and Cocoa Powder. Beckett's Industrial Chocolate Manufacture and Use*. 5th edition. John Wiley & Sons Ltd. 50–62 pp.
- López, M.P., López, M.T. (2020). *Manteca de cacao: propiedades, aplicaciones y conservación*. Revista Mexicana de Ingeniería Química.
- López, M.P., López, M.T. (2020). *Manteca de cacao: composición química y propiedades*. Revista Mexicana de Ingeniería Química.
- MakingCosmetics Inc.(2023). *Cocoa Butter*. Extraído de: https://www.makingcosmetics.com/search?q=cocoa+butter&search-button=&lang=en_US
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2014). *Perfil Comercial Cacao*. Gobierno de Guatemala. Guatemala. 1-11 pp. Extraído de: <https://www.maga.gob.gt/download/Perfil%20Cacao.pdf>
- Mordor Intelligence. (2023). *Análisis del comercio de granos de cacao*. Extraído de: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/cocoa-bean-trade-analysis>
- Moser, A. (2015). *Alkalizing Cocoa and Chocolate*. Extraído de: <https://www.blommer.com/documents/Blommer Alkalizing Cocoa and Chocolate.pdf>
- Nobi. (2023). *Manteca de Cacao pura para cocina y cosméticos*. Extraída de: <https://www.nobi.com.gt/product-page/manteca-de-cacao-cruda-sin-refinar-60g-200g-400g>
- Palma, M. (2018). *Los mejores sustitutos de la manteca de cacao*. Extraído de: <https://biotrendies.com/los-mejores-sustitutos-de-la-manteca-de-cacao.html>

- Palmer's. (2023). *Necesidades para la piel*. Extraído de: <https://www.palmers.com.mx/products/palmer-s-cocoa-butter-locion-corporal>
- Pharmacius. (2022). *Beneficios y propiedades de la manteca de cacao*. Extraído de: <https://www.pharmacius.com/blog/higiene-y-cuidados/pharmacius-beneficios-y-propiedades-de-la-manteca-de-cacao/>
- Química.Es. (2023). *Conceptos*. Extraído de: <https://www.quimica.es/>
- Real Academia Española. (2023). *Diccionario de la Lengua Española*. Extraído de: <https://dle.rae.es/>
- Reyes, C. (2023). Tipos de Cacao. Extraído de: <https://carmenlucia.gt/tipos-de-cacao/>
- Rosero, L. (2021). *OPTIMIZACIÓN DE LA FERMENTACIÓN DE CACAO (Theobroma cacao) DE ESPECIES CULTIVADAS EN LOS DEPARTAMENTOS DE META Y GUAVIARECOLOMBIA*. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Departamento de Microbiología Industria. Bogotá. Colombia. Extraído de: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/54278/Optimizacio%CC%81n%20de%20la%20fermentacio%CC%81n%20de%20cacao%20%28Theobroma%20cacao%29%20de%20especies%20cultivadas%20en%20los%20departamentos%20de%20Meta%20y%20Guaviare-Colombia.%20Revisio%CC%81n%20de%20literatura.%20Laura%20Rosero%20.pdf?sequence=1>
- Sánchez, M., García, F. y García, S. (2019). "Los residuos de la producción de cacao: un problema y una oportunidad". *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*.
- Sansegundo, L. (2021). *Cacao natural versus cacao alcalinizado*. Extraído de: https://www.soycorredor.es/corredora/cacao-natural-versus-cacao-alcalinizado_246002_102.html
- Trout, R. (2008). *Método para preparar cacao sometido al proceso holandés*. Extraído de: <https://patents.google.com/patent/ES2305075T3/es>
- VECO. (2017). *Situación actual de la cadena de valor del cacao en Guatemala*. Extraído de: https://assets.rikolto.org/paragraph/attachments/analisis_guatemala.pdf
- WebMD. (2022). "Sodium Bicarbonate.". Extraído de: www.webmd.com/vitamins/ai/ingredientmono-1470/sodium-bicarbonate.
- Zumárraga, M., Barbero, F. (2017). *Saccharomyces Cerevisiae: Contribución organoléptica en la vinificación*. Extraído de: http://www.guserbiot.com/pdf/Guserbiot_art_Ondare.pdf

XII. ANEXOS

a. Datos originales

Cuadro 33. Rendimientos implicados en los procesos de extracción de manteca de cacao alcalina y no alcalina.

	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
%Rendimiento no alcalina	49.03%	51.89%	51.73%	47.70%
%Rendimiento alcalina	42.38%	51.01%	46.15%	44.52%

El cuadro anterior muestra los rendimientos implicados en cada corrida para la extracción de manteca de cacao alcalina y no alcalina. Dichos valores se calcularon utilizando los pesos del nib de cacao y de la manteca extraída.

Cuadro 34. Tiempos implicados en los distintos procesos para la extracción de la manteca de cacao con distintos métodos.

Proceso	Tiempo no alcalina (Min)	Tiempo alcalina (Min)
Fermentación	10,080	10,080
Alcalinización	0	60
Secado	240	300
Tostado	30	30
Molienda	1	1
Cocción	90	90
Prensado	90	90
Tiempo total (Minutos)	10,531	10,651
Tiempo total (Horas)	175.5	177.5
Tiempo total (Días)	7.3	7.4

Los datos anteriores muestran el tiempo implicado en cada una de las operaciones unitarias que se realizaron para la extracción de manteca de cacao alcalina y no alcalina.

Cuadro 35. Costos implicados en los procesos de extracción de manteca de cacao.

Material	Costo total (Q)	No alcalino	Alcalino
Cacao	Q 700.00	Q 350.00	Q 350.00
Levadura	Q 55.20	Q 27.60	Q 27.60
Cajas fermentadoras	Q 280.00	Q 140.00	Q 140.00
Hoja de plátano	Q 100.00	Q 50.00	Q 50.00
Bicarbonato de sodio	Q 10.00	Q -	Q 10.00
Bandejas de aluminio	Q 144.00	Q 72.00	Q 72.00
Tela de manta	Q 50.00	Q 25.00	Q 25.00
Empaque	Q 24.00	Q 12.00	Q 12.00
TOTAL	Q 1,363.20	Q 676.60	Q 686.60

El cuadro anterior muestra los costos, en Quetzales (Q), implicados en los procesos de extracción de Manteca de cacao para ambos procesos.

Cuadro 36. Datos de medición de pH durante el tiempo que se llevó a cabo la fermentación de cacao que no será alcalinizado.

Tiempo (h)	Tiempo (días)	pH Lote 1 (± 0.01)	pH Lote 2 (± 0.01)	pH Lote 3 (± 0.01)	pH Lote 4 (± 0.01)
0	0	5.18	5.4	5.22	5.19
24	1	5.1	5.37	5.09	5.1
48	2	4.83	5.22	5.01	4.97
72	3	4.78	5.08	4.85	4.81
96	4	4.63	4.85	4.78	4.76
120	5	4.51	4.76	4.62	4.58
144	6	4.47	4.61	4.53	4.41
168	7	4.33	4.58	4.47	4.35
192	8	4.26	4.44	4.39	4.21

Los datos presentados anteriormente muestran los pH de la muestra de cacao en distintos días de la fermentación, las mediciones de pH se realizaron con un electrodo Waterproof PCSTester 35.

Cuadro 37. Datos de medición de pH durante el tiempo que se llevó a cabo la fermentación de cacao que será alcalinizado.

Tiempo (h)	Tiempo (días)	pH Lote 1 (± 0.01)	pH Lote 2 (± 0.01)	pH Lote 3 (± 0.01)	pH Lote 4 (± 0.01)
0	0	5.20	5.34	5.19	5.27
24	1	5.12	5.29	5.11	5.22
48	2	4.98	5.2	5.03	5.07
72	3	4.78	5.09	4.92	4.88
96	4	4.67	4.89	4.81	4.74
120	5	4.52	4.76	4.73	4.62
144	6	4.46	4.62	4.64	4.53
168	7	4.35	4.51	4.56	4.45

Los datos presentados anteriormente muestran los pH de la muestra de cacao en distintos días de la fermentación, las mediciones de pH se realizaron con un electrodo Waterproof PCSTester 35.

Cuadro 38. Datos de medición de pH antes y después de la alcalinización del cacao.

Muestra	Muestra 1 (± 0.01)	Muestra 2 (± 0.01)	Muestra 3 (± 0.01)	Muestra 4 (± 0.01)
pH Inicial	4.35	4.51	4.56	4.45
pH Final	8.05	8.16	8.12	8.08

Los datos presentados anteriormente muestran los pH de la muestra de cacao antes y después de someterse al proceso de alcalinización, las mediciones de pH se realizaron con un electrodo Waterproof PCSTester 35.

Cuadro 39. Datos de temperatura de punto de fusión de la manteca de cacao no alcalina.

Muestra	Punto de fusión (°C)
1	34
2	35
3	37
4	36

Los datos presentados anteriormente muestran las temperaturas de punto de fusión de la manteca no alcalina, los cuales fueron medidos haciendo uso de un termómetro de mercurio.

Cuadro 40. Datos de temperatura de punto de fusión de la manteca de cacao alcalina.

Muestra	Punto de fusión (°C)
1	36
2	35
3	38
4	36

Los datos presentados anteriormente muestran las temperaturas de punto de fusión de la manteca alcalina, los cuales fueron medidos haciendo uso de un termómetro de mercurio.

Cuadro 41. Datos medidos para determinar el valor de saponificación de la manteca de cacao no alcalina.

Muestra	Masa manteca (g)	Volumen titulación (ml)
1	1.000	6.4
2	1.001	6.5
3	0.999	6.6
4	0.990	6.7

Los datos presentados anteriormente muestran los pesos de la muestra de manteca de cacao no alcalina, medido con una balanza analítica Ohaus y los volúmenes de KOH utilizados para titular, medidos con una pipeta graduada de 25 ml.

Cuadro 42. Datos medidos para determinar el valor de saponificación de la manteca de cacao alcalina.

Muestra	Masa manteca (g)	Volumen titulación (ml)
1	1.001	6.5
2	0.999	6.6
3	1.009	6.4
4	1.000	6.3

Los datos presentados anteriormente muestran los pesos de la muestra de Manteca de cacao alcalina, medido con una balanza analítica Ohaus y los volúmenes de KOH utilizados para titular, medidos con una pipeta graduada de 25 ml.

Cuadro 43. Datos medidos para determinar el contenido de ácidos grasos libres de la manteca de cacao no alcalina.

Muestra	Peso muestra (g)	Volumen (ml)
1	1.9989	0.007
2	2.0010	0.009
3	2.0002	0.008
4	1.9995	0.010

Los datos presentados anteriormente muestran los pesos de la muestra de manteca de cacao no alcalina, medido con una balanza analítica Ohaus y los volúmenes de KOH utilizados para titular, medidos con una pipeta graduada de 1 ml.

Cuadro 44. Datos medidos para determinar el contenido de ácidos grasos libres de la manteca de cacao alcalina.

Muestra	Peso muestra (g)	Volumen (ml)
1	2.0001	0.009
2	2.0005	0.012
3	1.9998	0.009
4	2.0006	0.011

Los datos presentados anteriormente muestran los pesos de la muestra de manteca de cacao alcalina, medido con una balanza analítica Ohaus y los volúmenes de KOH utilizados para titular, medidos con una pipeta graduada de 1 ml.

Cuadro 45. Datos originales de pesos implicados en el balance de masa general del proceso de obtención de manteca de cacao con grano no alcalino.

Entradas				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
m_{cacao} (kg)	2.02	1.86	1.86	1.86
m_{agua} (kg)	0.101	0.093	0.093	0.093
m_{levadura} (kg)	0.0202	0.0186	0.0186	0.0186
$m_{\text{agua cocción}}$ (kg)	0.7	1	1	1
Salida				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{residuos líquidos}}$ (kg)	0.44	0.48	0.44	0.39
Pérdida _{agua} (kg)	0.861	0.850	0.857	0.950
$m_{\text{cáscara}}$ (kg)	0.228	0.235	0.1941	0.207
$m_{\text{licor puro}}$ (kg)	0.152	0.265	0.248	0.301
$m_{\text{cacao molido}}$ (kg)	0.654	0.647	0.761	0.621

Los datos presentados anteriormente muestran los pesos de distintos elementos implicados en el balance de masa general (sin alcalinización), se utilizó una balanza semianalítica Ohaus.

Cuadro 46. Datos originales de pesos implicados en la fermentación del grano no alcalino de cacao.

Entradas				
Medición	Corrida 1 (± 0.1)	Corrida 2 (± 0.1)	Corrida 3 (± 0.1)	Corrida 4 (± 0.1)
m_{cacao} (kg)	2.02	1.86	1.86	1.86
m_{agua} (kg)	0.101	0.093	0.093	0.093
m_{levadura} (kg)	0.0202	0.0186	0.0186	0.0186
Salida				
Medición	Corrida 1 (± 0.1)	Corrida 2 (± 0.1)	Corrida 3 (± 0.1)	Corrida 4 (± 0.1)
$m_{\text{cacao fermentado}}$ (kg)	1.70	1.49	1.53	1.58
$m_{\text{residuos líquidos}}$ (kg)	0.44	0.48	0.44	0.39

Los datos presentados anteriormente muestran los pesos de distintos elementos implicados en el balance de masa durante el proceso de fermentación (sin alcalinización), se utilizó una balanza semianalítica Ohaus.

Cuadro 47. Datos originales de pesos implicados en el secado del grano no alcalino de cacao.

Entradas				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{cacao fermentado}}$ (kg)	1.70	1.49	1.53	1.58
Salida				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{cacao seco}}$ (kg)	0.84	0.64	0.67	0.63

Los datos presentados anteriormente muestran los pesos de distintos elementos implicados en el balance de masa durante el proceso de secado (sin alcalinización), se utilizó una balanza semianalítica Ohaus.

Cuadro 48. Datos originales de pesos implicados en el tostado del proceso de obtención de manteca de cacao con grano no alcalino.

Entradas				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{cacao seco}}$ (kg)	0.84	0.64	0.67	0.63
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{cacao nib}}$ (kg)	0.465	0.453	0.3752	0.434
$m_{\text{cáscara}}$ (kg)	0.089	0.101	0.095	0.098

Los datos presentados anteriormente muestran los pesos de distintos elementos implicados en el tostado (sin alcalinización), se utilizó una balanza semianalítica Ohaus.

Cuadro 49. Datos originales de pesos implicados en la molienda del grano no alcalino de cacao.

Entradas				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{cacao nib}}$ (kg)	0.465	0.453	0.375	0.434
Salida				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{cacao molido}}$ (kg)	0.431	0.328	0.334	0.319

Los datos presentados anteriormente muestran los pesos de distintos elementos implicados en el balance de masa durante el proceso de molienda (sin alcalinización), se utilizó una balanza semianalítica Ohaus.

Cuadro 50. Datos originales de pesos implicados en la cocción del grano no alcalino de cacao.

Entradas				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{cacao molido}}$ (kg)	0.431	0.328	0.334	0.319
$m_{\text{agua cocción}}$ (kg)	0.7	1	1	1
Salida				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{licor cocción}}$ (kg)	1.127	1.309	1.328	1.316

Los datos presentados anteriormente muestran los pesos de distintos elementos implicados en el balance de masa durante el proceso de cocción (sin alcalinización), se utilizó una balanza semianalítica Ohaus.

Cuadro 51. Datos originales de pesos implicados en el prensado del grano no alcalino de cacao.

Entradas				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{licor cocción}}$ (kg)	1.127	1.309	1.328	1.316
Salida				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{manteca de cacao}}$ (kg)	0.228	0.235	0.194	0.207
$m_{\text{licor puro}}$ (kg)	0.152	0.265	0.248	0.301
$m_{\text{cacao molido}}$ (kg)	0.654	0.647	0.761	0.621

Los datos presentados anteriormente muestran los pesos de distintos elementos implicados en el balance de masa durante el proceso de prensado (sin alcalinización), se utilizó una balanza semianalítica Ohaus.

Cuadro 52. Datos originales de valores implicados en el cálculo del balance de energía para la parte de secado del grano no alcalino de cacao.

		Energía requerida para el secado				
		Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
Qcal	m_{cacao} (kg)	0.84	0.640872	0.6732	0.63	
	Cp_{cacao} (J/kg°C)	2000	2000	2000	2000	
	T_{fcacao} (°C)	80	80	80	80	
	T_{icacao} (°C)	25	25	25	25	
Qvap	m_{agua}	0.86	0.85	0.86	0.95	
	Cp_{agua}	4184	4184	4184	4184	
	T_{fagua}	80	80	80	80	
	T_{iagua}	25	25	25	25	

Los datos presentados anteriormente muestran los distintos pesos, calores y temperaturas implicados en el balance de energía durante el proceso de secado (sin alcalinización).

Cuadro 53. Datos originales de valores implicados en el cálculo del balance de energía para la parte de tostado del grano no alcalino de cacao.

		Energía requerida para el tostado				
		Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
Qcal	m_{cacao} (kg)	0.554	0.553872	0.4702	0.532	
	Cp_{cacao} (J/kg°C)	2000	2000	2000	2000	
	T_{fcacao} (°C)	150	150	150	150	
	T_{icacao} (°C)	25	25	25	25	
Qvap	m_{agua}	0.29	0.09	0.20	0.10	
	Cp_{agua}	4184	4184	4184	4184	
	T_{fagua}	150	150	150	150	
	T_{iagua}	25	25	25	25	

Los datos presentados anteriormente muestran los distintos pesos, calores y temperaturas implicados en el balance de energía durante el proceso de tostado (sin alcalinización).

Cuadro 54. Datos originales de valores implicados en el cálculo del balance de energía para la parte de cocción del grano no alcalino de cacao.

Energía requerida para la cocción					
	Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
Qcacao	m_{cacao} (kg)	0.431	0.328	0.334	0.319
	Cp_{cacao} (J/kg°C)	2000	2000	2000	2000
	T_{fcacao} (°C)	110	110	110	110
	T_{icacao} (°C)	25	25	25	25
Qvap	m_{agua} (kg)	0.70	1.00	1.00	1.00
	Cp_{agua}	4184	4184	4184	4184
	T_{fagua}	110	110	110	110
	T_{iagua}	25	25	25	25
Qfus	m_{Licor} (kg)	1.13	1.33	1.33	1.32
	Cl_{fusión manteca} (J/kg)	36000	36000	36000	36000
Qliq	m_{Agua en licor} (kg)	0.2422	0.353	0.239	0.379
	Cv_{apagua} (J/kg)	2.25	2.25	2.25	2.25

Los datos presentados anteriormente muestran los distintos pesos, calores y temperaturas implicados en el balance de energía durante el proceso de cocción (sin alcalinización).

Cuadro 55. Datos originales de pesos implicados en el balance de masa general del proceso de obtención de manteca de cacao con grano alcalino.

Entradas				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
m _{cacao} (kg)	2.00	1.86	1.86	1.86
m _{agua} (kg)	0.1	0.093	0.093	0.093
m _{levadura} (kg)	0.02	0.0186	0.0186	0.0186
m _{agua cocción} (kg)	0.7	1	1	1
m _{agua bicarbonato} (kg)	0.25	0.22	0.23	0.22
m _{bicarbonato} (kg)	0.02535	0.022265	0.0234	0.02235
Salida				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
m _{residuos líquidos} (kg)	0.42919	0.461	0.41	0.48
Pérdida _{agua} (kg)	0.810	0.770	0.770	0.840
m _{cáscara} (kg)	0.217	0.227	0.222	0.203
m _{licor puro} (kg)	0.142	0.253	0.246	0.283
m _{cacao molido} (kg)	0.578	0.634	0.648	0.611
m _{solución alcalina} (kg)	0.214	0.142265	0.1524	0.13835

Los datos presentados anteriormente muestran los pesos de distintos elementos implicados en el balance de masa general (alcalino), se utilizó una balanza semianalítica Ohaus.

Cuadro 56. Datos originales de pesos implicados en la fermentación del grano alcalino de cacao.

Entradas				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
m_{cacao} (kg)	2.00	1.86	1.86	1.86
m_{agua} (kg)	0.1	0.093	0.093	0.093
m_{levadura} (kg)	0.02	0.0186	0.0186	0.0186
Salida				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{cacao fermentado}}$ (kg)	1.69	1.51	1.56	1.49
$m_{\text{residuos líquidos}}$ (kg)	0.43	0.46	0.41	0.48

Los datos presentados anteriormente muestran los pesos de distintos elementos implicados en el balance de masa durante el proceso de fermentación (alcalino), se utilizó una balanza semianalítica Ohaus.

Cuadro 57. Datos originales de pesos implicados en la alcalinización del grano alcalino de cacao.

Entradas				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{cacao fermentado}}$ (kg)	1.69	1.51	1.56	1.49
m_{agua} (kg)	0.25	0.22	0.23	0.22
$m_{\text{bicarbonato}}$ (kg)	0.025	0.022	0.023	0.022
Salida				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{cacao alcalinizado}}$ (kg)	1.72	1.56	1.64	1.53
$m_{\text{solución alcalina}}$ (kg)	0.214	0.142	0.152	0.138

Los datos presentados anteriormente muestran los pesos de distintos elementos implicados en el balance de masa durante el proceso de fcalinización (alcalino), se utilizó una balanza semianalítica Ohaus.

Cuadro 58. Datos originales de pesos implicados en el secado del grano alcalino de cacao.

Entradas				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{cacao alcalinizado}}$ (kg)	1.72	1.56	1.64	1.53
Salida				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{cacao seco}}$ (kg)	0.91	0.79	0.87	0.69

Los datos presentados anteriormente muestran los pesos de distintos elementos implicados en el balance de masa durante el proceso de secado (alcalino), se utilizó una balanza semianalítica Ohaus.

Cuadro 59. Datos originales de pesos implicados en el tostado del proceso de obtención de manteca de cacao con grano alcalino.

Entradas				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{cacao seco}}$ (kg)	0.91	0.79	0.87	0.69
Salida				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{cacao nib}}$ (kg)	0.512	0.445	0.481	0.456
$m_{\text{cáscara}}$ (kg)	0.097	0.104	0.098	0.0101

Los datos presentados anteriormente muestran los pesos de distintos elementos implicados en el tostado alcalino), se utilizó una balanza semianalítica Ohaus.

Cuadro 60. Datos originales de pesos implicados en la molienda del grano alcalino de cacao.

Entradas				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{cacao nib}}$ (kg)	0.512	0.445	0.481	0.456
Salida				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{cacao molido}}$ (kg)	0.51	0.44	0.48	0.45

Los datos presentados anteriormente muestran los pesos de distintos elementos implicados en el balance de masa durante el proceso de molienda (alcalino), se utilizó una balanza semianalítica Ohaus.

Cuadro 61. Datos originales de pesos implicados en la cocción del grano alcalino de cacao.

Entradas				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{cacao molido}} \text{ (kg)}$	0.51	0.44	0.48	0.45
$m_{\text{agua cocción}} \text{ (kg)}$	0.7	1	1	1
Salida				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{licor cocción}} \text{ (kg)}$	1.19	1.41	1.43	1.38

Los datos presentados anteriormente muestran los pesos de distintos elementos implicados en el balance de masa durante el proceso de cocción (alcalino), se utilizó una balanza semianalítica Ohaus.

Cuadro 62. Datos originales de pesos implicados en el prensado del grano alcalino de cacao.

Entradas				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{licor cocción}} \text{ (kg)}$	1.19	1.41	1.43	1.38
Salida				
Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
$m_{\text{manteca de cacao}} \text{ (kg)}$	0.217	0.227	0.222	0.203
$m_{\text{licor puro}} \text{ (kg)}$	0.142	0.253	0.246	0.283
$m_{\text{cacao molido}} \text{ (kg)}$	0.578	0.634	0.648	0.611

Los datos presentados anteriormente muestran los pesos de distintos elementos implicados en el balance de masa durante el proceso de prensado (alcalino), se utilizó una balanza semianalítica Ohaus.

Cuadro 63. Datos originales de valores implicados en el cálculo del balance de energía para la parte de secado del grano alcalino de cacao.

Energía requerida para el secado					
Medición		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
Qcal	$m_{\text{cacao}} \text{ (kg)}$	0.91	0.79	0.87	0.69
	$C_{p\text{cacao}} \text{ (J/kg}^\circ\text{C)}$	2000	2000	2000	2000
	$T_{f\text{cacao}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	80	80	80	80
	$T_{i\text{cacao}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	25	25	25	25
Qvap	m_{agua}	0.81	0.77	0.77	0.84
	$C_{p\text{agua}}$	4184	4184	4184	4184
	$T_{f\text{agua}}$	80	80	80	80
	$T_{i\text{agua}}$	25	25	25	25

Los datos presentados anteriormente muestran los distintos pesos, calores y temperaturas implicados en el balance de energía durante el proceso de secado (alcalino).

Cuadro 64. Datos originales de valores implicados en el cálculo del balance de energía para la parte de tostado del grano alcalino de cacao.

		Energía requerida para el Tostado				
		Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
Qcal	m_{cacao} (kg)	0.609	0.549	0.579	0.4661	
	Cp_{cacao} (J/kg°C)	2000	2000	2000	2000	
	T_{fcacao} (°C)	150	150	150	150	
	T_{icacao} (°C)	25	25	25	25	
Qvap	m_{agua}	0.30	0.24	0.29	0.22	
	Cp_{agua}	4184	4184	4184	4184	
	T_{fagua}	150	150	150	150	
	T_{iagua}	25	25	25	25	

Los datos presentados anteriormente muestran los distintos pesos, calores y temperaturas implicados en el balance de energía durante el proceso de tostado (alcalino).

Cuadro 65. Datos originales de valores implicados en el cálculo del balance de energía para la parte de cocción del grano alcalino de cacao.

		Energía requerida para la Cocción				
		Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
Qcacao	m_{cacao} (kg)	0.51	0.44	0.4776	0.4497	
	Cp_{cacao} (J/kg°C)	2000	2000	2000	2000	
	T_{fcacao} (°C)	110	110	110	110	
	T_{icacao} (°C)	25	25	25	25	
Qvap	m_{agua} (kg)	0.70	1.00	1.00	1.00	
	Cp_{agua}	4184	4184	4184	4184	
	T_{fagua}	110	110	110	110	
	T_{iagua}	25	25	25	25	
Qfus	m_{Licor} (kg)	1.21	1.44	1.48	1.45	
	Cl_{fusión manteca} (J/kg)	36000	36000	36000	36000	
Qliq	m_{Agua en licor} (kg)	0.2954	0.366	0.352	0.389	
	Cv_{apagua} (J/kg)	2.25	2.25	2.25	2.25	

Los datos presentados anteriormente muestran los distintos pesos, calores y temperaturas implicados en el balance de energía durante el proceso de cocción (alcalino).

b. Datos calculados

Cuadro 66. Balance de masa global del proceso de obtención de manteca de cacao sin alcalinización.

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
m_{total inicial} (kg)	2.841	2.972	2.972	2.972
m_{total final} (kg)	2.335	2.477	2.501	2.470
Pérdidas totales (kg)	0.507	0.495	0.471	0.502

Cuadro 67. Balance de masa global del proceso de obtención de manteca de cacao con alcalinización.

Medición	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4
m_{total inicial} (kg)	3.095	3.214	3.225	3.214
m_{total final} (kg)	2.390	2.487	2.449	2.556
Pérdidas totales (kg)	0.705	0.727	0.776	0.658

Figura 18. Balance de masa del sistema de fermentación para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.

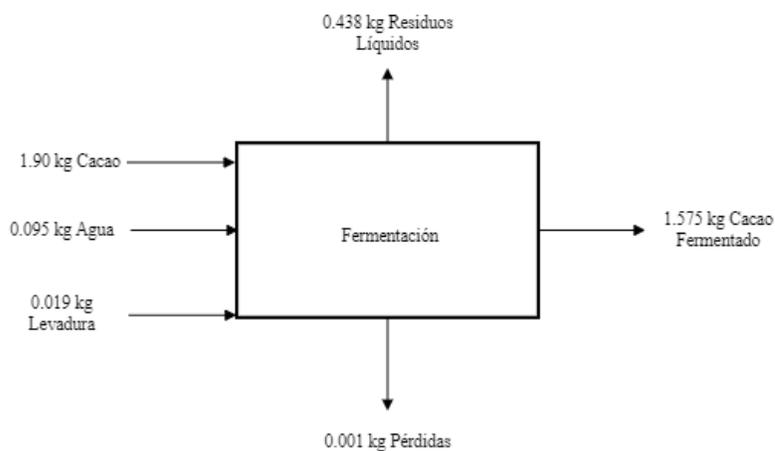


Figura 19. Balance de masa del sistema de fermentación para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.

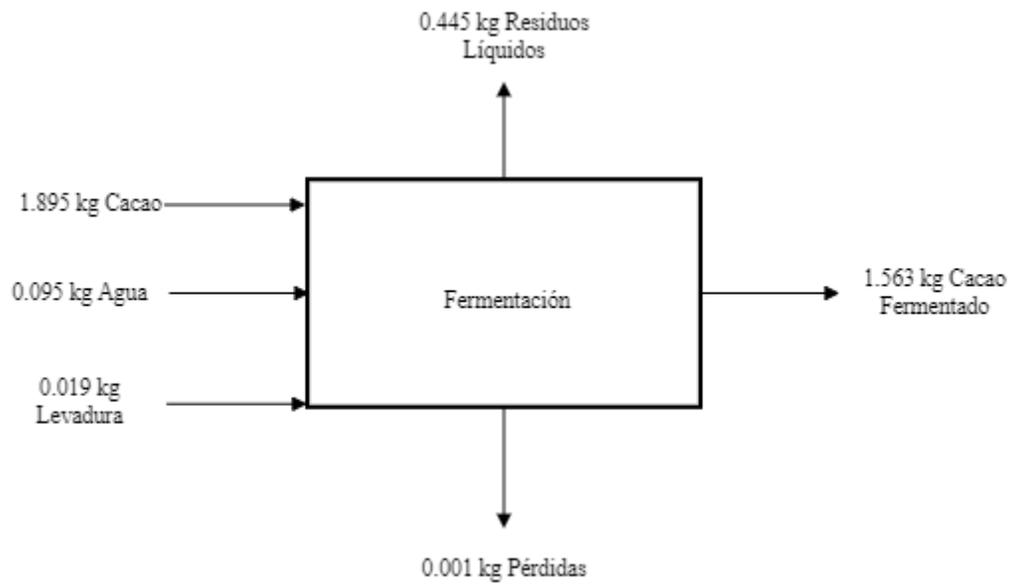


Figura 20. Balance de masa del sistema de alcalinización para la extracción de manteca de cacao.

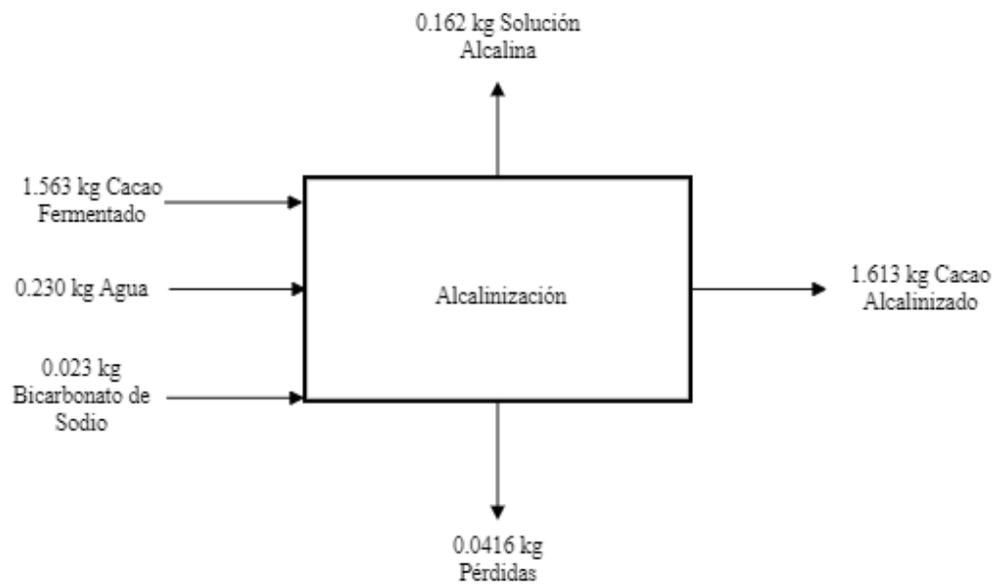
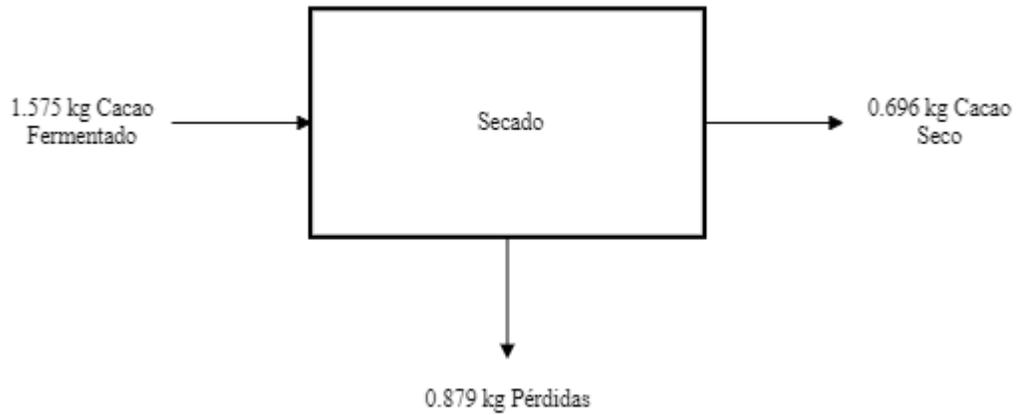


Figura 21. Balance de masa del sistema de secado para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.



Cuadro 68. Balance de energía del sistema de secado para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.

Energía requerida para el secado				
Energía	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
$Q_{\text{calor Cacao (kJ)}}$	92.40	70.50	74.05	69.30
$Q_{\text{vapor agua (kJ)}}$	198.02	195.49	197.17	218.61
$Q_{\text{total secado (kJ)}}$	290.42	265.99	271.22	287.91

Figura 22. Balance de masa del sistema de secado para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.

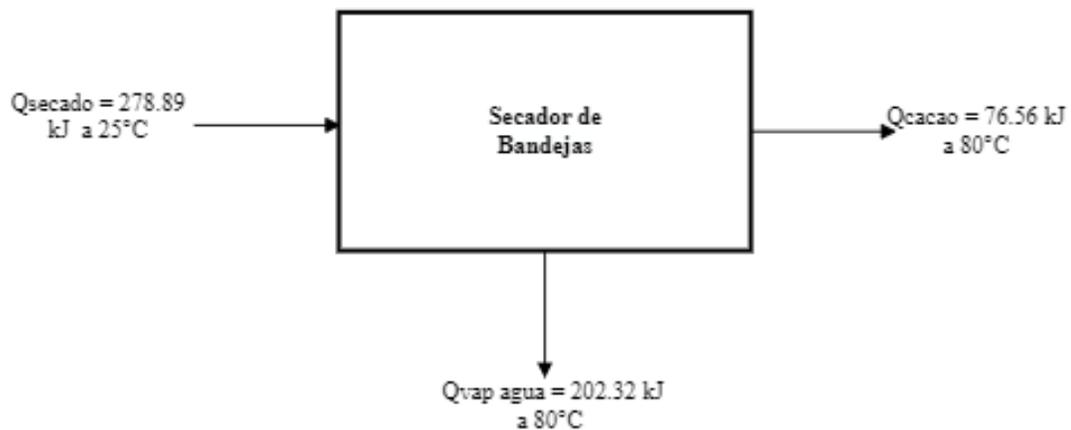
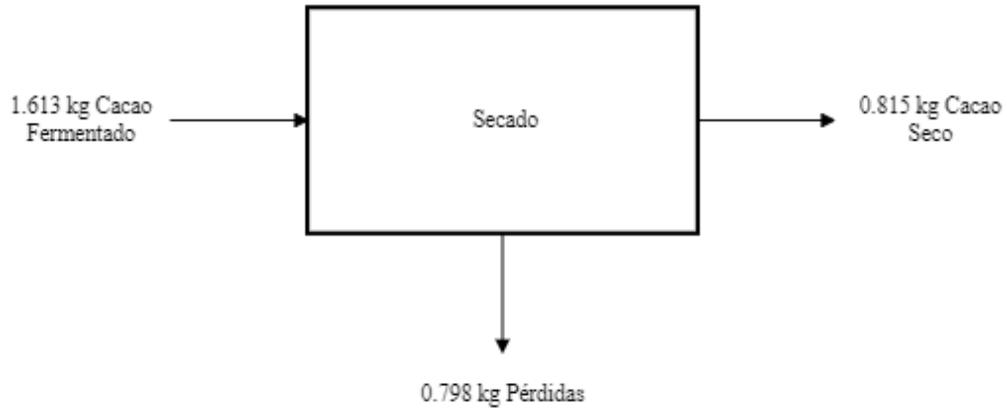


Figura 23. Balance de masa del sistema de secado para la extracción de manteca de cacao con alcalinización



Cuadro 69. Balance de energía del sistema de secado para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.

Energía requerida para el secado				
Energía	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
$Q_{\text{calor Cacao (kJ)}}$	100.10	86.90	95.70	75.90
$Q_{\text{vapor agua (kJ)}}$	186.40	177.19	177.19	193.30
$Q_{\text{total secado (kJ)}}$	286.50	264.09	272.89	269.20

Figura 24. Balance de energía del sistema de secado para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.

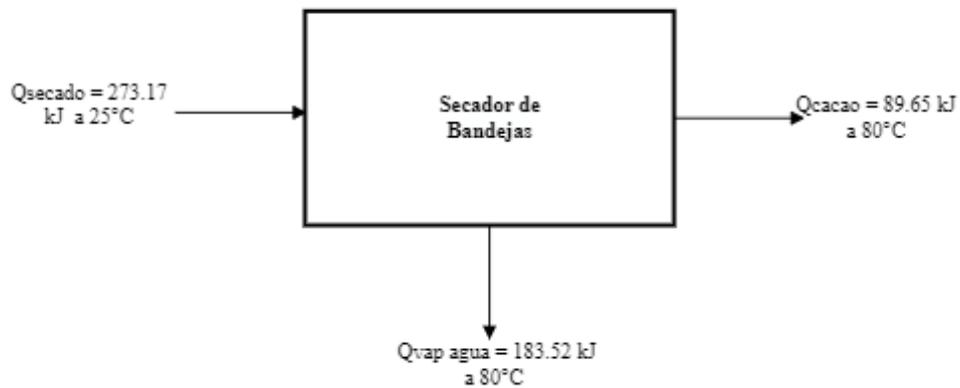
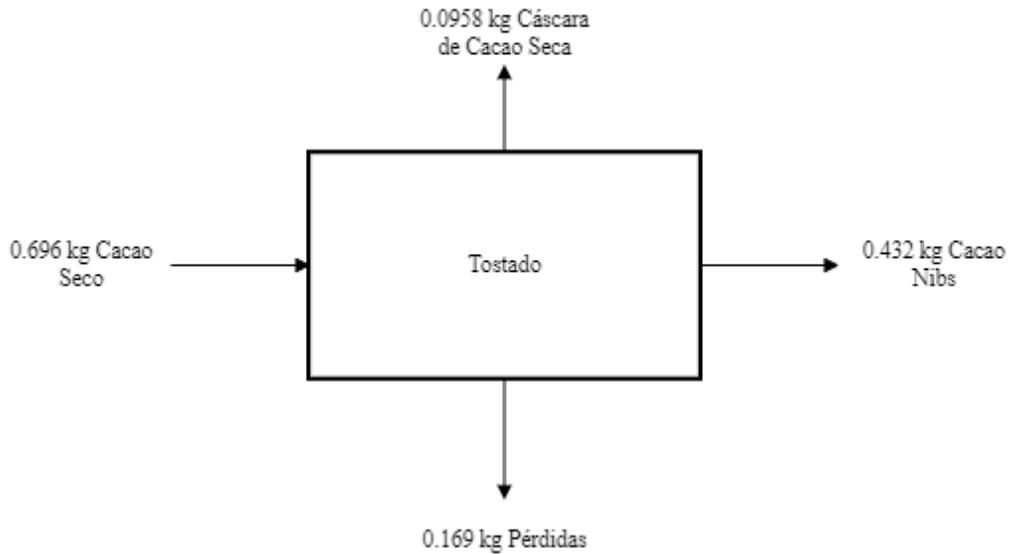


Figura 25. Balance de masa del sistema de tostado para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.



Cuadro 70. Balance de energía del sistema de tostado para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.

Energía requerida para el Tostado				
Energía	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
$Q_{\text{calor Cacao (kJ)}}$	138.50	138.47	117.55	133.00
$Q_{\text{vapor agua (kJ)}}$	149.58	45.50	106.17	51.25
$Q_{\text{total tostado (kJ)}}$	288.08	183.97	223.72	184.25

Figura 26. Balance de energía del sistema de tostado para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.

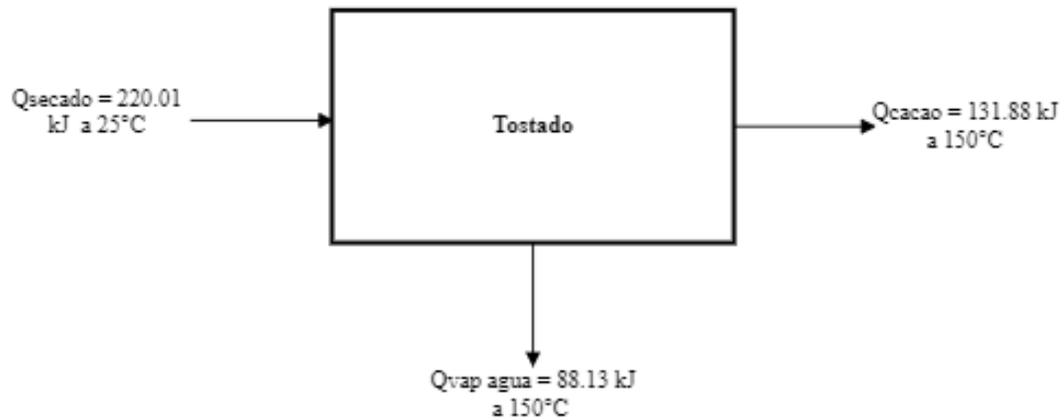
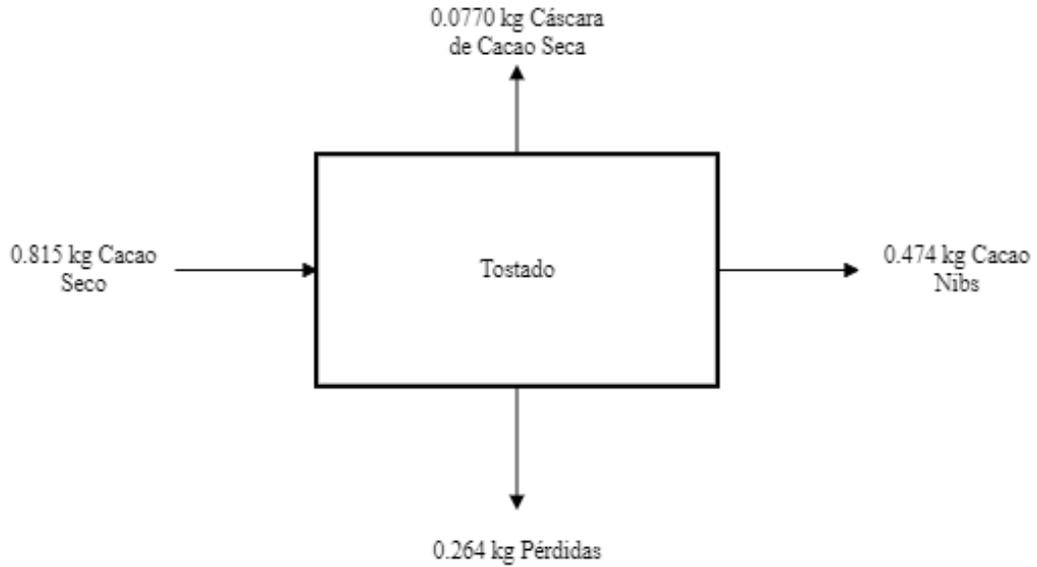


Figura 27. Balance de masa del sistema de tostado para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.



Cuadro 71. Balance de Energía del Sistema de tostado para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.

Energía requerida para el Tostado				
Energía	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
$Q_{\text{calor Cacao (kJ)}}$	152.25	137.25	144.75	116.53
$Q_{\text{vapor agua (kJ)}}$	157.42	126.04	152.19	117.10
$Q_{\text{total tostado (kJ)}}$	309.67	263.29	296.94	233.62

Figura 28. Balance de energía del sistema de tostado para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.

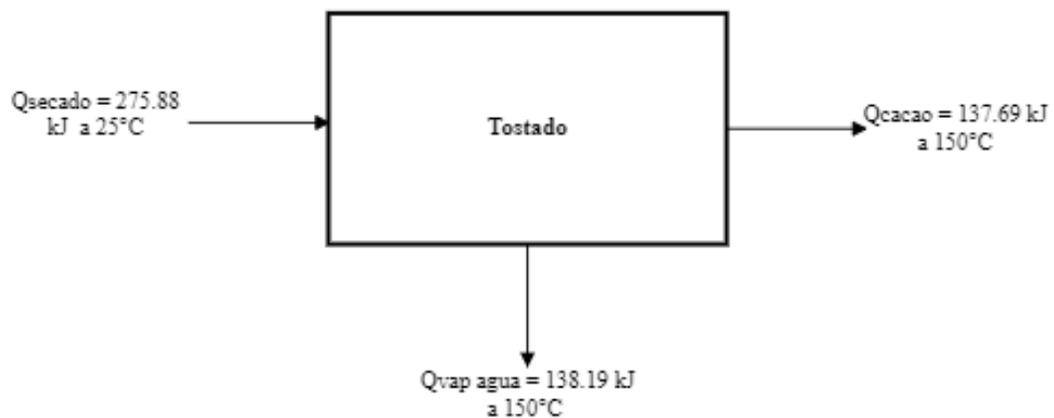


Figura 29. Balance de energía del sistema de tostado para le extracción de manteca de cacao sin alcalinización.

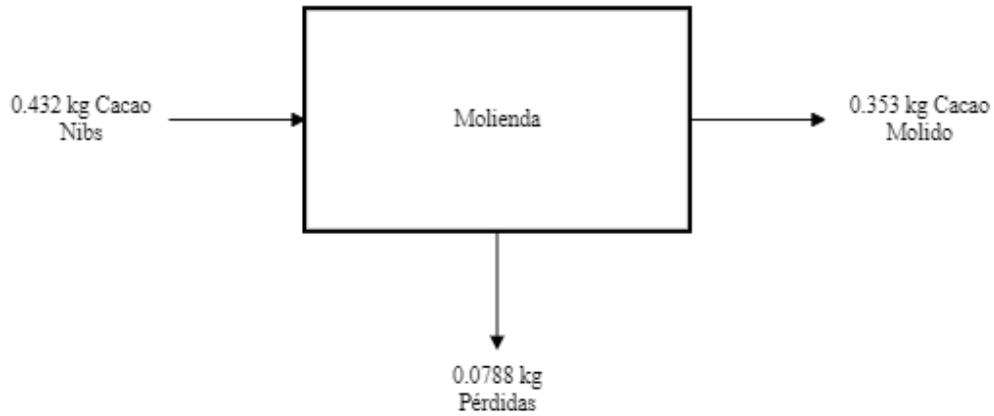


Figura 30. Balance de masa del sistema de molienda para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.

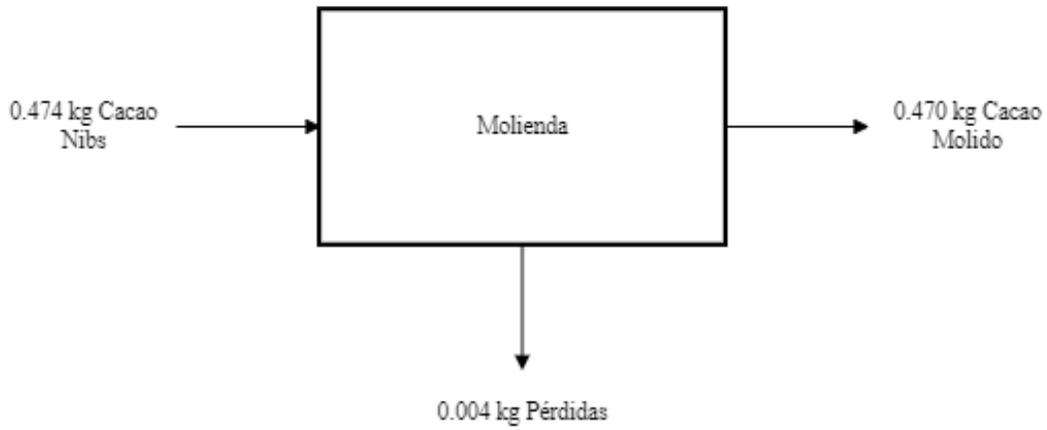
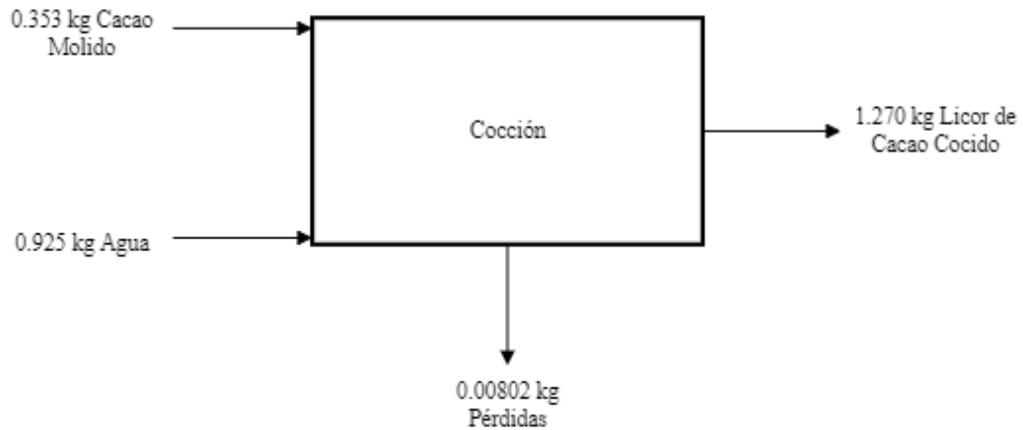


Figura 31. Balance de masa del sistema de cocción para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.



Cuadro 72. Balance de energía del sistema de cocción para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.

Energía requerida para la Cocción				
Energía	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
$Q_{\text{calor Cacao (kJ)}}$	73.27	55.76	56.78	54.23
$Q_{\text{vapor agua (kJ)}}$	248.95	355.64	355.64	355.64
$Q_{\text{fusion manteca (kJ)}}$	40.72	47.81	48.02	47.48
$Q_{\text{licor de cacao (kJ)}}$	0.0005	0.0008	0.0005	0.0009
$Q_{\text{total cocción (kJ)}}$	362.93	459.21	460.44	457.35

Figura 32. Balance de energía del sistema de cocción para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.

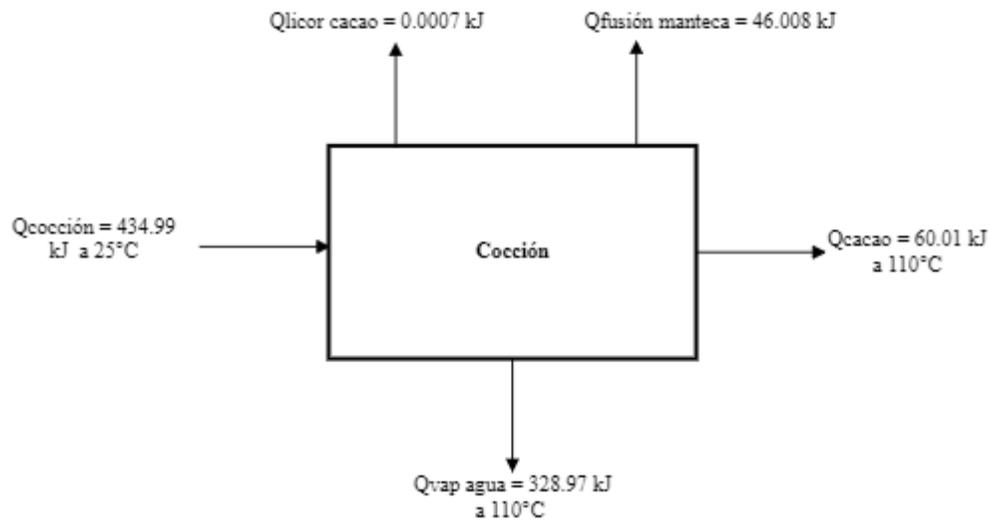
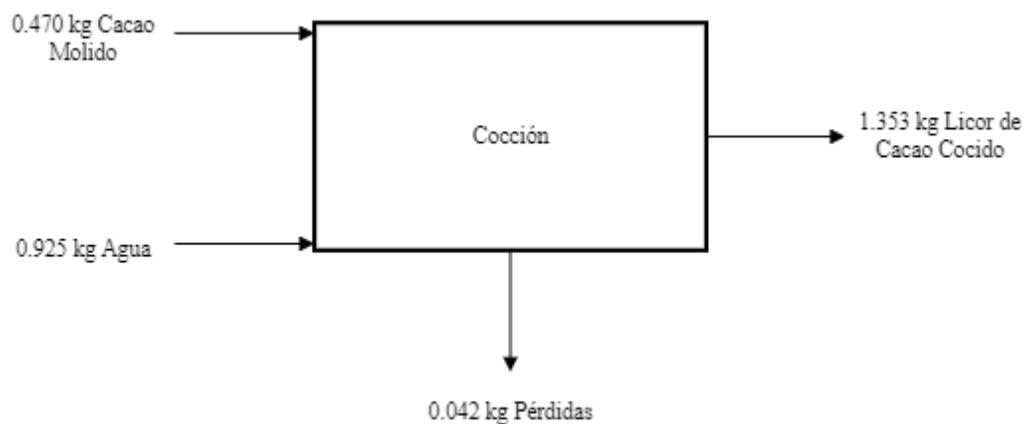


Figura 33. Balance de masa del sistema de cocción para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.



Cuadro 73. Balance de energía del sistema de cocción para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.

Energía requerida para la Cocción				
Energía	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Qcalor Cacao (kJ)	86.70	74.80	81.19	76.45
Qvapor agua (kJ)	248.95	355.64	355.64	355.64
Qfusion manteca (kJ)	43.56	51.84	53.19	52.19
Qlicor de cacao (kJ)	0.0007	0.0008	0.0008	0.0009
Qtotal cocción (kJ)	379.21	482.28	490.03	484.28

Figura 34. Balance de energía del sistema de cocción para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.

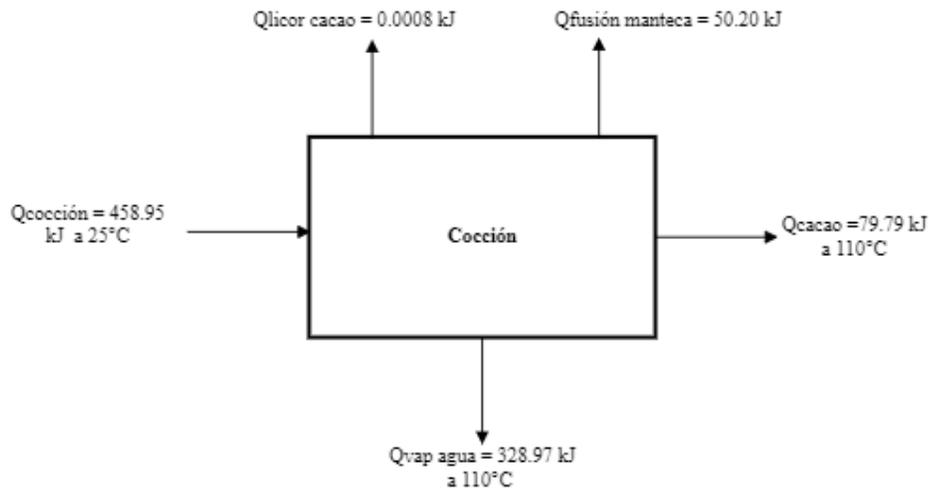


Figura 35. Balance de masa del sistema de prensado para la extracción de manteca de cacao sin alcalinización.

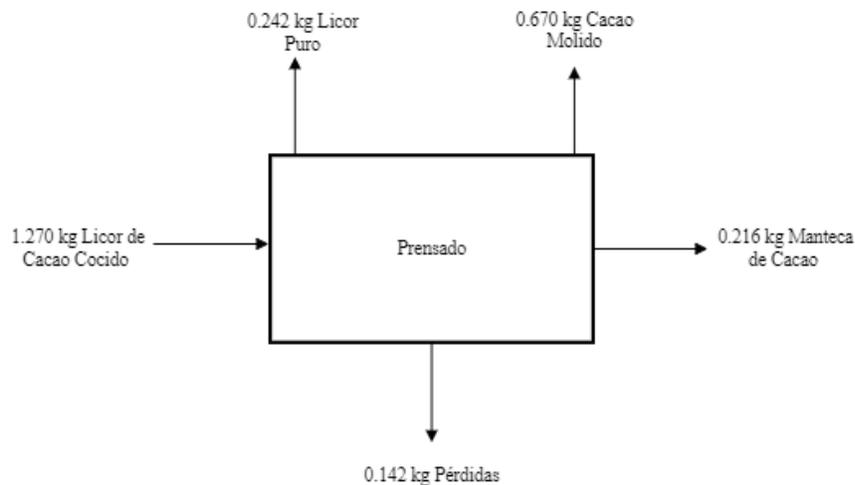
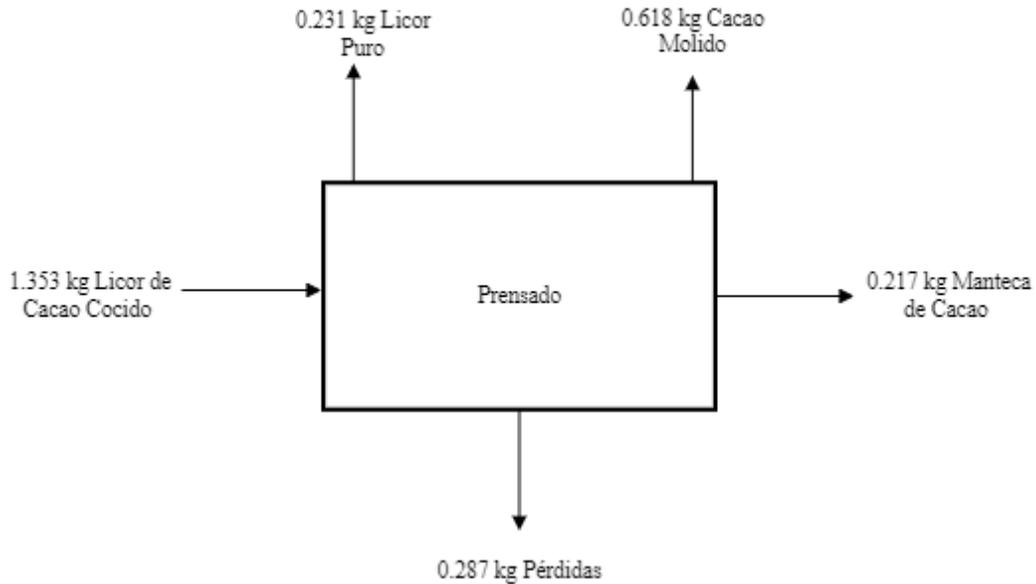


Figura 36. Balance de masa del sistema de prensado para la extracción de manteca de cacao con alcalinización.



c. Cálculos de muestra

Cálculo 1. Cálculo para la determinación de valor de saponificación.

$$V.S. = \frac{(28.05 * (20 - V) * 0.5)}{(M)} = \frac{(28.05 * (20 - 6.5) * 0.5)}{(1.001)} = 189.15 \frac{mg KOH}{g}$$

Donde:

V.S. es Valor de Saponificación

V es Volumen de KOH utilizado para titular

M es la Masa de manteca de cacao utilizada

El cálculo anterior se realizó para determinar el valor de saponificación de la manteca de cacao. Esta expresión se repitió para cada una de las muestras de manteca de cacao alcalinas y no alcalinas.

Cálculo 2. Cálculo para la determinación de valor de saponificación.

$$A.G.L. = \frac{(28.2 * V * N)}{(M)} * 100\% = \frac{(28.2 * 0.009 * 0.1)}{(2.0001)} * 100\% = 1.269\%$$

Donde:

A.G.L. es % de ácidos grasos libres

V es Volumen de KOH utilizado para titular

N es la normalidad de la solución titulante

M es la Masa de manteca de cacao utilizada

El cálculo anterior se realizó para determinar el contenido de ácidos grasos libres presentes en la manteca de cacao. Esta expresión se repitió para cada una de las muestras de manteca de cacao alcalinas y no alcalinas.

Cálculo 3. Cálculo para la determinación de la masa total de entrada en el balance de masa general del proceso de obtención de manteca de cacao.

$$M_{total} = M_c + M_a + M_l + M_{cc} = (2.02 + 0.101 + 0.0202 + 0.7)kg = 2.84 kg$$

Donde:

M_{total} es la masa total a la entrada del sistema

M_c es la masa de cacao

M_a es la masa de agua

M_l es la masa de levadura

M_{cc} es la masa de agua para cocción

El cálculo anterior se realizó para determinar la masa total de entrada para el balance de masa del proceso de obtención de manteca de cacao. Este mismo cálculo se realiza para la masa total de salidas en el balance de masa. Así mismo, este cálculo es repetible para cada una de las partes del proceso y para cada tipo de manteca, alcalina y no alcalina.

Cálculo 4. Cálculo para la determinación del calor del cacao presente en el balance de energía durante el proceso de secado para el proceso de obtención de manteca de cacao.

$$Q_{cal} = M_c * C_{pcacao} * (T_f - T_o) = (0.84 kg) * \left(2,000 \frac{J}{kg * ^\circ C}\right) * (80 - 20)^\circ C = 92,400 J$$

Donde:

Q_{cal} es el calor de cacao

M_c es la masa de cacao

T_f es la temperatura final del cacao

T_o es la temperatura inicial del cacao

El cálculo anterior se realizó para determinar el calor de cacao producido en la etapa de secado para el balance de energía del proceso de obtención de manteca de cacao. Este mismo cálculo se realiza para la determinación de calor del agua en el proceso de secado y también para los procesos de tostado.

Cálculo 5. Cálculo para la determinación del calor total en el balance de energía durante el proceso de secado para el proceso de obtención de manteca de cacao.

$$Q_{total} = Q_{cal} + Q_{vap} = 92,400 J + 197,903.2 J = 290,303.2 J$$

Donde:

Q_{total} es el calor total en el sistema

Q_{cal} es el calor de cacao

Q_{vap} es el calor del agua

El cálculo anterior se realizó para determinar el calor total en el balance de energía producido en la etapa de secado del proceso de obtención de manteca de cacao. Este mismo cálculo se realiza para el calor total del proceso de tostado y de cocción, para ambos tipos de manteca, sumando todos los calores involucrados en el proceso.

Cálculo 6. Cálculo para la determinación del calor de fusión de la manteca de cacao presente en el balance de energía durante el proceso de cocción.

$$Q_{fus} = Ml * Clf = (1.13 \text{ kg}) * \left(36,000 \frac{J}{kg}\right) = 40,680 J$$

Donde:

Q_{fus} es el calor de fusión de la manteca de cacao

Ml es la masa de licor que contiene manteca

Clf es calor latente de fusión de la manteca de cacao

El cálculo anterior se realizó para determinar el calor de fusión de la manteca de cacao producido en la etapa de cocción para el balance de energía del proceso. Este mismo cálculo se realiza para la determinación de calor del licor de cacao implicado en el proceso de cocción, para ambos tipos de manteca.

Cálculo 7. Cálculo para la determinación del porcentaje de rendimiento para el proceso de extracción de manteca de cacao.

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{Mm}{Mn} * 100\% = \frac{(0.228)}{(0.465)} * 100\% = 49.03\%$$

Donde:

Mm es la Masa de la manteca de cacao

Mn es la Masa de los nibs de cacao

El cálculo anterior se realizó para encontrar el rendimiento, o contenido, de manteca de cacao presente en los nibs de cacao. Dicho cálculo se realizó para cada una de las corridas de ambos métodos.

Cálculo 8. Cálculo del tamaño de muestra para la determinación de corridas de manteca de cacao.

$$n = \frac{Z^2 * p * (1 - p)}{E^2} = \frac{(1.96)^2 * (0.5) * (1 - 0.5)}{(0.98)^2} = 4$$

Donde:

n es el tamaño de muestras de manteca de cacao

Z es el valor crítico de la distribución normal estándar para el nivel de confianza del 95%.

P es la proporción estimada de éxito en el proceso (rendimiento).

E es el margen de error.

d. Evidencias fotográficas

Figura 37. Medición de pH al inicio de la fermentación de cacao.



En la figura anterior se muestra la medición del pH del grano de cacao justo al realizar la fermentación. Los granos de cacao son fermentados en cajones fermentadores de plástico cubiertos por hoja de plátano.

Figura 38. Activación de la levadura para fermentación.



En la figura anterior se muestra la activación de la levadura *Saccharomyces Cereviae* utilizando agua tibia a 36°C lista para inicial con la fermentación.

Figura 39. Apariencia física de los granos de cacao al inicio de la fermentación.



En la figura anterior se muestra la apariencia de la fermentación del grano de cacao al inicio, luego de agregar la solución activada de levadura.

Figura 40. Apariencia física de la fermentación de cacao al séptimo día.



En la figura anterior se muestra la apariencia de la fermentación del grano de cacao en cajones fermentadores al séptimo día del proceso. Este cacao ya se encuentra completamente fermentado y muestra con cambio en su coloración indicando la misma.

Figura 41. Prueba de corte del grano de cacao luego del proceso de fermentación.



En la figura anterior se muestra la apariencia física de los granos de cacao luego de 7 días de fermentación, los cuales tienen un color morado-café el cual confirma el proceso de fermentación exitoso del grano de cacao.

Figura 42. Solución alcalina de bicarbonato de sodio.



En la figura anterior se muestra la solución alcalina de bicarbonato de sodio 1:10 lista para ser agregada al cacao fermentado.

Figura 43. Proceso de alcalinización de cacao.



En la figura anterior se muestra el cacao fermentado siendo sometido al proceso de alcalinización, en remojo por 1 hora.

Figura 44. Medición de pH de los granos de cacao luego de la alcalinización.



En la figura anterior se muestra cómo se realiza la medición del pH al cacao luego del proceso de alcalinización.

Figura 45. Proceso de secado de los granos de cacao.



En la figura anterior se muestra el proceso de secado de los granos de cacao. El proceso de secado se realizó en un secador de bandejas durante 4 horas a 80°C para asegurarnos que se elimine la humedad por lo menos al 50%.

Figura 46. Apariencia física de la muestra 1 de cacao alcalino luego del proceso de secado.



La figura anterior muestra un cambio de color café oscuro en el grano de cacao fermentado y alcalinizado luego del proceso de secado.

Figura 47. Apariencia física de la muestra 1 de cacao sin alcalinización luego del proceso de secado.



La figura anterior muestra un cambio de color café leve en el grano de cacao fermentado luego del proceso de secado.

Figura 48. Proceso de tostado de los granos de cacao secos.



En la figura anterior se muestra la manera en la que se realizó el proceso de tostado de los granos de cacao. Este proceso dura aproximadamente 30 minutos hasta observar una apariencia de Quemado que indica el complete tueste del grano.

Figura 49. Apariencia física de la muestra 1 alcalina luego del proceso de tostado.



La figura anterior muestra un el grano de cacao alcalinizado luego del proceso de secado y tostado. Estos granos presentan colores más oscuros y aromas a chocolate.

Figura 50. Apariencia física de la muestra 1 no alcalina luego del proceso de tostado.



La figura anterior muestra un el grano de cacao fermentado luego del proceso de secado y tostado. Con un color marrón-rojizo, olor a chocolate ácido y con señas de un correcto tostado.

Figura 51. Proceso de descascarillado de los granos de cacao tostados.



En la figura anterior se muestra la manera en la que se realizó el proceso de descascarillado del grano de cacao, el cual fue manual, y separó los nibs de cacao de la cascara.

Figura 52. Nibs de cacao.



En la figura anterior se muestra la apariencia física de los nibs de cacao, luego del descascarillado, los cuales tienen un olor muy agradable a chocolate.

Figura 53. Cascarilla de cacao.



En la figura anterior se muestra la apariencia física de la cascarilla de cacao, la cual fue removida manualmente.

Figura 54. Equipo utilizado para la molienda.



En la figura anterior se muestra la licuadora empleada para la molienda de los nibs de cacao debido a su gran potencia y filo.

Figura 55. Apariencia física del cacao molido.



En la figura anterior se muestra la apariencia física del cacao molido, luego de utilizar una licuadora Ninja.

Figura 56. Proceso de cocción.



En la figura anterior se muestra el proceso de cocción, el cual incluye el cacao molido y agua, para agregarle calor y posteriormente, separar la manteca de cacao.

Figura 57. Proceso de prensado.



En la figura anterior se muestra el proceso de prensado, el cual es manual, y separa la manteca de cacao del licor del cacao y se obtiene cacao molido.

Figura 58. Proceso de filtrado.



En la figura anterior se muestra el proceso de filtrado, el cual se realiza utilizando un colador, para separar impurezas de la manteca de cacao obtenida.

Figura 59. Apariencia física de la manteca de cacao líquida.



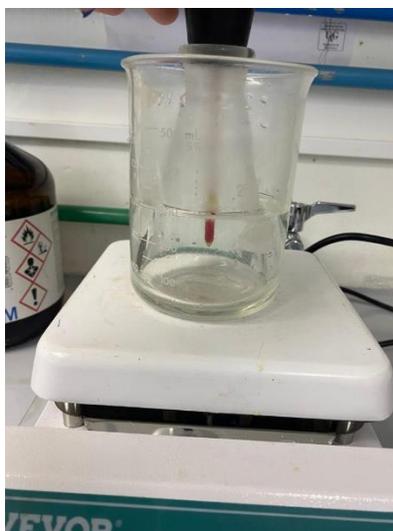
La figura anterior muestra la manteca de cacao obtenida en estado líquido.

Figura 60. Apariencia física de la manteca de cacao sólida.



La figura anterior muestra la Manteca de cacao obtenida en estado sólido, luego de ser refrigerada.

Figura 61. Determinación del punto de fusión de la manteca de cacao.



La figura anterior muestra la forma experimental de obtener el punto de fusión de la manteca de cacao, el cual fue determinado en el laboratorio de operaciones unitarias.

Figura 62. Agitación en vortex de la manteca de cacao esterificada.



La figura anterior muestra la agitación, utilizando un Vortex, de la manteca de cacao esterificada para poder ser analizada por el cromatógrafo de gas.

Figura 63. Volumen utilizado para titular y determinar el valor de saponificación de la manteca de cacao.



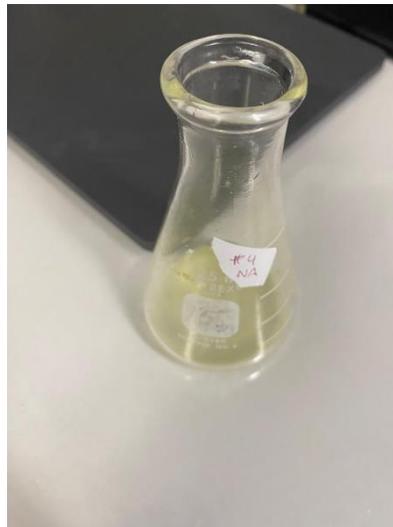
La figura anterior muestra el volumen de KOH utilizado para titular y determinar el valor de saponificación de la Manteca de cacao, el cual fue realizado en cuadruplicado, uno para cada muestra de manteca.

Figura 64. Solución antes y después de la titulación para determinar el valor de saponificación de la manteca de cacao.



La figura anterior muestra la solución ácida con Manteca de cacao y fenolftaleína para determinar el volumen de KOH utilizado para titular y determinar el valor de saponificación de la manteca.

Figura 65. Solución luego de ser titulada para encontrar el contenido de ácidos grasos libres presentes en la manteca de cacao.



La figura anterior muestra el resultado de la titulación para determinar el contenido de ácidos grasos presentes en la Manteca de cacao.

e. Información adicional

2. Certificado de análisis de la manteca de cacao

MakingCosmetics Inc. es una empresa que se dedica a la fabricación y suministro de ingredientes y suministros para la fabricación de productos cosméticos y de cuidado personal. La empresa ofrece una amplia gama de ingredientes y materias primas utilizadas en la formulación y producción de productos cosméticos, desde cremas y lociones hasta maquillaje y productos para el cuidado del cabello (MakingCosmetics Inc., 2023).

Algunos de los productos y servicios que suelen ofrecer las empresas como MakingCosmetics Inc. incluyen:

- Ingredientes cosméticos: Suministran una variedad de ingredientes activos, aceites esenciales, extractos de plantas, emulsionantes, conservantes y otros ingredientes utilizados en la formulación de productos cosméticos (MakingCosmetics Inc., 2023).
- Materias primas: Proporcionan materias primas de alta calidad que cumplen con los estándares de calidad y seguridad necesarios para la fabricación de productos cosméticos (MakingCosmetics Inc., 2023).
- Kits de fabricación: Pueden ofrecer kits de fabricación que contienen todos los ingredientes y materiales necesarios para que las personas o empresas fabriquen sus propios productos cosméticos.
- Asesoramiento Técnico: Algunas empresas como MakingCosmetics Inc. pueden brindar asesoramiento técnico y soporte en la formulación de productos cosméticos (MakingCosmetics Inc., 2023).
- Envases y etiquetas: También pueden ofrecer una variedad de envases y etiquetas personalizables para productos cosméticos (MakingCosmetics Inc., 2023).

Estas empresas suelen ser un recurso importante para fabricantes de cosméticos, desde pequeñas empresas emergentes hasta grandes empresas de la industria de la belleza y el cuidado personal. Proporcionan acceso a una amplia gama de ingredientes y conocimientos técnicos que permiten a las empresas desarrollar y fabricar productos cosméticos de alta calidad (MakingCosmetics Inc., 2023).

Por otro lado, la empresa MakingCosmetics Inc. Desarrolló un certificado de análisis (COA), que contiene análisis fisicoquímicos significativos para la determinación de la manteca de cacao con la finalidad de que los análisis realizados a la manteca de cacao brinde resultados que se encuentran dentro de los rangos establecidos para confirmar que, efectivamente, se cuenta con manteca de cacao (MakingCosmetics Inc., 2023).

Figura 66. Certificado de análisis de la manteca de cacao por MakingCosmetics Inc.



Certificate of Analysis
(Representative Sample Certificate)

Product Name: Cocoa Butter, Organic
INCI Name: Theobroma cacao (Cocoa butter)
CAS Number: 8002-31-2
Lot Number: Not available (data may vary slightly with different lots or batches)
Expiration Date: 36 months from production date

Analytical Tests	Specification	Analysis
Free Fatty Acid	1.75 Maximum	1.00
Melting Point	30-38 °C	32.80
Saponification Value	188-200	193

The above data were obtained using the test indicated and is subject to the deviation inherent in the test method. Results may vary under other test methods or conditions.

This report is not to be signed.

Disclaimer: This information relates only to the specific material designated and may not be valid for such material used in combination with any other materials or in any other process. Such information is to be the best of the company's knowledge and believed accurate and reliable as of the date indicated. However, no representation, warranty or guarantee of any kind, express or implied, is made as to its accuracy, reliability or completeness and we assume no responsibility for any loss, damage or expense, direct or consequential, arising out of use. It is the user's responsibility to satisfy himself as to the suitability & completeness of such information for his own particular use.

MakingCosmetics.com Inc.
10800 231st Way NE, Redmond, WA 98053
Phone 425-292-9502 Fax 425-292-9601 www.makingcosmetics.com

(MakingCosmetics Inc., 2023)

XIII. GLOSARIO

- Acético: Perteneciente o relativo al vinagre o sus derivados (Real Academia Española, 2023).
- Aeróbico: Que se produce con la utilización de oxígeno libre (Real Academia Española, 2023).
- Alcalinización: Poner álcali en una sustancia para convertirla en alcalina (Real Academia Española, 2023).
- Anaeróbica: Que se produce sin la utilización de oxígeno libre (Real Academia Española, 2023).
- Balance de masa: Aplicación práctica de la Ley de conservación de la materia. Dicha ley, nos indica que toda la masa que entra a un sistema sale y/o se acumula, según el tipo de sistema que tengamos (Química.Es, 2023).
- Bulbo: Parte del termómetro que contiene un fluido y responde a los cambios de temperatura, permitiendo medir la temperatura de manera precisa (Química.Es, 2023).
- Cacaotero: Relacionado al cacao (Real Academia Española, 2023).
- Cromatógrafo: Instrumento que realiza un método de análisis que permite la separación de gases o líquidos de una mezcla por adsorción selectiva, produciendo manchas diferentemente coloreadas en el medio adsorbente; está basado en la diferente velocidad con la que se mueve cada fluido a través de una sustancia porosa (Química.Es, 2023).
- Fisicoquímico: Rama de la ciencia que estudia la interrelación entre las propiedades físicas y químicas de una sustancia (Real Academia Española, 2023).
- Hidrólisis: Reacción química del agua con una sustancia (Química.Es, 2023).
- Inhibición: Impedir o reprimir el ejercicio de facultades o hábitos (Real Academia Española, 2023).
- Nibs: Pequeños trozos de granos de cacao fragmentados, que tienen un sabor amargo y a chocolate (Química.Es, 2023).
- Pipeta Pasteur: Instrumento volumétrico de laboratorio que permite medir alícuotas de líquido con bastante precisión (Química.Es, 2023).
- Saponificación: Reacción química entre un ácido graso y una base o álcali, en la que se obtiene como principal producto la sal de dicho ácido y la base (Química.Es, 2023).
- Tamiz: Cedazo muy tupido (Real Academia Española, 2023).