ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

EVALUACIÓN Y ANÁLISIS TÉCNICO FINANCIERO DEL PROCESO DE PRENSADO DE LICOR DE CACAO *(Theobroma cacao)* PARA LA OBTENCIÓN DE MANTECA Y POLVO DE CACAO

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

MYRIAM ALEJANDRA EGAS CHÁVEZ
ale_mlts@yahoo.com

DIRECTOR: ING. EDWIN VERA Ph.D.
edwin.vera@epn.edu.ec

Quito, septiembre 2015

© Escuela Politécnica Nacional (2015)

Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Myriam Alejandra Egas Chávez, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Myriam Alejandra Egas Chávez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Myriam Alejandra Egas Chávez bajo mi supervisión.

_____

Edwin Vera Ph.D.

DIRECTOR DE PROYECTO

AUSPICIO

La presente investigación contó con el auspicio financiero del proyecto semilla PIS 12-22 “Optimización del proceso de obtención de chocolate a partir de almendras de cacao producidas en las zonas tropicales de Ecuador”, que se ejecuta en el Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB).

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer principalmente a Dios porque en cada paso he podido sentir Su mano y por todas las bendiciones que ha puesto en mi camino como la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres Eduardo y Miriam por su confianza en mí, su amor infinito y por siempre estar a mi lado apoyándome.

A mis hermanos Karina y José por su amor, paciencia, por escucharme y animarme cuando lo necesitaba, por su apoyo incondicional y por ser mis mejores amigos. Mis abuelitas Clelia y María Rosario quienes siempre tenían una sonrisa para mí, sus valiosos consejos y gran sabiduría.

Un agradecimiento especial al Ing. Edwin Vera Calle Ph.D por su compromiso con este proyecto, por compartir su valioso conocimiento, su esfuerzo y paciencia.

A mis amigos Jessenia, Cris, Cristian y Armando por la ayuda y ánimo que me brindaron en este tiempo y a todos mis amigos con quienes he compartido estos años de educación superior. A Mis amigos y líderes de la iglesia quienes han sido un ejemplo de fe y me han fortalecido todos estos años.

DEDICATORIA

A Dios y mi familia, mis padres, mis hermanos y Camila, quienes son lo que más amo, mi mayor bendición y el puntal principal en mi vida.

INDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	**x**
INTRODUCCIÓN	**xii**
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	**1**
1.1. Subproductos del cacao en el ecuador	3
1.2. Proceso productivo de manteca y polvo de cacao	6
1.2.1 Proceso post cosecha del cacao	6
1.2.2 Recepción y limpieza	7
1.2.3 Tostado	8
1.2.4 Descascarillado	9
1.2.5 Molienda	10
1.2.6 Alcalinizado	12
1.2.7 Extracción de manteca	14
1.2.7.1. Manteca de cacao	14
1.2.7.2. Extracción por prensado	15
1.2.7.3. Métodos no convencionales de separación	18
1.2.8 Obtención del polvo de cacao	20
1.2.8.1. Polvo de cacao	22
1.2.8.2. Propiedades instantáneas del polvo de cacao	23
1.3. Influencia de diferentes condiciones de operación en el rendimiento de la extracción de manteca	25
1.3.1. Presión	25
1.3.2. Temperatura	26
1.3.3. Tiempo de prensado	28
1.3.4. Humedad	29
1.3.5. Tamaño de partícula	30
2. MATERIALES Y MÉTODOS	**32**
2.1. Obtención y caracterización de licor de cacao.	32
2.1.1. Recepción y limpieza	32
2.1.1.1. Humedad	32
2.1.1.2. Acidez titulable	33
2.1.1.3. pH	33
2.1.1.4. Peso de 100 granos de cacao	33
2.1.2. Tostado	34

2.1.3. Clasificacion 34
2.1.4. Molienda 34
2.1.5. Alcalinización 35
2.1.6. Caracterización de licor alcalinizado 35

2.2. Evaluación de diferentes condiciones de operación en la obtención de manteca de cacao 37

2.2.1. Diseño experimental 37
2.2.2. Caracterización del filtro 37
2.2.3. Acondicionamiento de la muestra 37
2.2.4. Prensado 38
2.2.5. Determinación del rendimiento 38
2.2.6. Determinación del contenido de grasa residual 39
2.2.7. Obtención de polvo de cacao 39
2.2.8. Determinación de las propiedades físicas del polvo de cacao 39
2.2.8.1. Color 39
2.2.8.2. Análisis granulométrico 39
2.2.8.3. Dispersabilidad 40
2.2.8.4. Humectabilidad 41
2.2.8.5. Insolubilidad 41
2.2.8.6. Absorción de humedad 42

2.3. Selección del mejor tratamiento de prensado 42

2.4. Caracterización de los productos del tratamiento seleccionado 42

2.4.1. Manteca de cacao 42
2.4.2. Polvo de cacao 44

2.5. Diseño de una planta procesadora de licor de cacao para la obtención de manteca y torta de cacao. 44

2.6. Análisis económico de la implementación de una planta productora de manteca y polvo de cacao. 45

3. DISCUCIÓN DE RESULTADOS 46

3.1. Obtención y caracterización de licor de cacao. 46

3.1.1. Recepción 46
3.1.2. Limpieza y tostado 47
3.1.3. Clasificación 48
3.1.4. Molienda 49

3.1.4.1. Análisis químicos 49
3.1.4.2. Color 50
3.1.5. Alcalinización 50
3.1.6. Caracterización del licor alcalinizado 51
3.1.6.1. Tamaño de partícula 51
3.1.6.2. Análisis químicos 51
3.1.6.3. Color 53

3.2. Evaluación de diferentes condiciones de operación en la obtención de manteca de cacao 54

3.2.1. Caracterización del filtro de lona 54
3.2.2. Influencia sobre el rendimiento 55
3.2.2.1. Presión 57
3.2.2.2. Temperatura 58
3.2.2.3. Altura de llenado 60
3.2.3. Influencia sobre el contenido de grasa residual 62
3.2.4. Influencia sobre las propiedades físicas del polvo de cacao 64
3.2.4.1. Color 64
3.2.4.2. Tamaño de partícula 65
3.2.4.3. Diámetro medio 66
3.2.4.4. Superficie específica 67
3.2.4.5. Humectabilidad 68
3.2.4.6. Dispersabilidad 70
3.2.4.7. Insolubilidad 72
3.2.4.8. Absorción de humedad 74

3.3. Selección del mejor tratamiento de prensado 76

3.4. Caracterización de los productos del tratamiento seleccionado 77

3.4.1. Caracterización de la manteca de cacao 77
3.4.2. Caracterización del polvo de cacao 78

3.5. Diseño de una planta procesadora de licor de cacao para la obtención de manteca y torta de cacao 80

3.5.1. Ingeniería conceptual 80
3.5.1.1. Definición del producto 80
3.5.1.2. Capacidad y localización de la planta 80
3.5.1.3. Disponibilidad de materia prima e insumos 81
3.5.1.4. Servicios industriales 82
3.5.2. Ingeniería básica 82
3.5.2.1. Diseño del proceso tecnológico 82
3.5.2.2. Balance de energía 89

3.5.2.3. Vapor necesario en planta 89
3.5.2.4. Dimensionamiento del caldero 90
3.5.2.5. Requerimiento de combustible 90
3.5.2.6. Programa de trabajo 91

3.6. Análisis económico de una planta productora de manteca y polvo de cacao 92
3.6.1. Inversiones 92
3.6.2. Costos de operación 93
3.6.3. Punto de equilibrio 95
3.6.4. Flujo de caja 96

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 99

4.1. Conclusiones 99

4.2. Recomendaciones 101

BIBLIOGRAFÍA 102

ANEXOS 109

INDICE DE TABLAS

PÁGINA

Tabla 1.1.	Cantidad exportada por las principales empresas productoras de semielaborados de cacao en el Ecuador, en noviembre de 2012, expresado en TM	5
Tabla 1.2.	Parámetros de calidad para licor de cacao	12
Tabla 1.3.	Composición nutricional del licor de cacao	11
Tabla 1.4.	Cantidad máxima de álcali en kg y mol por cada 100 kg de licor de cacao	13
Tabla 1.5.	Propiedades físico-químicas de la manteca de cacao	15
Tabla 1.6.	Comparación entre métodos de extracción	20
Tabla 1.7.	Parámetros de calidad del polvo de cacao	22
Tabla 2.1.	Tratamientos para la evaluación del rendimiento de extracción en el prensado	37
Tabla 3.1.	Caracterización físico-química de granos de cacao CCN-51 fermentados y secos	46
Tabla 3.2.	Caracterización de cacao en grano tostado	48
Tabla 3.3.	Caracterización de cacao en grano tostado	49
Tabla 3.4.	Coordenadas CIELAB de color en licor de cacao	50
Tabla 3.5.	Caracterización química del licor de cacao alcalinizado	52
Tabla 3.6.	Coordenadas CIELAB de color en licor de cacao alcalinizado	53
Tabla 3.7.	Análisis de varianza para rendimiento de extracción	61
Tabla 3.8.	Análisis de Varianza (ANOVA) de la presión, temperatura y altura de llenado sobre el contenido de grasa residual	63
Tabla 3.9.	Coordenadas CIELAB de color en las muestras de polvo de cacao en cada tratamiento	64
Tabla 3.10.	Diámetro medio de partícula en cada tratamiento de prensado	66
Tabla 3.11.	Análisis de Varianza (ANOVA) de la presión, temperatura y altura de llenado sobre la humectabilidad del polvo de cacao	70
Tabla 3.12.	Análisis de Varianza (ANOVA) de la presión, temperatura y altura de llenado sobre el porcentaje de dispersabilidad del polvo de cacao	71
Tabla 3.13.	Análisis de Varianza (ANOVA) y grupos homogéneos de la presión, temperatura y altura de llenado sobre la insolubilidad del polvo de cacao	73

Tabla 3.14. Análisis de Varianza (ANOVA) de la presión, temperatura y altura de llenado sobre la absorción de humedad del polvo de cacao 75
Tabla 3.15. Caracterización de la manteca de cacao obtenida del tratamiento seleccionado (T8) 77
Tabla 3.16. Caracterización del polvo de cacao obtenida del tratamiento con 32 MPa, 100 °C y 28 cm 79
Tabla 3.17. Lista de equipos por área de producción y proceso 83
Tabla 3.18. Diagrama de Gantt 91
Tabla 3.19. Inversión total del proyecto 93
Tabla 3.20. Costos de producción anuales para la producción de manteca y polvo de cacao 94
Tabla 3.21. Costo de operación anual 94
Tabla 3.22. Costo unitario por kg de manteca y kg de polvo de cacao 95
Tabla 3.23. Flujo de caja 97
Tabla 3.24. Indicadores Financieros (TIR, VAN) 98
Tabla AIII.1. Determinación del diámetro medio para cada tratamiento 115
Tabla AIII.2. (Continuación) Determinación del diámetro medio para cada tratamiento 116
Tabla AVII.3. Activo diferido 137
Tabla AVII.4. Inversión en equipos y muebles de oficina 138
Tabla AVIII.1. Costos de materia prima anual 139
Tabla AVIII.2. Costos de materiales indirectos anuales 139
Tabla AVIII.3. Costos de mano de obra 140
Tabla AVIII.4. Costos suministros 141
Tabla AVIII.5. Costos de administración 141
Tabla AVIII.6. Costos de ventas 141
Tabla AIX.1. Punto de equilibrio 142

INDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1.1.	Planta de cacao CCN-51	1
Figura 1.2.	Participación en las exportaciones por productos primarios en el 2013	2
Figura 1.3.	Exportación por productos industrializados hasta el 2013	3
Figura 1.4.	Exportaciones ecuatorianas de cacao y sus derivados expresados en TM.	4
Figura 1.5.	Participación en las exportaciones de derivados del cacao desde el 2007 al 2012 (Proecuador, 2012, p. 11)	4
Figura 1.6.	Porcentaje de participación de los principales destinos de exportación de semielaborados en el 2013	5
Figura 1.7.	Prensa hidráulica horizontal	16
Figura 1.8.	Etapas del prensado hidráulico batch en semillas oleaginosas.	18
Figura 1.9.	Molino para torta de cacao	21
Figura 1.10.	Rendimiento de extracción de aceite en diferentes semillas oleaginosas	26
Figura 1.11.	Rendimiento de extracción con incremento en la temperatura en habas de cacao a 30 MPa (Venter, 2006, p. 21)	27
Figura 1.12.	Índice de consolidación de la torta obtenida de granos de cacao a 40, 80 y 100 °C. (Uc: índice de consolidación de la torta de cacao)	27
Figura 1.13.	Rendimiento de extracción en función del tiempo de prensado	28
Figura 1.14.	Rendimiento en función del contenido de humedad en base seca, ▲ 40 °C y 30 MPa, Δ 40 °C y 50 MPa, ● 100 °C y 30 MPa.	29
Figura 1.15.	Rendimiento de extracción con molienda gruesa y fina	30
Figura 2.1.	Esquema de una prensa hidráulica de laboratorio modificada (no a escala)	38
Figura 3.1.	Control de la temperatura en la superficie de los granos de cacao durante el tostado	47
Figura 3.2.	Variación de pH durante el tiempo de alcalinización	51
Figura 3.3.	Rendimiento de extracción de manteca de cacao en cada tratamiento	55
Figura 3.4.	Predicción del rendimiento de extracción conforme incrementa la presión (100 °C y 28 cm)	57
Figura 3.5.	Comparación de rendimientos cuando incrementa la presión.	58

Figura 3.6. Comparación de rendimientos de extracción de manteca cuando se produce un incremento de temperatura 59
Figura 3.7. Comparación del rendimiento de extracción cuando incrementa la altura de llenado 60
Figura 3.8. Contenido de grasa residual en cada tratamiento 62
Figura 3.9. Porcentaje de grasa residual en la torta de cacao cuando incrementa la presión, temperatura de extracción: 100 °C 64
Figura 3.10. Curva granulométrica del polvo de cacao en cada tratamiento para un tamaño de partículas comprendido entre 0,04 y 0,18 mm 65
Figura 3.11. Superficie específica de muestras de polvo de cacao obtenidas en cada tratamiento 67
Figura 3.12. Humectabilidad del polvo de cacao para cada tratamiento 68
Figura 3.13. Porcentaje de dispersabilidad en cada tratamiento 70
Figura 3.14. Insolubilidad en cada tratamiento 72
Figura 3.15. Humedad del polvo de cacao después de dos meses de almacenamiento, t=0 tiempo después del prensado, t=2 después de 2 meses de almacenamiento. 74
Figura 3.16. Diagrama de bloques del proceso de producción de manteca y polvo de cacao 84
Figura 3.17. Diagrama de flujo del proceso de producción de manteca y polvo de cacao 87
Figura 3.18. Distribución en planta de una planta productora de manteca y polvo de cacao 88
Figura 3.19. Estructura organizacional 92
Figura 3.20. Punto de equilibrio 96
Figura AII.1. Coordenadas de color CIELAB 114

INDICE DE ANEXOS

PÁGINA

ANEXO I
Determinación de polifenoles solubles totales eliminando vitamina c 110

ANEXO II
Coordenadas de color CIELAB 114

ANEXO III
Determinación de diámetro medio en muestras de polvo de cacao de cada tratamiento 115

ANEXO IV
Determinación de la superficie específica de muestras de polvo de cacao de cada tratamiento 118

ANEXO V
Hojas de especificación 119

ANEXO VI
Balance de energía 131

ANEXO VII
Determinación de la inversión total anual 136

ANEXO VIII
Costo de operación 139

ANEXO IX
Punto de equilibrio 142

RESUMEN

En el Ecuador se producen principalmente dos variedades de cacao, el fino de aroma conocido como Nacional y el cacao clonal o “CCN-51”, este último se caracteriza por su excelente productividad y resistencia a enfermedades. A pesar de que el Ecuador posee variedades de cacao reconocidas a nivel mundial, la industria de procesamiento de cacao no se ha impulsado considerablemente en nuestro país.

El objetivo de este proyecto es determinar las mejores condiciones de operación en el prensado de licor de cacao, una de las operaciones del proceso de industrialización de almendras de cacao, cuyo propósito es separar la materia grasa y las partículas sólidas del licor de cacao que constituyen la torta, la misma que es triturada para obtener polvo de cacao.

Para esta investigación se procesó granos de variedad CCN-51, se realizó una caracterización inicial donde se efectuaron análisis físico químicos, seguido de un proceso de limpieza, tostado a 110 °C - 140°C durante 35 min - 40 min, descascarillado, molienda y alcalinización con carbonato de potasio al 1,5 % a 90 °C durante 8 h para obtener licor de cacao alcalinizado, el mismo que fue caracterizado físico químicamente. Se determinaron los siguientes parámetros de calidad: tamaño de partícula, pH, contenido de grasa, humedad, cenizas totales, color y se cuantificó el contenido de polifenoles de acuerdo al método de Folin-Ciocalteu’s antes y después de la alcalinización; se encontró que el contenido de polifenoles disminuyó después del proceso de alcalinización en un 15,37 %.

El prensado se realizó en una prensa hidráulica tipo batch, para la evaluación de este proceso se aplicó un diseño factorial de 2^3 donde se evaluó tres variables con dos niveles cada una, presión a 16 y 32 MPa, temperatura a 90 y 100°C y el cilindro de prensado completamente lleno (14 cm) y lleno a la mitad (28 cm). Como variables de salida se tomó el rendimiento de la manteca de cacao extraída, y las propiedades físicas en el polvo de cacao como dispersabilidad, humectabilidad, solubilidad, color y absorción de humedad.

Se realizó un análisis de varianza ANOVA con un 95% de confianza. Se observó que conforme incrementa la presión, la temperatura o la altura de llenado también incrementa el rendimiento de extracción, los tres factores influyen significativamente, pero se determinó que la presión tiene mayor efecto ($P<0.05$), al elevar la presión se encontró que el rendimiento incrementa aproximadamente en un 14,25 % mientras que al aumentar la temperatura y la altura de llenado incrementa en 7,35 % y 7,07 % respectivamente.

El mayor rendimiento de extracción fue en el tratamiento realizado con presión de 32 MPa, temperatura de 100 °C y con el cilindro de prensado completamente lleno (28 cm), el rendimiento obtenido fue de 75,2 ± 2,47 % (m/m). El polvo de cacao con 20,57 % de contenido graso proveniente del mismo tratamiento presentó las siguientes propiedades físicas: dispersabilidad 23,0 ± 2,42 %, humectabilidad 39,7 ± 4,86 s e insolubilidad 17,9 ± 0,86 %, lo que indica que estas propiedades se encuentran dentro de los rangos deseados para polvo de cacao comercial.

La manteca y polvo de cacao obtenidos fueron caracterizados físico químicamente para verificar el cumplimiento de las normas de calidad. El polvo de cacao presentó un contenido de humedad menor al 2 %, cenizas totales 2,5 ± 0,21 %, alcalinidad de las cenizas 1,09 ± 0,02 % (g K_2CO_3/100 g) y una concentración de polifenoles totales de 61,2 ± 5,57 mgAG/g. Todos los parámetros se encuentran dentro de los rangos establecidos para polvo de cacao comercial. En la manteca de cacao se encontró que el índice de peróxido es de 1,66 meq/kg, el índice de Yodo 35,15 cgI/g, la acidez titulable 1,33 mg/g y polifenoles totales 4,47 mgAG/g.

Adicionalmente se realizó el diseño de una planta productora de manteca y polvo de cacao a partir de licor de cacao donde se consideró una capacidad de 1068,72 kg/h y la distribución en planta se estableció en forma de L adaptada. Se realizó un análisis económico donde se determinó la viabilidad de acuerdo a los indicadores financieros. Se determinó un VAN de $ 3 402 509, TIR igual a 35,93 %, lo que indica que la implementación de esta planta de producción si es un proyecto viable.

INTRODUCCIÓN

El Ecuador se encuentra situado en la zona ecuatorial lo que le atribuye excelentes condiciones geográficas y riqueza en recursos biológicos, esto permite que se desarrollen las condiciones ideales para la producción de cacao (Banco Central del Ecuador, 2013, p. 23).

En el Ecuador existen dos variedades de cacao: el cacao clonal (CCN-51) y el cacao "Nacional" o Arriba que se distingue por sus excepcionales características organolépticas por lo que se le llama también fino de aroma. Hasta el 2013, se registró 25% de cacao CCN-51 y 75% de cacao nacional, del total de las exportaciones ecuatorianas (Anecacao, 2013). Existe una pequeña parte de la industria que se dedica a la transformación del cacao, de donde se obtienen productos elaborados como el chocolate y semielaborados como el licor de cacao, manteca y cacao en polvo. (Revista el Agro, 2012)

A pesar de que en los últimos años se ha incrementado la exportación de productos semielaborados y elaborados de cacao, hasta diciembre de 2013 se registró solamente alrededor del 13 % de exportación de semielaborados del total de exportaciones de cacao en Ecuador (Anecacao, 2013). Aún existe interés por desarrollar la industria de la transformación del cacao en el Ecuador, es por esto que el CONSEP se encuentra interesado en la implementación del Sello de Desarrollo Preventivo Alternativo, este programa consiste en incrementar la participación de los habitantes de Sucumbíos en actividades de producción relacionados con la industrialización de cacao y sus derivados.

En este proyecto se procesará cacao clonal (CCN-51) debido a que es de fácil acceso en el mercado, presenta mayor rendimiento y mejor resistencia a enfermedades por lo que es más económico que el cacao fino de aroma. A partir de los granos de cacao se obtendrá semielaborados como pasta, manteca y polvo de cacao.

Uno de los procesos determinantes en la obtención de semielaborados como manteca y polvo de cacao es la operación de prensado, donde se eleva la presión y temperatura. A través de un filtro se retiene los sólidos y la manteca fluye hacia el exterior.

El rendimiento de la extracción depende principalmente de la presión y temperatura a la cual se realice el proceso. Cuando la temperatura de prensado se eleva hasta 100°C, disminuye considerablemente la viscosidad de la manteca, por lo que durante la extracción permite que fluya con mayor facilidad. La temperatura de prensado debe estar entre 80 y 100°C (Venter et al., 2006, p.352; Venter, 2006, p.20).

La presión en el interior del cilindro que contiene el licor de cacao es el factor que tiene mayor influencia en el prensado, a mayor presión se obtiene mayor rendimiento de extracción, cuando se incrementa la presión el émbolo de la prensa desciende y comprime la torta, mientras más se comprime, la porosidad de la torta disminuye y se expulsa mayor cantidad de grasa. El prensado se puede realizar entre 10 y 80 MPa. (Venter, 2006, p.23).

Por otra parte, se sabe que los productos del cacao poseen efectos favorables para la salud debido a su alto contenido de antioxidantes como procianidinas, catequinas y epicatequinas, el consumo de estos productos influyen favorablemente a la prevención de enfermedades cardiovasculares, envejecimiento de las células e incluso otras enfermedades como el cáncer. De acuerdo a estudios anteriores se conoce que los semielaborados del cacao como el polvo de cacao tienen mayor actividad antioxidante debido a su bajo contenido de grasa menor al 24%. (Belscak-Cvitanovic, 2010, p. 1791).

Este proyecto establece las condiciones óptimas de prensado como mejor presión, temperatura y altura de llenado del cilindro de prensado que permita obtener mayor rendimiento y mejores características en los productos, y con esto proporcionar información para contribuir con el desarrollo de la industria de procesamiento de granos de cacao en el Ecuador.

Este proyecto es parte del proyecto semilla Proy. N°. PIS-12-22 “Optimización del proceso de obtención de chocolate a partir de almendras de cacao producidas en las zonas tropicales de Ecuador”, se realizó en el Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología en la Escuela Politécnica Nacional.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El árbol de cacao (*Theobroma cacao*) es una planta perteneciente a la familia Esterculiáceae del género Theobroma, puede alcanzar una altura media de 6 m, requiere rangos de temperatura mínima entre 18 °C y 21 °C y máxima entre 30 °C y 32 °C, humedad relativa de 80 %. Su fruto crece directamente desde el tronco y es una baya conocida como “mazorca”, tiene un aspecto ovalado con superficie lisa y mide entre 15 – 25 cm de largo y 7 a 10 cm de diámetro, en su interior alberga de 20 a 40 semillas que se encuentran incrustadas en una masa de pulpa o mucílago (Recalde, 2007, p. 4).

Figura 1.1. Planta de cacao CCN-51

Existen tres variedades principales de árboles de cacao: Criollo, Forastero y Trinitario.

- El árbol de cacao de tipo Criollo, es considerado como 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.
- El cacao de variedad Forastero es denominado “común” o de baja calidad, a pesar de ser catalogado de este modo, el cacao “Nacional” o “Arriba” que crece en el Ecuador pertenece a esta variedad, es reconocido como el mejor a nivel mundial. En el Ecuador también se produce un tipo de cacao denominado CCN-51, también de variedad forastero, este cacao es un clon desarrollado en 1965 que no posee las características organolépticas del cacao Nacional pero presenta mayor productividad y resistencia a enfermedades.

- El cacao de variedad Trinitario es un hibrido entre las variedades Criollo y Forastero (Enríquez y Paredes, 1983, p. 13).

Desde 1880 hasta 1890 Ecuador fue el principal exportador mundial de este rubro, posteriormente se desataron enfermedades en los cultivos lo que provocó una baja producción. A partir de 1920 el cacao entró en crisis, debido a falta de destinos de exportación y deficiencia en el transporte. Poco después se empezó a desarrollar otro tipo de industrias que en la actualidad poseen mayor participación en la economía del país que el cacao (Proecuador, 2103, p.3).

En la Figura 1.2 se muestra la participación en las exportaciones de los productos primarios en el Ecuador. Se observa que el cacao en grano se ubica como el quinto rubro de exportación hasta el 2013 después del petróleo crudo, banano, camarón y flores. Del total de exportaciones de cacao en grano se registró que el 25% corresponde a cacao CCN-51 y el 75% a cacao nacional (Anecacao, 2013).

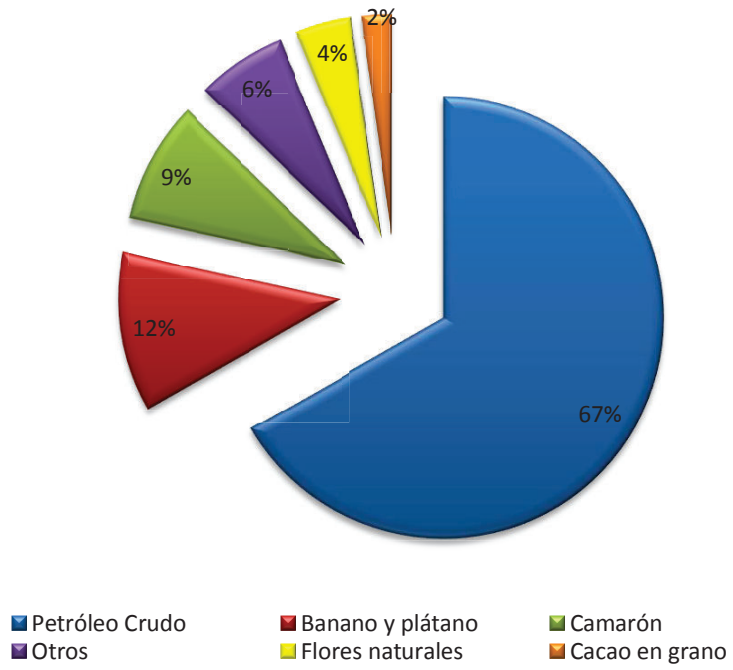


Figura 1.2. Participación en las exportaciones por productos primarios en el 2013
(Banco Central del Ecuador, 2014)

1.1. SUBPRODUCTOS DEL CACAO EN EL ECUADOR

Del proceso de industrialización del cacao puede obtenerse diferentes subproductos, como el licor, manteca y polvo de cacao. En la Figura 1.3, se muestra la participación de los productos industrializados en las exportaciones ecuatorianas en el 2013, donde se observa que los productos del cacao tuvieron una participación del 2 % y se ubica como octavo rubro de exportación entre los productos industrializados.

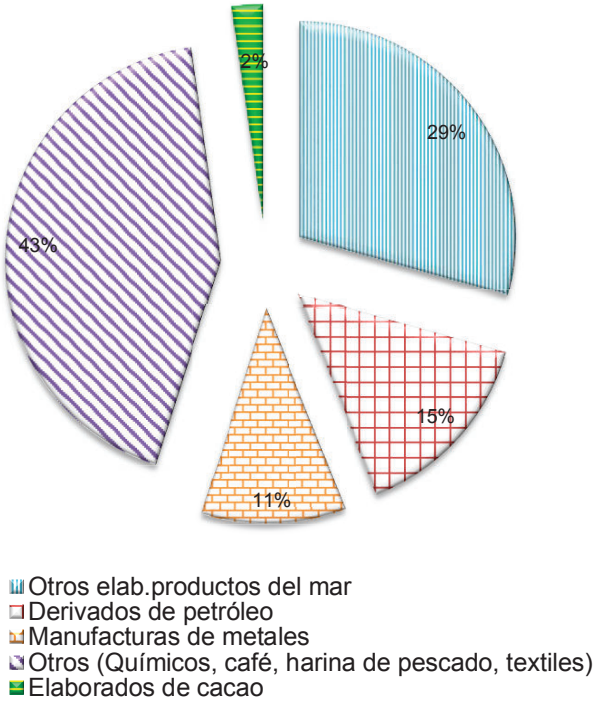


Figura 1.3. Exportación por productos industrializados hasta el 2013
(Banco Central del Ecuador, 2014)

En los últimos años, las exportaciones de cacao en grano y derivados han ido en aumento, en la Figura 1.4 se presenta una figura comparativa entre las exportaciones totales de cacao en grano y semielaborados, donde se observa que desde el 2009 al 2012 existió un constante ascenso para los productos semielaborados. Mientras que el cacao en grano alcanzó su nivel más alto de exportación en el 2011 con 158 544 TM, y en el año 2012 las exportaciones nuevamente disminuyeron hasta 147 329 TM. (Banco central del Ecuador, 2014).

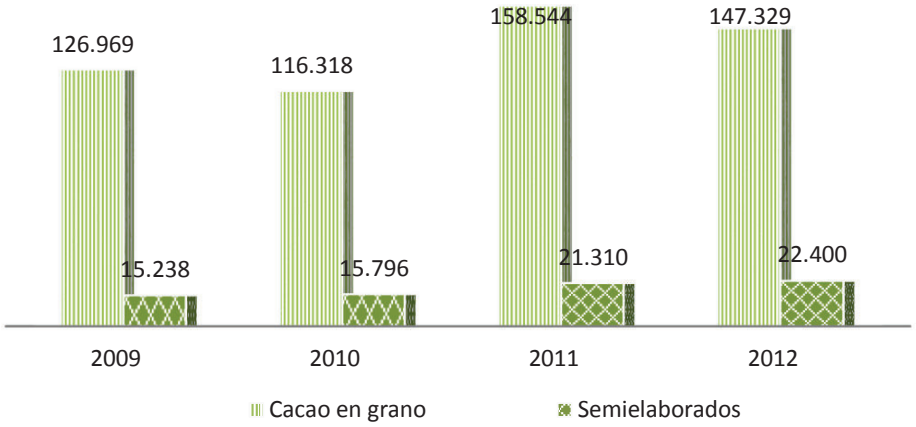


Figura 1.4. Exportaciones ecuatorianas de cacao y sus derivados expresados en TM.
(Banco Central del Ecuador, 2014)

El cacao ecuatoriano posee características especiales de aroma y sabor que lo hacen único en el mundo, esto se debe a las condiciones ambientales de nuestro país. El Ecuador se encuentra en séptimo lugar a nivel mundial de productores de cacao y actualmente tiene el 70 % de participación en la producción mundial de cacao fino de aroma (Proecuador, 2013, p. 3).

Entre los productos semielaborados se encuentran pasta, manteca, cacao en polvo, chocolate y cascarilla. En la Figura 1.5 se observa la participación en exportaciones de productos de cacao por producto semielaborado en el tiempo.

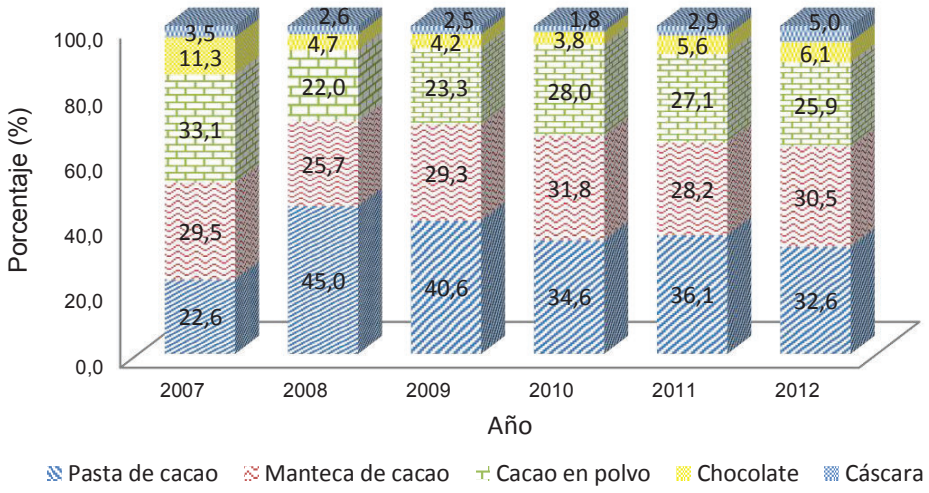


Figura 1.5. Participación en exportaciones de derivados del cacao desde el 2007 al 2012
(Proecuador, 2012, p. 11)

Se observa que de los semielaborados producidos en el Ecuador los que poseen mayor participación en el mercado mundial son la pasta y la manteca de cacao.

En nuestro país existe un pequeño sector dedicado a la transformación del cacao. En la Tabla 1.1 se describen las principales empresas procesadoras y exportadoras de productos semielaborados en el Ecuador.

Tabla 1.1. Cantidad exportada por las principales empresas productoras de semielaborados de cacao en el Ecuador, en noviembre de 2012, expresado en TM

Empresa	TM exportadas
Chocolates finos nacionales Cofina S.A.	558
Nestlé Ecuador S.A.	429
Cafiesa "Triairi" S.A.	315
Ecuador Cocoa & coffee Ecuacoffee S.A.	265
Transmar Commodity Group of Ecuador S.A.	228
Compañía Ecuatoriana Productora de Derivados de cocoa C.A. "Ecuacococoa"	104
Criollo Ecuador Internacional S.A. "ECUADORINSA"	14

(Anecacao, 2012, p. 12)

Los productos semielaborados de cacao son exportados hacia diferentes países alrededor del mundo. En la Figura 1.6 se muestra el porcentaje exportado hacia los principales países de destino de semielaborados de cacao (Anecacao, 2012, p. 9).

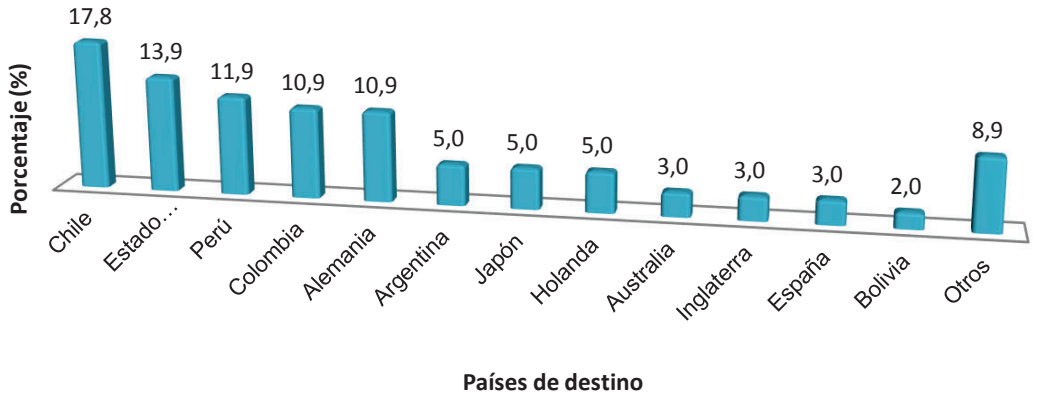


Figura 1.6. Porcentaje de participación de los principales destinos de exportación de semielaborados en el 2013
(Anecacao, 2012, p. 9)

La mayor parte tienen destino sudamericano con un 43 %, mientras que a Europa y Asia se destina el 23 % y 7 % respectivamente.

1.2. PROCESO PRODUCTIVO DE MANTECA Y POLVO DE CACAO

1.2.1 PROCESO POST COSECHA DEL CACAO

La madurez del cacao guarda relación con su apariencia física. La principal característica es el cambio de color, cuando la mazorca se torna de color verde o púrpura hacia color amarillo, rojo o anaranjado, de acuerdo a la especie, indica que está lista para la cosecha.

Se utiliza una tijera podadora especial para la cosecha del cacao, esto evita que las mazorcas sean lastimadas al separarse del árbol y afecte el proceso de fermentación. Una vez recolectadas las mazorcas, son cortadas en forma transversal o longitudinal del fruto para extraer los granos envueltos por una capa mucilaginosa, conocido como “cacao baba” (Afoakwa, 2010, p.14).

El cacao baba es sometido a un proceso de fermentación, donde se pierde el mucílago que se encuentra adherido a la testa, disminuye la humedad y se forman los principales precursores de sabor y aroma del cacao. Existen diferentes métodos de fermentación: cajas de madera, saco de yute o cabuya, tinas plásticas, montones cubiertos por hojas de banano o en canastos. Este proceso tiene una duración de 3 a 5 días. Se ha demostrado que el mejor proceso de fermentación se realiza en cajas de madera durante 4 a 5 días (Rivera et al., 2012, p. 11).

La fermentación consta de tres etapas. La primera, que dura 24 a 36 h es la fase anaeróbica, en donde por acción de las levaduras, los azúcares del mucílago se convierten en alcohol. La segunda fase, donde los azúcares y algunos ácidos orgánicos se transforman en ácido láctico por efecto de las bacterias acido lácticas presentes en el cacao. Finalmente, las bacterias acéticas transforman el alcohol en ácido acético que penetra en las paredes de las almendras. Al ser una reacción exotérmica la temperatura se eleva hasta aproximadamente 50 °C y

provoca la muerte del cotiledón, estas dos últimas etapas se desarrollan entre las 48 h y 96 h de fermentación (Beckett, 2009, p.21).

Después de la fermentación las almendras de cacao se someten a un proceso de secado, con el fin de completar la fermentación, desarrollar el aroma característico del chocolate y disminuir el contenido de humedad hasta aproximadamente 7% para su almacenamiento e industrialización.

El secado se puede realizar en forma natural o artificial de acuerdo a las condiciones ambientales. El secado natural es el más utilizado y tiene una duración de hasta 10 días, para esto se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones: el suelo no puede estar descubierto y los granos deben ser colocados sobre una superficie de madera. Las condiciones ambientales son un factor determinante, si el ambiente es húmedo y cálido como en la Amazonía se corre el riesgo contaminación, es por esto que en esas condiciones es recomendable utilizar secado artificial, donde se emplea secadores de aire a temperatura de 50°C durante aproximadamente 4 horas (Quiroz, 2010, p. 8).

Una vez que las almendras de cacao se han secado correctamente pueden ser almacenadas o ingresar directamente al proceso de industrialización del cacao.

1.2.2 RECEPCIÓN Y LIMPIEZA

El proceso de recepción consiste en efectuar una inspección de la materia prima, se debe establecer un plan de muestreo donde se sigue el procedimiento descrito en la norma NTE INEN 177. Una vez tomada la muestra se verifica la calidad del grano de acuerdo a los parámetros establecidos por la norma NTE INEN 176, entre los parámetros de calidad que se evalúan en esta norma se encuentra el grado de fermentación, color, perfil de sabor, contenido de humedad, uniformidad en el tamaño del grano, contenido de grasa, entre otros (Afoakwa, 2010, p. 36).

Se realiza una operación de limpieza de las almendras para retirar tierra, arena, piedras, partículas metálicas, ramas, hojas, tallos, cáscaras y descartar granos de cacao contaminados. Los granos que cumplen con los parámetros de calidad,

pasan a un proceso de limpieza en seco por tamizado, el equipo que efectúa esta operación posee cilindros suaves que mueven los granos, los impulsan hacia unas cribas de diferente calibre y se clasifican de acuerdo al tamaño de partícula (Beckett, 2009, p. 122).

1.2.3 TOSTADO

Los compuestos desarrollados durante la fermentación participan en las reacciones que se desencadenan durante el tostado para que las almendras obtengan el sabor y olor propio de chocolate. Del proceso de tostado dependen las características del producto final, es por esto que las condiciones de operación son consideradas determinantes en el proceso de manufactura del cacao.

En este proceso ocurren varios cambios, se desprende la cascarilla del cotiledón, el contenido de humedad disminuye hasta un máximo del 2%, el color del cotiledón se torna a un tono más oscuro. Gracias a las reacciones de Maillard los aminoácidos libres formados durante la fermentación son degradados y los azúcares reductores naturales desaparecen casi completamente, se pierden ácidos volátiles desarrollados durante la fermentación que le otorgan el sabor amargo y ácido y se forman compuestos volátiles entre los principales se encuentran pirizinas, aldehídos, cetonas, alcoholes y ésteres (Afoakwa, 2010, p. 39).

El proceso de tostado depende de las condiciones de tiempo y temperatura, de acuerdo al tipo de cacao puede variar el uso de temperaturas entre 110 y 140°C durante un tiempo comprendido entre 35 -40 minutos (Beckett, 2009, p. 42). En ocasiones se puede dar un tratamiento húmedo antes del tostado, para promover la formación de los compuestos precursores de sabor y aroma en el chocolate (Beckett, 2009, p. 127).

El cacao puede ser tostado en diferentes etapas del proceso: como grano, grano sin cáscara o licor. El método más utilizado es el tostado del grano entero.

Existen diferentes equipos utilizados para el tostado, pueden emplear transferencia de calor por conducción o por convección, el equipo más comúnmente utilizado para el tratamiento térmico de los granos de cacao es el tostador por convección (Krysian, 2006, p. 449).

En la industria existen diferentes tipos de tostadores:

- Tostadores de tambor tipo batch donde el tostado se produce por el contacto del grano con las paredes calientes del tambor, posteriormente pasan a un enfriador externo con movimiento.
- Tostadores verticales continuos, estos equipos poseen secciones, las de la parte superior están destinadas al tostado y las secciones inferiores a la refrigeración. Las cargas en las secciones superiores después de cumplir un tiempo de retención establecido son descargadas hacia las secciones en la parte inferior, este mecanismo garantiza el flujo del aire dentro del equipo.
- Tostadores de tambor continuos.- los granos de cacao son cargados en el tambor y un flujo de aire calentado por sistema a gas ingresa, por efecto del calor los granos son tostados, estos tambores poseen secciones en las mismas que se puede regular la temperatura, los granos tostados se descargan en un sistema de enfriamiento continuo (Beckett, 2009, p. 131).

1.2.4 DESCASCARILLADO

En el tostado la cascarilla que se encontraba adherida se desprende parcialmente. Los granos de cacao poseen un 10 % - 14 % de cascarilla del peso total de la semilla, por lo que es difícil, separarlos completamente (Afoakwa, 2010, p. 20). El residuo de cascarilla que no puede ser removida provoca efectos negativos, al tener contacto con el medio externo presenta contaminantes, afecta el sabor del producto final así como promueve la presencia de sabores extraños y por su dureza puede provocar daño en los equipos para molienda. Para evitar esto, los granos de cacao son procesados en máquinas descascaradoras, en la industria se utilizan principalmente de dos tipos:

- Descascarilladora de rodillos

- Descascarilladora de discos

La descascarilladora de rodillos es la más utilizada en la industria, funciona con dos rodillos dispuestos en forma horizontal que giran en sentido inverso, lo que provoca la trituración de los granos, las partículas caen en tamices de diferente tamaño y son separadas por una corriente de aire (Beckett, 2009, p. 122).

1.2.5 MOLIENDA

El proceso de molienda puede realizarse en varias etapas, consiste en fraccionar los granos de cacao en partículas de menor tamaño, para la obtención de licor de cacao. Los granos de cacao poseen aproximadamente 55% del peso total en grasa. Durante la molienda los granos del cacao son fraccionados, las células se rompen y la grasa se libera. Debido a la fricción, se eleva la temperatura dentro del equipo, esto provoca que la grasa liberada se funda y forme una pasta fluida conocida como “licor de cacao” (Afoakwa, 2010, p. 40).

La molienda se puede realizar en diferentes tipos de molinos:

- Molino de impacto
- Molino de discos
- Molino de martillo
- Molino de bolas
- Molino de rodillos

El tipo de molino se selecciona de acuerdo a tamaño de partícula que se desee obtener en el licor, el mismo que la final de esta operación puede variar entre 15 y 50 µm, el tamaño de partícula correspondiente a los niveles más bajos dentro de este rango es ideal para el licor que se utiliza como materia prima para elaboración de chocolate y en mayores diámetros para el licor destinado al proceso de prensado, si el tamaño de partícula del licor es menor a 20 µ puede disminuir la eficiencia del prensado (Beckett, 2009, p. 150).

Generalmente se realiza una pre molienda para evitar daños en el equipo, los molinos comúnmente utilizados en esta etapa son los molinos de impacto, discos

o de martillos. Para alcanzar el tamaño de partícula final se puede utilizar molinos de bolas o de rodillos (Beckett, 2009, p. 151).

Según el codex alimentarius (1983) se define el licor o pasta de cacao como un subproducto obtenido de la desintegración mecánica de los granos de cacao fermentados y secos, que han sido limpiados y liberados de la cáscara sin adicionar ni eliminar ninguno de sus elementos constituyentes.

El licor de cacao se utiliza como insumo principal en la elaboración de chocolate y productos de cacao (p. 1). Su composición nutricional se describe en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Composición nutricional del licor de cacao

Constituyente	Cantidad
Energía	500 kcal/100g
Proteína	11 g/100g
Carbohidratos	28 g/100g
Grasa	55 g/100g
Calcio	40,0 mg/44 g
Magnesio	138,2 mg/44 g
Hierro	5,9 mg/44 g
Cobre	1,1 mg/44 g
Fósforo	190,5 mg/44 g
Potasio	450,6 mg/44 g
Sodio	1,3 mg/44 g
Zinc	1,9 mg/44 g

(Afoakwa, 2010, p. 95)

El licor de cacao es considerado un producto de alto valor nutricional ya que constituye una importante fuente de minerales así como de energía por su alto contenido en grasa, e hidratos de carbono.

Para que el licor de cacao pueda ser comercializado debe cumplir con los requisitos establecidos por la norma NTE INEN (2011) 623 detallados en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3. Parámetros de calidad para licor de cacao

Parámetro	Valor	Unidad
Grasa	48-54	%
Humedad	Max 3	%
Cenizas totales	Max 7,5	%
Fibra cruda	Max 4,7	%
Almidón natural de cacao	8,5 - 9	%

(NTE INEN 623, 2011, p. 2)

1.2.6 ALCALINIZADO

El alcalinizado consiste en poner en contacto una solución de álcali con el cacao, esta operación puede desarrollarse en diferentes etapas del proceso, por lo general se realiza después de la molienda, pero se puede tratar granos con cáscara o sin cáscara, licor o tortas prensadas (Rodríguez, Pérez y Guzmán, 2013, p. 2).

El objetivo de este procedimiento es mejorar el color de los productos del cacao, disminuir intensidad en algunas características organolépticas como amargor, acidez, astringencia y en el polvo de cacao mejorar la solubilidad, que influye también sobre la calidad nutricional (Miller, 2008, p. 8527, Bonvehi y Ventura, 2002, p. 3743).

La alcalinización se puede efectuar en recipientes de reacción con paredes dobles o en transportadores de tornillo, en ocasiones se pude presurizar o generar vacío al sistema para que la solución penetre en menor tiempo al producto (Minifie, 1989, p. 64).

Se mezcla una solución saturada de un álcali con el producto, se calienta gradualmente y se mantiene la temperatura y agitación a fin de evaporar el agua agregada. Este proceso se puede realizar después del prensado, al mezclar el álcali seco con la torta de cacao, sin embargo esto presenta una desventaja debido a que en esta etapa el álcali no tiene mayor efecto sobre el color del polvo

de cacao (Beckett, 2009, p. 126). La cantidad máxima de álcali por cada 100 kg de licor de cacao se describe en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4. Cantidad máxima de álcali en kg y mol por cada 100 kg de licor de cacao

	Carbonato kg (mol)	Bicarbonato kg (mol)	Hidróxido kg (mol)	Óxido kg (mol)
Potasio	3,00 (0,022)	4,36 (0,044)	2,43 (0,043)	-
Sodio	2,30 (0,0217)	3,64 (0,043)	1,74 (0,044)	-
Magnesio	1,03 (0,012)	-	-	0,88 (0,022)
Amonio	2,08 (0,021)	3,43 (0,0434)	1,52 (0,043)	-

(Martínez et al., 1995, p. 42)

Al mezclar una solución de álcali con el licor de cacao, disminuye la acidez debido a que los ácidos grasos libres se neutralizan. El pH final de la mezcla está comprendido entre 6,8 y 7,5, mientras que los productos no alcalinizados poseen pH cercano al 5,2 (Rodríguez et al., 2013, p. 3)

Se ha demostrado que la concentración ideal es de 1,5 % de solución saturada de Carbonato de Potasio para obtener un pH final cercano al neutro en el licor de cacao (Montero, 2004, p. 54).

Los productos alcalinizados presentan cambios en el color, se tornan más oscuros o de color marrón, el polvo de cacao no alcalinizado tiene un color marrón suave. En ocasiones se encuentra productos denominados “oscuros” porque presentan colores intensos y se debe a su pH de hasta 8,5 (Rodríguez et al., 2013, p. 2).

Durante el alcalinizado se desarrollan algunas reacciones que alteran la composición química del licor de cacao, debido al incremento de temperatura, pH o exposición al oxígeno, se promueve el desarrollo de reacciones oxidativas no enzimáticas. Estas reacciones degradan los polifenoles presentes en la muestra y su contenido decrece notablemente (Wollgast y Anklam, 2000, p. 430).

Los polifenoles se relacionan con el amargor, astringencia y color, cuando estos compuestos se degradan también varía las características organolépticas en el licor de cacao (Miller, 2008 p. 8528).

Cuando el pH se incrementa también se promueven otras reacciones de tipo no enzimático como las reacciones de Maillard, donde los azúcares reductores presentes en el cacao junto a los aminoácidos libres forman otros compuestos heterocíclicos como furanos, piridinas, tiazoles, pirroles, y alquil pirazinas, los mismos que se relacionan son el sabor y aroma a chocolate (Bonvehi y Ventura, 2002, p. 3743).

La alcalinización puede tener efectos también sobre la manteca de cacao, una severa alcalinización altera el punto de fusión de la grasa (Beckett, 2009, p. 133).

1.2.7 EXTRACCIÓN DE MANTECA

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.

1.2.7.1. Manteca de cacao

De acuerdo al Codex (1981) se denomina manteca de cacao a la grasa que se extrae a partir de granos de cacao fermentados y secos con o sin cáscara o del licor de cacao (p. 1). A temperatura ambiente es sólida, amarilla pálida y con olor y sabor característico de cacao. Puede fundir entre 26 °C a 36 °C de acuerdo a la forma cristalina que haya logrado después de la solidificación (Bailey, 1984, p. 114).

Los granos de cacao poseen aproximadamente 55% de manteca de cacao, la misma que se compone en un 98 % de triglicéridos, una molécula de glicerol unida a tres ácidos grasos. Entre los principales ácidos grasos que posee la manteca de cacao se encuentran ácido oleico 18:1(9) (35%), esteárico 18:0 (35%), palmítico 16:0 (25%) y linoleico 18:2 (3 %). (Lárez, Gutiérrez, Pelares, Álvarez, 2010, p. 440). En la Tabla 1.5 se detallan los parámetros utilizados para la determinación de la calidad de esta grasa.

Tabla 1.5. Propiedades físico-químicas de la manteca de cacao

Parámetro	Representa	Valor	Unidad
Acidez titulable (como ácido oleico)	Cantidad de ácidos orgánicos libres en la muestra	0,96	%
Índice de peróxido	El grado de oxidación	0,6	$meqO_2/kg$
Índice de Yodo	El grado de insaturación	37,12	cgI/g*
Punto de Fusión	Temperatura a la cual la manteca pasa de estado sólido a líquido	32	°C
Índice de saponificación	La longitud de la cadena de ácidos grasos que constituyen la muestra	196,15	mgKOH/g

*centigramos de Yodo por gramo de muestra
(Cuamba y Gallardo, 2008, p. 5).

La manteca de cacao es utilizada principalmente en la elaboración de chocolate, este producto contiene aproximadamente 30% de grasa, lo que influye en algunas de sus propiedades físicas y químicas como su textura y punto de fusión (Afoakwa, 2010, p. 50).

La manteca de cacao también se utiliza en la industria cosmetológica, es conocida como un "humectante" natural y se utiliza principalmente en la elaboración de cremas y jabones por su contenido de antioxidantes (Athar y Mahmood, 2005, p. 43).

Para obtener manteca de mejor calidad se utilizan prensas hidráulicas, pero existen otros métodos de separación como solventes o fluidos supercríticos (Venter, 2006, p. 1).

A continuación se detalla la extracción por prensado y los métodos no convencionales para la extracción de manteca a partir de licor de cacao.

1.2.7.2. Extracción por prensado

La extracción por prensado es el método más utilizado en la industria debido a que la manteca no sufre ninguna alteración durante este proceso y puede llegar a extraerse del 80 al 85 % de la grasa total. El prensado puede efectuarse en

diferentes etapas del proceso, en el grano sin cáscara o como licor (Venter, 2006, p. 4).

La operación de prensado consiste en aplicar presión sobre el licor de cacao, mediante un filtro retener las partículas sólidas y expulsar la manteca de cacao. Para conseguir una mejor separación de la materia grasa, el licor de cacao es sometido a un proceso de calentamiento donde la temperatura se eleva hasta 105 °C (Venter, 2006, p. 4).

- Prensa hidráulica horizontal o continua

Este tipo de prensa es utilizada para procesar licor de cacao a escala industrial, puede llegar a capacidades de 1 ton/h, un esquema de este equipo se muestra en la Figura 1.7.

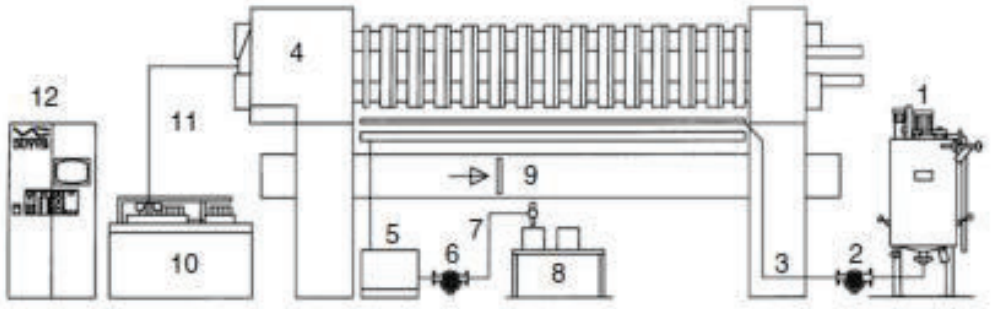


Figura 1.7. Prensa hidráulica horizontal
(Beckett, 2009, p. 135)

La prensa hidráulica tiene los siguientes elementos:

1. Tanque de acondicionamiento de licor de cacao
2. Bomba para transporte de licor de cacao
3. Tubería para transportar licor de cacao
4. Prensa hidráulica
5. Báscula de manteca de cacao
6. Bomba para transporte de manteca de cacao
7. Tubería para transportar manteca de cacao
8. Dosificador y llenadora para formación de bloques de manteca de cacao

9. Transportador de torta de cacao
10. Unidad hidráulica que contiene el aceite hidráulico
11. Tubería de transporte de aceite hidráulico para transportar el aceite hacia la prensa y elevar la presión
12. Panel de control eléctrico

La prensa hidráulica horizontal posee de 12 a 16 depósitos de drenaje conectadas en serie, cada depósito posee un medio filtrante para retener los sólidos. El licor de cacao se almacena en un tanque de acondicionamiento (1) donde se eleva la temperatura entre 90 y 105°C, gracias a una bomba (2) el licor es impulsado a una presión de 1,5 a 2 MPa a través de una tubería (3) hacia los depósitos provistos en la prensa hidráulica (4), cuando el licor de cacao se aloja en estas áreas filtrantes, se forma una fina capa de sólidos en la superficie del filtro, lo que constituye un filtro de torta de cacao. Los depósitos se unen lentamente e incrementa la presión, en ocasiones puede llegar hasta 100 MPa. Cuando la presión se mantiene durante 15 minutos permite obtener tortas con 22 -24% de grasa, mientras que un ciclo de prensado aproximadamente de 25 minutos, produce una torta con 10 -12% de grasa. La manteca fluye a través del filtro y se recolecta en una bandeja para los procesos posteriores (Venter, 2006, p. 4; Beckett, 2009, p. 135).

- Prensa hidráulica batch

Las prensas hidráulicas tipo batch se utilizan con mayor frecuencia a escala de laboratorio o para procesar pequeñas cantidades de licor de cacao. La grasa se expulsa gracias a la presión ejercida por un émbolo que desciende por el interior del cilindro y comprime el licor de cacao. La grasa fundida fluye a través de un material permeable y retiene los sólidos en el interior del cilindro contenedor (Turtelli y Gambetta, 2012, p. 38).

Se distinguen tres etapas principales en el prensado mostradas en la Figura 1.8.

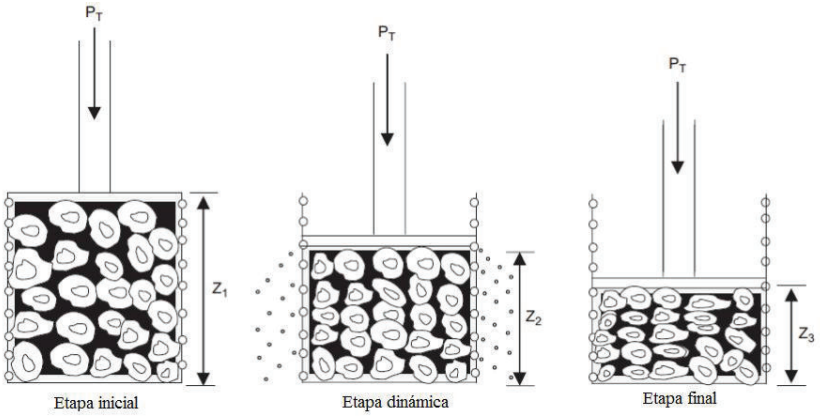


Figura 1.8. Etapas del prensado hidráulico batch en semillas oleaginosas.
(P es la fuerza aplicada por unidad hidráulica)
(Turtelli y Gambetta, 2012, p. 38)

En la etapa inicial o de carga, el licor de cacao es colocado en el interior del cilindro, el émbolo desciende y el aire empieza a ser expulsado, en esta etapa no se libera grasa, la mayor parte del aire es expulsado y llega a un punto crítico, cuando la primera gota de grasa es expulsada inicia la segunda fase. Esta etapa es conocida como etapa dinámica, por efecto del aumento de presión se forma una mezcla de aire/licor y comienza a fluir hacia el exterior, el flujo de grasa fundida aumenta rápidamente hasta que la mayor parte de manteca es expulsada. En la última etapa o etapa final se alcanza la máxima presión del equipo, el tiempo de retención es de 10 a 15 minutos, en esta etapa la velocidad de extracción disminuye hasta llegar a un punto de equilibrio donde el rendimiento de extracción es imperceptible (Venter, 2006, p. 18; Turtelli y Gambeta, 2012, p. 38).

1.2.7.3. Métodos no convencionales de separación

- Extracción por solventes

El método de extracción por solventes puede presentar un rendimiento de hasta el 98%. Se utiliza para extraer la grasa residual presente en la torta de cacao posterior al prensado (Turtelli y Gambetta, 2012, p. 40).

Para este proceso se realiza sucesivos lavados de la torta de cacao con un solvente, por lo general se utiliza n-Hexano, un compuesto inflamable y de baja

toxicidad (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene, 2007, p. 2). Este solvente es generalmente utilizado por ser fácilmente evaporable y dejar sabores y olores residuales casi imperceptibles. El proceso se realiza a baja temperatura, para evitar que los productos de cacao pierdan algunas propiedades físico-químicas por calentamiento. Una de las principales desventajas de este proceso es la presencia de compuestos volátiles residuales en la manteca y en el polvo de cacao por lo que se requiere un proceso posterior de recuperación de disolventes (Venter, 2006, p. 6; Turtelli y Gambetta, 2012, p. 40).

La manteca de cacao extraída por este método tiene menor tiempo de vida útil debido a que parte de los compuestos antioxidantes se destruyen por el uso del solvente (Venter, 2006, p. 6).

- Extracción con CO2 supercrítico

La extracción con fluidos supercríticos puede alcanzar rendimientos muy elevados (>98%), la grasa obtenida a partir de este proceso se considera de excelente calidad. Para este proceso se utiliza como fluido CO_2 supercrítico. La principal desventaja es la excesiva cantidad de fluido CO_2 que se necesita para la extracción, esto se debe a que la manteca de cacao presenta menor solubilidad en este fluido que en los solventes convencionales como hexano, por lo que requiere gran cantidad de energía para lograr la misma solubilidad, por lo tanto es un proceso costoso (Saldaña, Mohamed, Mazzafera, 2002, p.893; Venter, 2006, p. 7).

El dióxido de carbono se mezcla con el producto en condiciones supercríticas (31 °C y 70 bar), al mezclarse con el licor de cacao, la grasa se disuelve en este fluido, cuando el sistema se despresuriza el dióxido de carbono se convierte en gas y la grasa queda separada del licor (Sari, 2006, p. 26).

- Extracción acuosa

Este método consiste en poner en contacto el licor de cacao con enzimas, cuya función es debilitar las paredes celulares y liberar la grasa del interior, las enzimas residuales pueden eliminarse por centrifugación. La desventaja de este proceso

es que es un proceso húmedo y requiere costos adicionales para disminuir la humedad y puede provocar efectos negativos sobre el producto final (Sari, 2006, p. 26; Venter, 2006, p. 6).

Para seleccionar el método de extracción se debe considerar el uso que se dará a la grasa extraída, si fuere para la industria chocolatera, el proceso ideal es el prensado. Si es destinada a la industria cosmética el objetivo es extraer la mayor cantidad de grasa por lo tanto el proceso ideal es extracción por solventes (Venter, 2006, p. 7).

En la Tabla 1.6 se muestra una comparación entre los diferentes métodos de extracción de manteca de cacao.

Tabla 1.6. Comparación entre métodos de extracción

Proceso	Calidad de la manteca de cacao	Residuos sólidos	Rendimiento de manteca de cacao	Uso comercial
Prensado	++	++	+	++
Extracción acuosa	+	+	-	-
Extracción por solventes	-	-	++	+
Extracción con fluidos supercríticos	++	++	++	-
Proceso ideal	++	++	++	++

(Venter, 2006, p. 7).
Los símbolos +, ++, - indican bueno, muy bueno y pobre respectivamente

1.2.8 OBTENCIÓN DEL POLVO DE CACAO

La torta de cacao es una masa sólida que se retiene en la prensa después del proceso de desengrasado, se encuentra en forma de un bloque compacto; esta torta es triturada en molinos de pines o de martillos para obtener polvo de cacao. Antes y después de pulverizar la torta debe templarse para que la grasa contenida cristalice en su forma más estable. Un incorrecto temperado puede tener efectos

desfavorables sobre la grasa y producir “fat bloom” lo que provoca un cambio negativo en la apariencia del polvo de cacao, por el color y la formación de grumos durante el almacenamiento (Beckett, 2009, p. 136; Afoakwa, 2010, p. 41).

En la Figura 1.8 se muestra un molino para torta de cacao provisto con un sistema de tamizado y temperado.

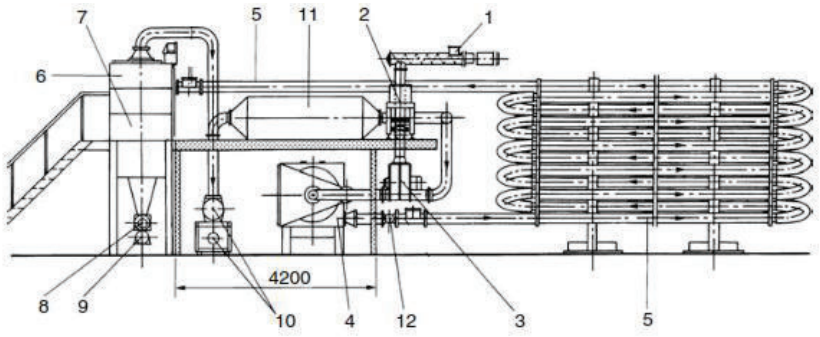


Figura 1.9. Molino para torta de cacao
(Beckett, 2009, p. 136)

1. Dosificador
2. Detector de metal
3. Válvula
4. Molino de pines
5. Sistema de enfriamiento
6. Ciclón separador de polvo
7. Filtro de polvo para polvo fino de cacao
8. Válvula rotatoria
9. Equipo de descarga
10. Soplador de pistón rotativo
11. sistema de aire y deshumidificación
12. Válvula de bolas

El tamaño de partícula del polvo de cacao se determina durante la molienda en el proceso de manufactura del cacao, la trituración de la torta de cacao define el tamaño de partícula de los agregados formados durante el prensado y deben presentar un tamaño de partícula comprendido entre 53 -75 µm (Barbosa, Ortega, Juliano, Yan, 2005, p. 20).

1.2.8.1. Polvo de cacao

De acuerdo a la norma NTE INEN (1992) 620 el polvo de cacao es el producto obtenido de la pulverización de la torta de cacao obtenida en el prensado (p. 1).

En la Tabla 1.7 se muestra los requisitos establecidos por la norma NTE INEN 620 para determinar los parámetros de calidad del polvo de cacao.

Tabla 1.7. Parámetros de calidad del polvo de cacao

Requisito	Unidad	Cacao en polvo soluble	
		Mínimo	Máximo
Humedad o pérdida por calentamiento	%	-	5
Contenido de grasa	%	8	28
Cenizas totales	%	-	10
Alcalinidad de las cenizas (en Carbonato de potasio)	%	-	10

(NTE INEN 620, 1992, p. 2)

Según el método de extracción y las condiciones de operación, se obtiene polvo de cacao con diferente contenido de grasa residual.

- Alto en grasa: entre 22 y 24%
- Bajo en grasa: entre 10 y 12%

El contenido de grasa puede influir sobre sus propiedades físicas o el precio (Beckett, 2009, p. 136).

El polvo de cacao se utiliza principalmente en repostería y en la elaboración de bebidas chocolatadas. Cuando este producto es destinado para bebidas de chocolate, se evalúa su capacidad de reconstitución que se define como su capacidad de humectarse, dispersarse y disolverse (Cevallos, 2008, p. 17).

Las propiedades instantáneas del polvo de cacao sufren alteraciones debido a diferentes factores como la temperatura de disolución, el tamaño de partícula, microestructura de sus componentes y composición química sobre la superficie del soluto.

1.2.8.2. Propiedades instantáneas del polvo de cacao

La reconstitución de polvos instantáneos se efectúa en tres etapas principales: la humectación, dispersión (compuestos insolubles) y disolución (compuestos solubles). Estas tres etapas se encuentran íntimamente relacionadas ya que la una depende de la otra. Se ha determinado que el tiempo de humectación de polvos instantáneos determina la capacidad de dispersión y disolución. (Freudig, 1999, p. 525)

- **Humectabilidad**

La humectabilidad se define como la capacidad que posee una partícula sólida para empaparse de un líquido, la velocidad de esta etapa depende de las fuerzas capilares que a su vez se relacionan con la tensión superficial del líquido (Cevallos, 2008, p. 17).

La composición química de la superficie de las partículas puede influir en el valor del ángulo de contacto, que se define como el ángulo que forma el soluto y la superficie del líquido. Cuando existen compuestos hidrófobos y se humectan en agua, el ángulo de contacto es menor y la velocidad de humectación disminuye (Freuding, 1999, p. 526).

A pesar de que el contenido graso influye considerablemente sobre las propiedades instantáneas, se ha demostrado que el polvo de cacao puro se humecta en 234 s, mientras que cuando se mezcla con sacarosa se humecta entre 10 y 22 s (Shittu y Lawal, 2007, p. 91; Belscak-Cvitanovic et al., 2010, p. 7190)

El tamaño de partícula también influye considerablemente sobre la humectabilidad del polvo, cuando las partículas son demasiado pequeñas, < 35 µm tiene menor capacidad de humectación, ya que se forman grumos y esto evita que las partículas se humedezcan individualmente. Para mejorar la humectabilidad del polvo de cacao se utilizan compuestos aglomerantes como lecitina (Shittu y Lawal, 2007, p. 95).

- **Dispersabilidad**

La dispersabilidad se define como la capacidad que poseen las partículas sólidas para dispersarse o distribuirse en forma individual en un medio líquido (INN, 2008, p. 2). Se ha demostrado que al disolver polvo de cacao con 10 % de materia grasa en agua, éste presenta una capacidad de dispersión aproximadamente de 6,65 % (Belscak-Cvitanovic et al., 2010, p. 7190).

Cuando se reconstituye el polvo de cacao, algunas partículas permanecen suspendidas, al pasar el tiempo, algunas de esas partículas tienden a formar sedimentos, esta tendencia es contraria a la capacidad de dispersabilidad y provoca que el producto no sea visualmente atractivo, ni presente sensación de uniformidad en la boca (Shittu y Lawal, 2007, p. 95).

- **Insolubilidad**

La insolubilidad representa la cantidad de sólidos no disueltos y es una medida inversa de la solubilidad la cual se define como la capacidad que posee una partícula sólida de disolverse en un medio líquido a una temperatura dada, esta propiedad depende de las fuerzas intermoleculares existentes entre el soluto y el solvente. Cuando se incrementa la temperatura estas interacciones se alteran, lo que provoca que las sustancias se mezclen con mayor facilidad y sea posible disolver mayor cantidad de soluto en un solvente (Chang, 2006, p. 521).

La insolubilidad se determina de acuerdo con el porcentaje de sólidos recuperados después de disolverse en un líquido, representa la cantidad de soluto no disuelto. (Bhandari, Bansal, Zhang y Schuck, 2013 p. 393). El polvo de cacao con 10 % de materia grasa presenta 2.02 % de insolubilidad al disolverse en agua (Belscak-Cvitanovic et al., 2010, p. 7190).

Otros factores como el tamaño de partícula o composición química en la superficie del soluto pueden influir en la solubilidad (Barbosa, 2005, p. 2). Debido a que el cacao posee compuestos insolubles el objetivo no es disolver completamente, sino lograr que las partículas insolubles de cacao se dispersen y las solubles se disuelvan. (Belscak-Cvitanovic et al., 2010, p. 7190; Shittu y Lawal, 2007, p. 95)

La solubilidad también se relaciona con la microestructura de las partículas del polvo de cacao, a mayor grado de superficies amorfas la solubilidad disminuye, mientras que las estructuras cristalinas presentan mayor solubilidad en agua (Cano-Chauca, Stringetha, Ramos, Cal-Vidal, 2002, p. 428). Para mejorar la capacidad de disolución del polvo de cacao en ocasiones se combina con sacarosa en una relación 30/70. La sacarosa posee una estructura cristalina, al mezclar el polvo de cacao con sacarosa, disminuye la insolubilidad que oscila entre 2 y 7% (Shittu y Lawal, 2007, p. 95).

1.3. INFLUENCIA DE DIFERENTES CONDICIONES DE OPERACIÓN EN EL RENDIMIENTO DE LA EXTRACCIÓN DE MANTECA

El rendimiento de la extracción de manteca de cacao puede verse influenciado de acuerdo con el tipo de método de extracción utilizado y las condiciones de operación aplicadas en dicho método. Para el prensado hidráulico de licor de cacao se ha determinado que los factores con mayor influencia sobre el rendimiento es la presión, temperatura y contenido de humedad, adicionalmente se analizan otros factores como el tamaño de partícula y tiempo de prensado (Venter, 2006, p. 13).

1.3.1. PRESIÓN

En la expresión mecánica de semillas oleaginosas se conoce que conforme incrementa la presión, el rendimiento de extracción también aumenta, en el caso de prensado de licor de cacao, la presión tiene el mismo efecto (Venter, 2006, p. 23).

Mientras se comprime el licor de cacao, el incremento de presión provoca fracturas en la pared celular de las partículas sólidas y permite que la grasa fluya fácilmente desde el interior de las células, el aire es expulsado y la porosidad

disminuye esto explica que se obtenga mayor rendimiento de grasa y torta de cacao más compacta conforme aumenta la presión (Venter, 2006, p. 23).

En la Figura 1.10 se muestra el rendimiento de extracción en diferentes semillas oleaginosas cuando se realiza a diferentes valores de presión. Se observa que a medida que se trabaja con presión más alta ya no es posible incrementar notablemente la extracción de manteca y se llega a un punto de equilibrio (Willems, Kuipers y Haan, 2008, p. 12).

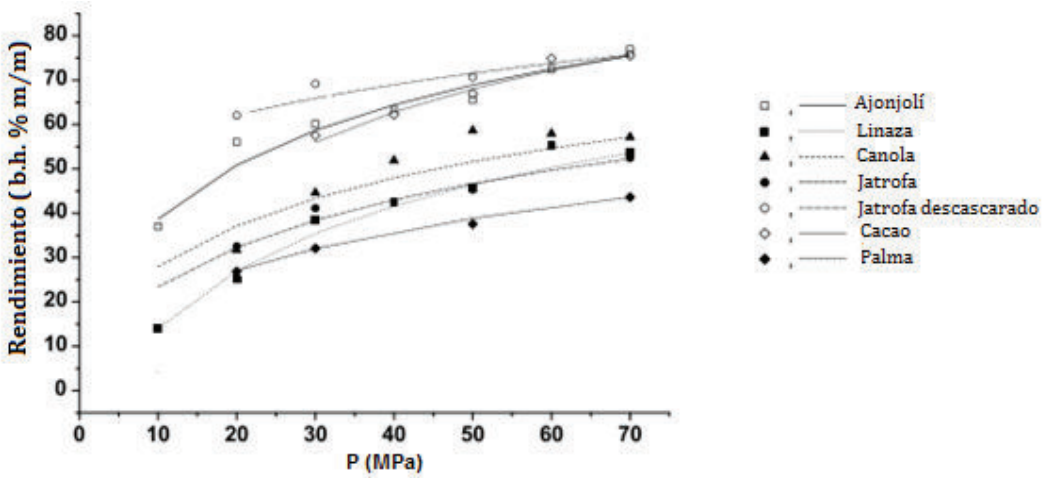


Figura 1.10. Rendimiento de extracción de aceite en diferentes semillas oleaginosas (Willems et al., 2008, p. 12)

1.3.2. TEMPERATURA

La temperatura es un factor relevante en la extracción de manteca debido a que conforme incrementa la temperatura, otras propiedades físicas de la suspensión de licor de cacao pueden alterarse, como la viscosidad y la estructura sólida de la grasa.

En experimentos anteriores se ha demostrado que la temperatura tiene efecto en el rendimiento de la extracción a partir de los 80 °C, la temperatura alta provoca que las paredes celulares de las células se debiliten, las proteínas precipiten, esto favorece a que la grasa fluya fácilmente (Venter, 2006, p. 21). En la Figura 1.11 se observa que conforme incrementa la temperatura, aumenta el rendimiento de extracción, la mejor extracción se obtiene entre 100 °C y 110 °C.

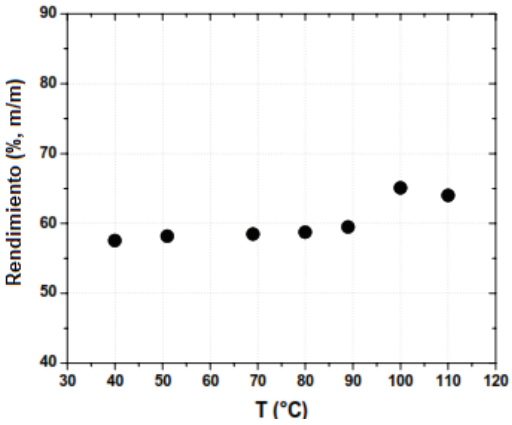


Figura 1.11. Rendimiento de extracción con incremento en la temperatura en granos de cacao a 30 MPa
(Venter, 2006, p. 21)

Se ha determinado que el incremento de la temperatura no influye únicamente sobre la materia grasa, también tiene efectos sobre las partículas sólidas. De acuerdo a Favorode y Fabier (1996) el incremento en la temperatura de prensado aumenta la compresibilidad de la torta (p. 335). Un parámetro utilizado como un indicador de compresibilidad es el índice de consolidación de la torta (Uc), este índice se define como la variación del espesor de la torta en el tiempo con respecto a la variación del espesor al final del prensado. De acuerdo a la Figura 1.12 se observa que a 40 °C la torta alcanza su límite en el índice de consolidación en 300 s (Venter, 2006, p. 13, 22).

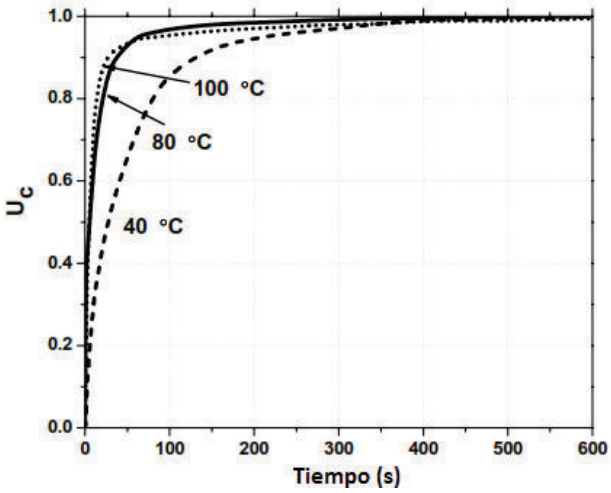


Figura 1.12. Índice de consolidación de la torta obtenida de granos de cacao a 40, 80 y 100 °C. (Uc: índice de consolidación de la torta de cacao)
(Venter, 2006, p. 22)

Cuando la temperatura se eleva a 80 – 100 °C alcanza el mismo índice en 100 s, es decir que la torta requiere menor tiempo para comprimirse cuando incrementa la temperatura (Venter, 2006, p. 21).

1.3.3. TIEMPO DE PRENSADO

En estudios anteriores se ha determinado que el tiempo de prensado no tiene una fuerte influencia sobre el rendimiento de la extracción, de acuerdo a la velocidad con la que la presión incrementa, el émbolo desciende a lo largo del cilindro de prensado, lo que hace que el licor de cacao se comprima y la grasa sea expulsada hacia el exterior. Cuando la presión alcanza su punto máximo, la materia grasa continúa fluyendo hacia el exterior hasta que alcanza un equilibrio, donde ya no sigue fluyendo, dicho equilibrio se ha demostrado que en granos o licor de cacao se alcanza después de los 10 minutos de prensado a una presión constante. En la Figura 1.13 se muestra el rendimiento de extracción de grasa durante el prensado en granos de cacao a 70°C y 30 MPa, se observa que a partir de los 600 s no existe mayor incremento en el rendimiento de extracción, el licor de cacao actúa en forma similar (Venter, 2006, p. 18).

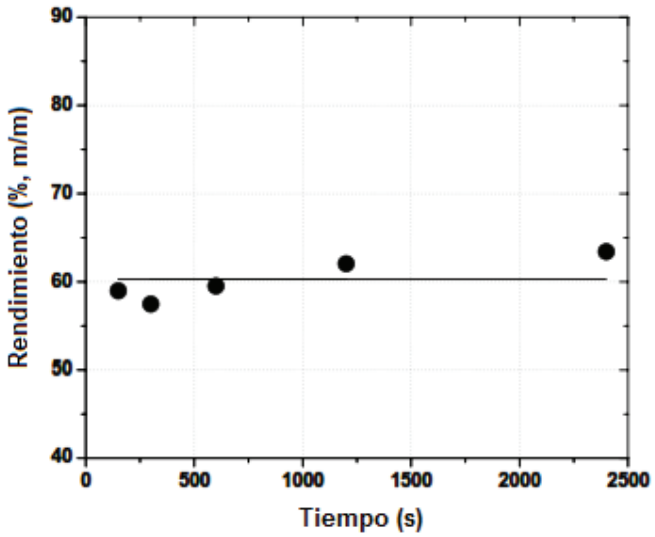


Figura 1.13. Rendimiento de extracción en función del tiempo de prensado
(Venter, 2006, p. 18)

1.3.4. HUMEDAD

El contenido de humedad en el licor de cacao se relaciona con la elasticidad, resistencia mecánica y compresibilidad, es por esto que existe un rango de humedad ideal basado en estudios, sobre el cual existe mayor rendimiento de extracción. Para licor de cacao se ha determinado que la humedad ideal previo al prensado puede encontrarse entre 1 y 1,5 %.

Durante el prensado, se aplica presión para deformar la estructura celular con el fin de producir un quebrantamiento de la pared celular y en consecuencia la grasa se libere, cuando incrementa el contenido de humedad mejora la elasticidad de las partículas por lo que requiere mayor compresión para liberar la grasa, es decir un mayor gasto de energía. En la Figura 1.14 se evidencia que el rendimiento decrece cuando el contenido de humedad aumenta debido a que las células se tornan menos quebradizas y liberan menor cantidad de materia grasa (Venter, 2006, p. 25).

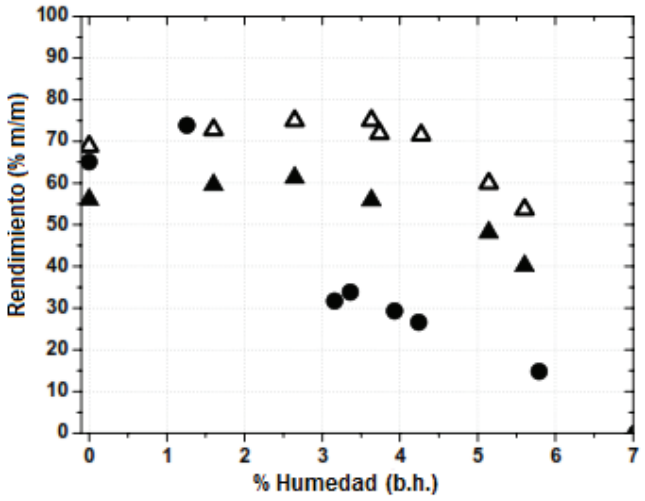


Figura 1.14. Rendimiento en función del contenido de humedad en base seca, ▲ 40 °C y 30 MPa, Δ 40 °C y 50 MPa, ● 100 °C y 30 MPa.
(Venter, 2006, p. 26)

1.3.5. TAMAÑO DE PARTÍCULA

El rendimiento de extracción puede verse influenciado por el tamaño de partícula que posee el licor de cacao antes del prensado. De acuerdo a Adeecko y Ajibola (1990) se ha determinado que una molienda gruesa previa a la expresión de semillas oleaginosas presenta mayor rendimiento de extracción que en comparación con la expresión realizada posterior a una molienda fina, esto se debe principalmente a que en el prensado con partículas gruesas existe mayor porosidad y la grasa puede fluir fácilmente a través de estos orificios de aire y desplazarse hacia el exterior por efecto de la presión (p. 37). Esto no ocurre cuando las semillas se han molido finamente, cuando se aplica presión los pequeños orificios de aire son sellados y esto impide el flujo de la materia grasa.

En la Figura 1.15 se muestra un estudio de la expresión de semillas de maní a 70 °C y 20 MPa, donde se evalúa el rendimiento de extracción de aceite obtenido con molienda gruesa y fina previo al prensado.

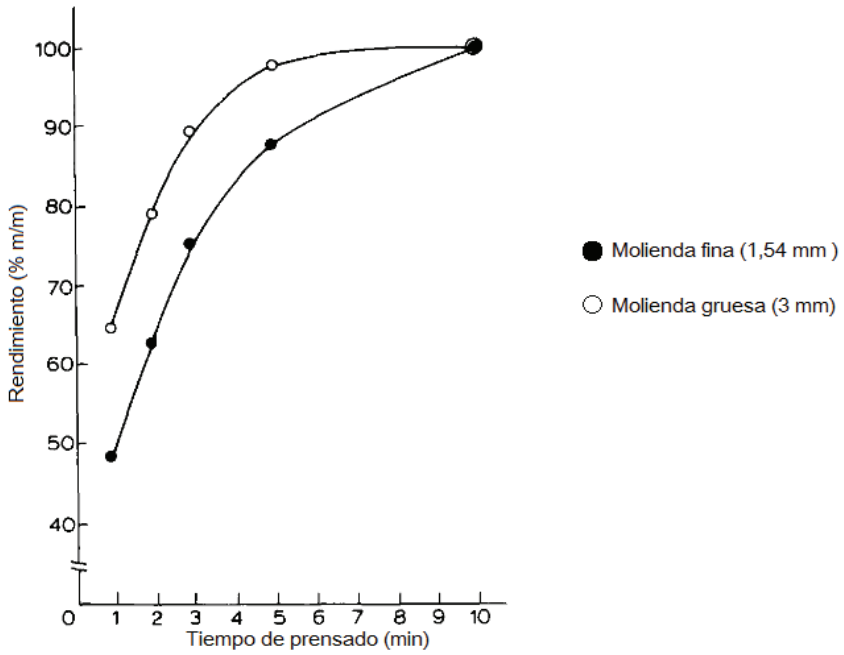


Figura 1.15. Rendimiento de extracción con molienda gruesa y fina
(Adeecko y Ajibola, 1990, p. 36)

Para el licor de cacao se recomienda un tamaño de partícula entre 15 y 50 µm, si es destinado para extracción de grasa por prensado se recomienda las partículas más gruesas dentro de ese rango ya que si se muele a un tamaño menor de 15 µm disminuirá el rendimiento de extracción (Beckett, 2009, p.150).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LICOR DE CACAO.

Se utilizó una muestra de cacao de variedad CCN-51, conocido también como "clonal" o "híbrido", proveniente de la provincia de Sucumbíos, Cantón Shushunfindi, parroquia Limoncocha. El cacao en grano fue fermentado en cajas de madera durante 5 días y posteriormente secado al sol por 6 días y empacado en sacos de polipropileno en la finca de la Cooperativa "18 de Noviembre". Se transportó vía terrestre y se recibió en la Planta Piloto del Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología (DECAB) de la Escuela Politécnica Nacional. La muestra fue almacenada a una temperatura de 8 °C.

2.1.1. RECEPCIÓN Y LIMPIEZA

Se recibió 37 kg de granos de cacao fermentado y seco, se pesó la muestra recibida en una balanza digital marca FIDELTY Measurement de capacidad 500 kg y lectura mínima de 0,1 kg. Se realizó una caracterización físico-química.

2.1.1.1. Humedad

Se determinó el porcentaje de humedad según indica la norma INEN 1676 (2013). Se trituró una muestra de 5 g de grano de cacao. Se secó a 105°C hasta obtener peso constante y se pesó. La humedad se determinó con la ecuación [2.1].

$$H = 100 * \frac{m - m_1}{m} \qquad [2.1]$$

Donde:

m = peso de la muestra

m1 = peso después del secado

2.1.1.2. Acidez titulable

Se midió acidez titulable con referencia a la norma AOAC (2005) 942.15. Se mezcló 5 g de muestra con 10 mL de etanol y 90 mL de agua hervida, se agitó durante 10 minutos y se agregó 3 gotas de fenolftaleína. Se tituló con NaOH 0,1 N con agitación constante. La acidez se determinó con la ecuación [2.2].

$$A = \frac{f_a * V * N * f}{V_0} * 100 \qquad [2.2]$$

Donde:

A = acidez de la muestra (%p/p)

Fa = factor del ácido en mayor proporción

V = volumen de NaOH usado en la titulación (mL)

N = normalidad de la solución de NaOH

F = factor del NaOH

Vo= Volumen de la muestra

2.1.1.3. pH

El pH se determinó con el procedimiento descrito en la norma AOAC (2005) 970.21. Se mezcló una muestra de 10 g de granos de cacao triturados con 90 mL de agua hirviendo, se agitó durante 10 minutos y se filtró. Se determinó el pH con un pH-metro marca CONSORT, modelo C832.

2.1.1.4. Peso de 100 granos de cacao

Se tomó una muestra representativa de 100 granos de cacao y se midió el peso con una balanza Mettler Instrument AG CH-8606.

Una vez verificada la calidad de los granos de cacao, se efectuó una limpieza manual, donde se descartó impurezas y granos de cacao demasiado planos, secos o contaminados.

2.1.2. TOSTADO

El cacao libre de impurezas se tostó en un equipo marca OECONON modelo 14817-61. Durante el proceso se realizó un control de temperatura, para lo cual se usó un termómetro infrarrojo marca Cole Parmer Instruments, modelo 39753-50 con rango de -30 – 900 °C. Se realizaron cargas de 8 kg por batch, pesadas en una balanza digital FIDELTY Measurement, con capacidad de 500 kg y sensibilidad de 0,1 kg. Se mantuvo a la temperatura de tostado de 110 - 140 °C durante 35 - 40 minutos.

Para verificar el tostado de las semillas se realizó un análisis de humedad y de pH de acuerdo a la norma INEN (2013) 1676 y 970.21 de la AOAC (2005).

2.1.3. CLASIFICACION

Se separó la cascarilla desprendida durante en un clasificador Bornwester modelo BR-12, de 3,67 m * 1,20 m * 2,57 m el cual funciona con una corriente de aire que elimina las partículas livianas del proceso, se utilizó una velocidad de aire de 40 m^3/min, con una potencia de 2,2 kW.

2.1.4. MOLIENDA

Los granos libres de cascarilla pasaron a un molino de martillos marca Alpine para obtener licor de cacao. Se controló la temperatura con un termómetro infrarrojo marca Cole Parmer Instruments, modelo 39753-50 con rango de medición de -30 – 900 °C. En el licor de cacao se efectuaron los siguientes análisis:

- **pH:** Se determinó según la norma AOAC (2005) 970.21 descrito en 2.1.1.3.
- **Color:** Para determinar color se pesó una muestra de 2 g de licor de cacao, se colocó en fundas de polietileno, y se colocó el óculo del colorímetro MINOLTA, modelo CR-200 en contacto con la muestra. Se registró los parámetros L*, a* y b* para cada muestra. El experimento se realizó por duplicado.

- **Polifenoles solubles totales:** se utilizó el método descrito por Slinkard y Singleton (1977) para la determinación de polifenoles solubles totales eliminando vitamina C. Los cálculos se describen detalladamente en el ANEXO I

2.1.5. ALCALINIZACIÓN

El licor de cacao fue alcalinizado en una marmita Hamiltonkettles con 20 L de capacidad, como fluido de calentamiento se utilizó vapor de agua saturado que circuló por el interior de la chaqueta de calentamiento. Como agente alcalinizante se utilizó una solución saturada de Carbonato de potasio (K_2CO_3) G.R., en una proporción de 1,5 % de la masa total de licor de cacao (Montero, 2004, p. 54).

Preparación del agente alcalinizante. En una balanza Mettler Instrument AG CH-8606 se pesó 317 g de K_2CO_3 G.R. se colocó en un vaso de precipitación con 283 mL de agua destilada, se agitó fuertemente hasta diluir.

Se colocó 228,4 mL de solución saturada de álcali en la marmita con 22,5 kg de licor de cacao acondicionado, se calentó hasta 90°C, se mantuvo a esta temperatura con agitación continua durante 8 h. Cada dos horas se realizaron pruebas de pH en el licor de cacao con muestras de 10 g según indica la norma AOAC (2005) 970.21. El licor de cacao alcalinizado se almacenó en fundas de polifán en una cámara de refrigeración.

2.1.6. CARACTERIZACIÓN DE LICOR ALCALINIZADO

- **Tamaño de partícula:** se siguió el procedimiento descrito en Beckett (2009) p.180. Se disolvió 1 g de licor de cacao triturado en aceite de girasol, se colocó una gota en las mandíbulas de un micrómetro electrónico MITUTOYO modelo 293-821, con capacidad 0,25 µm micrómetro y se midió. Se hizo dos réplicas del experimento.
- **pH: S**e determinó según la norma AOAC (2005) 970.21 descrito en 2.1.1.3

- **Porcentaje de grasa:** para determinar el contenido de grasa total en la muestra se utilizó una adaptación del método descrito en la norma AOAC (2005) 963.15. Se mezcló 5 g de licor de cacao con 300 mL de agua hirviendo y 55 mL de ácido clorhídrico (HCl) 8 N, se calentó hasta ebullición, se tapó con un vidrio reloj durante 15 minutos y se filtró. Se realizaron aproximadamente tres lavados con 500 mL de agua destilada, hasta eliminar los cloruros libres. Para verificar la ausencia de cloruros se realizó una prueba con Nitrato de Plata ($AgNO_3$) en el filtrado.

La muestra filtrada se secó en una caja Petri a 100 °C hasta peso constante. Se colocó la muestra en dedales de extracción de 33x80 mL y posteriormente en el equipo VELPS, para la extracción, se utilizó éter de petróleo como solvente. La grasa extraída de la muestra fue colocada en una estufa a 100°C para evaporar los residuos de éter, hasta peso constante. El análisis se realizó por duplicado.

- **Humedad:** se determinó según la norma INEN (2013) 1676 detallado en 2.1.1.1.
- **Cenizas totales:** Se cuantificó según la norma INEN (2013) 533. Se colocó 10 g de licor de cacao en una cápsula de porcelana. Se calentó hasta que dejó de salir humo y se introdujo la muestra en la mufla a 600 °C. Se repitió la incineración hasta peso constante. La determinación se efectuó por duplicado.
- **Cuantificación de polifenoles solubles totales:** Se determinó los polifenoles solubles totales según el método descrito por Slinkard y Singleton (1997), detallado en el ANEXO I.
- **Color:** Se colocó una muestra de 5g de licor de cacao triturado y homogenizado en una superficie lisa y se puso en contacto con el óculo de un colorímetro MINOLTA modelo CR-200, cuidando que no haya paso de luz. Se registró los parámetros L, a y b para cada muestra. El experimento se realizó por duplicado. Se calculó el valor ΔE^* el cual indica la diferencia de color y se determina con la ecuación [2.3].

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2} \qquad [2.3]$$

2.2. EVALUACIÓN DE DIFERENTES CONDICIONES DE OPERACIÓN EN LA OBTENCIÓN DE MANTECA DE CACAO

2.2.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para evaluar el proceso de prensado se consideraron tres factores: presión, temperatura y altura de llenado del cilindro de prensado. Se realizó un diseño factorial de 2^3, en el cual se combinó los tres factores con dos niveles cada uno, como se indica en Tabla 2.1. Cada tratamiento se realizó por duplicado.

Tabla 2.1. Tratamientos para la evaluación del rendimiento de extracción en el prensado

	Presión			
	16 MPa		**32 MPa**	
	Altura de llenado		**Altura de llenado**	
Temperatura	**14 cm**	**28 cm**	**14 cm**	**28 cm**
90 °C	T1	T2	T5	T6
100 °C	T3	T4	T7	T8

2.2.2. CARACTERIZACIÓN DEL FILTRO

Se confeccionó filtros de 6 capas de lona y se determinó la configuración del tejido de hilos en 1 cm^2 de muestra, para esto se cuantificó la cantidad de hilos que conforman el tejido en sentido horizontal y vertical. Se realizó por triplicado.

2.2.3. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA

Las muestras de licor de cacao de 410 g y 819 g correspondientes a las alturas de llenado de 14 y 28 cm respectivamente fueron pesadas, en una balanza digital METTLER INSTRUMENTS, modelo AG CH-8606. La muestra se calentó en una plancha de calentamiento hasta la temperatura de prensado de 90 °C ó 100 °C, según el tratamiento. El control de la temperatura se realizó con un termómetro digital EXTECH INSTRUMENTS Easy View modelo TM15.

2.2.4. PRENSADO

En la Figura 2.1 se muestra un esquema de la prensa hidráulica utilizada.

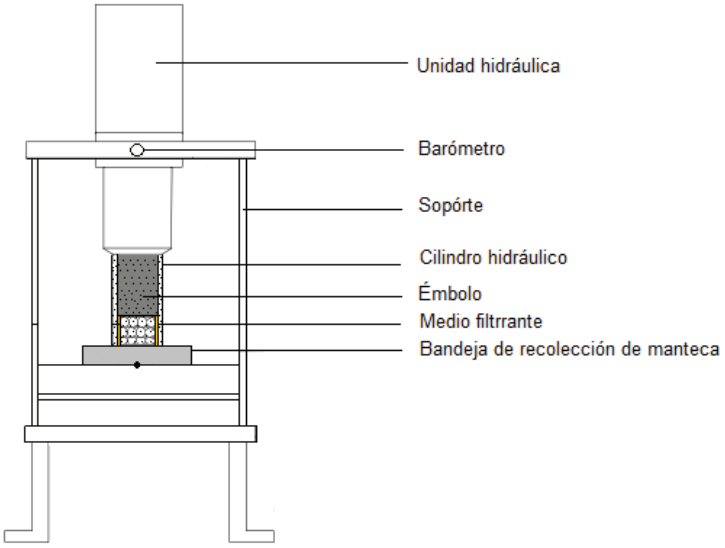


Figura 2.1. Esquema de una prensa hidráulica de laboratorio modificada (no a escala)
(Venter, 2006, p. 14)

La muestra se colocó en el medio filtrante y este a su vez dentro del cilindro hidráulico, gracias a la presión ejercida a partir de la unidad hidráulica, el émbolo desciende en dirección axial, hasta llegar a la presión requerida según el tratamiento, la presión se midió con un manómetro. El licor se comprimió y la manteca de cacao fue expulsada por las paredes del cilindro de prensado provisto de pequeños orificios en las paredes laterales. Las partículas sólidas que constituyen la torta de cacao permanecieron retenidas en el interior del filtro, el tiempo de prensado fue de 15 minutos. La manteca de cacao se recolectó en una bandeja (6) ubicada en la parte inferior del cilindro de prensado e inmediatamente se moldeó en bloques y se dejó enfriar hasta temperatura ambiente y se pesó.

2.2.5. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO

El rendimiento de extracción se calculó con la ecuación [2.4].

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{m_{\text{manteca extraída}}}{m_{\text{manteca presente en el licor}}} \times 100 \qquad [2.4]$$

2.2.6. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE GRASA RESIDUAL

Se determinó según la norma AOAC (2005) 963.15 descrita en el inciso 2.1.6

2.2.7. OBTENCIÓN DE POLVO DE CACAO

La torta comprimida retenida en el interior del filtro, se trituró en un molino de cuchillas marca Oster, (modelo 465-61) hasta obtener polvo de cacao.

2.2.8. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL POLVO DE CACAO

2.2.8.1. Color

Se midió color de las muestras de polvo de cacao, de acuerdo al procedimiento descrito en 2.1.6

2.2.8.2. Análisis granulométrico

- **Tamaño de partícula**

Se realizó un análisis de granulometría para determinar la distribución de tamaño de partícula en el polvo de cacao. Se siguió el procedimiento descrito en la norma NTE INEN (2013) 517. Se pesaron los tamices N°. 80, 140, 200, 270, 325. Se pesó una muestra de 50 g, y se colocó en la parte superior de la columna. Los tamices se colocaron en el aparato de vibración y se mantuvieron durante 5 min, se registró el peso de los tamices con la masa del retenido al final del proceso.

Para determinar la masa del retenido se utilizó la ecuación [2.5] indicada en la norma.

$$MR = \frac{m_2 - m_1}{m} \times 100 \qquad [2.5]$$

Donde:

MR = Masa retenida de polvo de cacao %(p/p)

m = masa de la muestra inicial en base húmeda (g)

m1 = masa del tamiz (g)

m2 = masa del tamiz con la fracción de polvo de cacao retenida (g)

- **Diámetro medio**

El diámetro medio se determinó a partir del análisis de tamaño de partícula por tamizado, para esto se utilizó la ecuación [2.6] (Aguado, 2002, p. 13).

$$\boldsymbol{Dm} = \sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{X_i} * \boldsymbol{De} \qquad [2.6]$$

Donde:

Dm = diámetro medio

Xi = fracción de sólidos retenidos en el tamiz

De = diámetro equivalente

- **Superficie específica**

La superficie específica viene dada por la ecuación [2.7] (Aguado, 2002, p. 13)

$$Sp = \frac{6}{\theta * \boldsymbol{\delta}} * \sum_{i=1}^{n} \frac{X_i}{De} \qquad [2.7]$$

Donde:

Sp =Superficie específica (cm^2/g)

θ = Esfericidad de una partícula de polvo de cacao (0,7) (Rodríguez, p. 13)

δ = densidad (g/cm^3)

Xi = fracción de sólidos retenidos en el tamiz *i*

De = Diámetro equivalente

2.2.8.3. Dispersabilidad

Se disolvió 5 g de polvo de cacao en 50 mL de agua destilada a una temperatura de 27 °C, durante 10 min con agitación constante. Se colocó en un embudo de

separación. Se dejó reposar durante de 24 horas. Para determinar la dispersabilidad se utilizó la ecuación [2.8] (Shittu y Lawal, 2007, p. 93).

$$\text{Dispersabilidad (\%)} = \frac{2^{*}\left(\delta_{sobrenadante}-\delta_{H_2O}\right)^{*}V}{m_s}*100 \qquad [2.8]$$

Donde:

V = Volumen del agua (mL) = 50 mL

m_s = masa de la muestra en base seca (g)

$\delta_{sobrenadante}$ = Densidad del sobrenadante (g/mL) (medida usando un picnómetro)

δ_{H_2O} = densidad del agua a temperatura ambiente (g/mL)

2.2.8.4. Humectabilidad

Se colocó 100 mL de agua destilada a 37 °C en un vaso de precipitación, y se vertió 1 g de polvo de cacao sobre la superficie del agua en forma homogénea, se midió el tiempo en segundos con un cronómetro Casio Illuminathor con lectura mínima de 0,01 s, desde que se colocó la muestra hasta que penetró completamente la superficie del agua.

2.2.8.5. Insolubilidad

Se disolvió 3 g de polvo de cacao en 30 mL de agua destilada en un tubo de centrifuga de 50 mL, durante 30 min a 30 °C en un baño maría marca BLUE, modelo MW-1120A-1. Se centrifugó a 9500 rpm en una centrífuga marca Damon/IEC DIVISION, modelo HT Centrífuge, con capacidad 20000 rpm, durante 10 minutos. Se tomó una alícuota de 10 mL del sobrenadante y se secó en una caja Petri a una temperatura de 105 °C, hasta obtener peso constante. La insolubilidad se determinó con la ecuación [2.9].

$$\text{Insolubilidad (\%)} = \frac{m_r}{m_s} \times 100 \qquad [2.9]$$

Donde:

m_r = masa de residuo de evaporación (g)

m_s = masa de la muestra en base seca (g)

2.2.8.6. Absorción de humedad

Las muestras de polvo de cacao de cada tratamiento fueron almacenadas en fundas de polipropileno a temperatura ambiente durante 2 meses. Se determinó el contenido de humedad al tiempo 0 y después del periodo de almacenamiento de acuerdo a la norma NTE INEN (2013) 1676 detallado en el inciso 2.1.1.1.

2.3. SELECCIÓN DEL MEJOR TRATAMIENTO DE PRENSADO

El mejor tratamiento de prensado se seleccionó con base en el rendimiento de extracción y las mejores propiedades físicas del polvo de cacao, como mayor dispersabilidad, menor insolubilidad, menor humectabilidad y color más oscuro.

2.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS DEL TRATAMIENTO SELECCIONADO

2.4.1. MANTECA DE CACAO

- **Índice de Peróxido: s**e determinó de acuerdo a la norma 965.33 de la AOAC (2005). Se mezcló 5 g de la muestra filtrada con 30 mL de una solución preparada con tres volúmenes de CH_3COOH y dos volúmenes de $CHCl_3$. Se colocó 0,5 mL de una solución saturada de KI, y 30 mL de agua destilada. Se tituló con $Na_2S_2O_3$ 0,1 N hasta obtener un color amarillento. Se añadió 0,5 mL de una solución indicadora de almidón al 1% y se continuó la titulación, hasta perder el color azul. El análisis se realizó por duplicado. Se calculó el índice de peróxido con la ecuación [2.10].

$$\text{Índice de peróxido (meq } \mathbf{O_2}\text{/kg)} = \frac{S \times M \times 1000}{m} \qquad [2.10]$$

Donde:

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

M = Molaridad de $Na_2S_2O_3$

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

- **Índice de Yodo:** se utilizó el método Wijs según el procedimiento descrito en la norma AOAC (2005) 920.159. Se mezcló 0,2 g de muestra con 20 mL CCl_4 y 25 mL de solución Wijs, la mezcla se agitó y se dejó reposar en la oscuridad durante 30 minutos. Se añadió 20 mL de una solución de KI al 15% y 100 mL de agua hervida y enfriada. Se tituló con una solución de $Na_2S_2O_3$ 0,1 N hasta que la solución se torne incolora, se añadió 1 mL de una solución de almidón y se continuó la titulación hasta perder el color azul. El índice de yodo se calculó con la ecuación [2.11].

$$\text{Índice de Yodo} = \frac{(B\text{-}S) \times M \times 12{,}69}{m} \qquad [2.11]$$

Donde:

B = Volumen de $Na_2S_2O_3$ necesario para titular el blanco (mL)

S= Volumen de $Na_2S_2O_3$ necesario para titular la muestra (mL)

M= Molaridad de la solución de $Na_2S_2O_3$

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

- **Índice de Acidez: s**e determinó de acuerdo a la norma INEN (2013) 38. Se mezcló 5 g de muestra con 300 mL de una solución 1:1 de alcohol – éter neutralizada, se utilizó fenolftaleína como indicador y se tituló con NaOH 0,1 N. Se determinó con la ecuación [2.12].

$$\text{Acidez } \% \left(\frac{p}{p}\right) = \frac{M \times V \times N}{10 \times m} \qquad [2.12]$$

Donde:

M = Peso molecular del ácido oléico (g/mol)

V = Volumen de NaOH utilizado para titular la solución (mL)

N= Normalidad de NaOH

m = masa de la muestra en base húmeda

- **Cuantificación de polifenoles solubles totales:** se determinó los polifenoles solubles totales en la manteca de cacao de acuerdo al método descrito por Slinkard y Singleton (1997), detallado en el ANEXO I.

2.4.2. POLVO DE CACAO

Se realizaron análisis de humedad, cenizas totales, color y cuantificación de polifenoles totales de acuerdo a la metodología descrita en el acápite 2.1.6. Adicionalmente se realizó un análisis de alcalinidad de las cenizas.

- **Alcalinidad de las cenizas**

Se siguió el procedimiento indicado en la norma INEN (2013) 637. Se obtuvieron las cenizas libres de carbón con el procedimiento descrito en el inciso 2.1.6.3 y se añadió 15 mL de HCl 0,1 N, se calentó en baño maría hasta ebullición durante 2 min, se dejó enfriar y se añadió dos gotas del indicador rojo de metilo. La titulación se hizo con hidróxido de sodio 0,1 N. Se utilizó un blanco con 10 mL de HCL 0,1 N y se tituló con NAOH 0,1 N, el experimento se efectuó por duplicado y se calculó con la ecuación [2.13]

$$C.A. = \frac{471\ N \times \frac{V_1 - V_2}{10}}{m\ (100 - (P + G))} \times V_3 \qquad [2.13]$$

Donde:
C.A. = Alcalinidad de las cenizas en %p/p expresados como K_2O
N = Normalidad de NaOH
V_1 = Volumen de HCL 0,1 N añadido a la muestra (mL)
V_2 = Volumen de NaOH 0,1 N requerido para titular el blanco (mL)
P = % pérdida por calentamiento
G = % en masa del contenido de grasa de la muestra
V_3 =Volumen de la solución estándar de NaOH necesario para la titulación (mL)
m = masa de la muestra en base húmeda (g)

2.5. DISEÑO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE LICOR DE CACAO PARA LA OBTENCIÓN DE MANTECA Y TORTA DE CACAO.

Para el diseño de la planta se tomó en cuenta los datos proporcionados por el Consejo Nacional de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas (CONSEP).

Sobre la base de estos datos se realizó un estudio de ingeniería conceptual en el cual se definió del producto, la capacidad y localización de la planta, la disponibilidad de materia prima, insumos y servicios industriales. En el estudio de ingeniería básica se definió la secuencia de operaciones unitarias necesarias para la elaboración de manteca y polvo de cacao y las condiciones de operación en cada proceso. Estas operaciones incluyen recepción, alcalinización, extracción de manteca por prensado hidráulico, donde se separa aproximadamente el 80 % de la grasa total del licor de cacao. Posteriormente se efectúa un atemperado de la manteca de cacao y se empaca en bloques de 30 kg. La torta de cacao es triturada y empacada en sacos de 25 kg.

En este estudio se elaboró el diagrama de bloques (BFD) y diagrama de flujo del proceso (PFD). Adicionalmente se realizó la distribución en planta del área de producción (Lay out), para esto se dimensionaron y seleccionaron los equipos necesarios para una producción de 8 549,9 kg/día o 1 068,72 kg/h Se consideró un cronograma de trabajo con tres jornadas de 8 horas diarias. Los operarios fueron distribuidos de modo que haya uno en cada proceso.

2.6. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE MANTECA Y POLVO DE CACAO.

Para el análisis económico de este proyecto se determinaron los costos de emplazamiento de una planta de producción de manteca y torta de cacao y se calculó los indicadores financieros: valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el punto de equilibrio. Se consideró el financiamiento total con presupuesto fiscal. Se determinó la inversión total del proyecto, los costos de operación para determinar el costo unitario de los productos y se determinó el punto de equilibrio de acuerdo a los costos totales y ventas anuales. Los indicadores financieros se obtuvieron a partir del flujo de caja para lo cual se tomó como referencia 10 años, que es el tiempo de depreciación de equipos.

3. DISCUCIÓN DE RESULTADOS

3.1. OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LICOR DE CACAO.

3.1.1. RECEPCIÓN

El cacao CCN-51 que se utilizó en esta investigación fue analizado para verificar su calidad, para esto se realizó una caracterización inicial, los parámetros evaluados se presentan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Caracterización físico-química de granos de cacao CCN-51 fermentados y secos

Parámetro	Cantidad	Unidades
Humedad	7,41± 0,02	%
Acidez titulable (expresado en g de ácido cítrico monohidratado)	0,72 ± 0,53	g /100g
pH	5,3 ± 0,03	
Peso de 100 granos	138,92 ± 2,72	g

Media ± DE (n=2)

De acuerdo a la norma INEN (2013) 176 la humedad máxima establecida es de 7 %, en la muestra se determinó un valor de 7,41 %, superior al requerido, esto se puede deber a las condiciones y tiempo de transporte desde Shushufindi hasta la planta piloto ubicada en la ciudad de Quito.

El peso de 100 granos de cacao CCN-51 puede variar entre 135 y 140 g, se puede observar que el peso mostrado en la tabla concuerda con la norma.

En cuanto a la acidez titulable, Perea (2010) encontró que el cacao clonal presenta entre 0,8 y 0,9 % de acidez, en esta investigación las muestras presentaron 0,72 %. Este valor representa el contenido de ácidos orgánicos en la muestra, el mismo que puede variar ligeramente de acuerdo a la zona de cultivo, al tiempo y tipo de fermentación utilizada (p. 38).

El pH presentado por las muestras de cacao concuerda con el pH determinado en estudios anteriores efectuados para cacao seco fermentado procedente de la

Costa ecuatoriana de la variedad CNN-51 correspondiente a 5,32 % (Armijos, 2002, p. 39).

En general, los parámetros evaluados se encuentran dentro de los rangos de calidad establecidos, por lo tanto la muestra es aceptable para ingresar al proceso de industrialización del grano.

3.1.2. LIMPIEZA Y TOSTADO

La limpieza de los granos de cacao se realizó manualmente. Se obtuvo 23 % de residuo.

Las semillas que se encontraron en buen estado pasaron al proceso de tostado. En la Figura 3.1 se presenta el control de temperatura en la superficie de los granos de cacao durante el proceso.

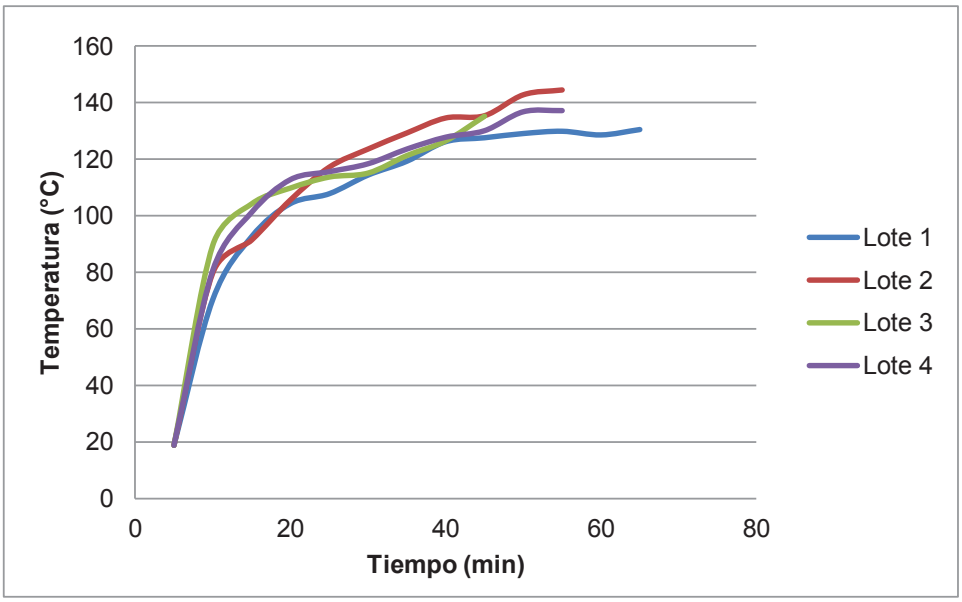


Figura 3.1. Control de la temperatura en la superficie de los granos de cacao durante el tostado

Se observa que los 4 lotes presentaron un similar incremento de temperatura durante el proceso. Los granos de cacao entraron al equipo a temperatura ambiente y tardaron aproximadamente 17,5 minutos en alcanzar la temperatura

de tostado comprendida entre 110 y 140 °C, se mantuvo la temperatura de tostado durante 35 minutos.

Se verificó que los granos estaban adecuadamente tostados, para esto se realizó análisis de humedad y pH, los resultados se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Caracterización de cacao en grano tostado

Parámetro	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Media
Humedad (%)	0,92 ± 0,003	0,91 ± 0,01	0,93 ± 0,003	0,93 ± 0,006	0,92 ± 0,01
pH	5,32 ± 0,014	5,33 ± 0,007	5,31 ± 0,014	5,32 ± 0,003	5,32 ± 0,01

Media ± DE (n=2)

Uno de los parámetros que indican que el proceso de tostado se ha completado es el contenido de humedad, de acuerdo a Afoakwa (2010), el contenido de humedad después del tostado no puede exceder el 2%. En las muestras tomadas de cada lote se determinó una humedad media de 0,92 %, este valor se encuentra dentro del rango establecido para granos de cacao tostados. Además, se conoce que durante el tostado se pierde parte de los ácidos orgánicos volátiles lo que hace que disminuya ligeramente la acidez y aumente el valor de pH. Se encontró que el pH incrementó en 0,02 unidades con relación al valor presentado por los granos sin tostar (p. 39).

Los lotes presentaron similares características de humedad y pH después del tostado, y fueron tostados a similares condiciones de temperatura, por esto los lotes fueron combinados para formar una sola muestra.

3.1.3. CLASIFICACIÓN

Después del proceso de tostado, el contenido de humedad de los granos de cacao disminuyó y provocó desprendimiento de cascarilla. Se realizó una clasificación para separar la cascarilla de los granos de cacao tostados. En este proceso se eliminó el 7,04 % del peso total en cascarilla, este valor es menor al reportado por Afoakwa donde indica que los granos de cacao poseen 10 - 14 %

del peso total en cascarilla, esto se debe principalmente a que durante el tostado, parte de la cascarilla se desprende y no ingresa a la clasificación (p. 20).

3.1.4. MOLIENDA

Los granos de cacao tostados y descascarillados fueron molidos para reducir el tamaño de partícula y obtener licor de cacao. Se realizó una caracterización del licor de cacao después de la molienda y los resultados se detallan a continuación.

3.1.4.1. Análisis químicos

Se analizó el pH y el contenido de polifenoles solubles totales presentes en el licor de cacao, los resultados se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Caracterización de cacao en grano tostado

Parámetro	Cantidad	Unidades
pH	5,32 ± 0,02	
Polifenoles totales	37 ± 0,64	mgAG/g

Media ± DE (n=2)

Se puede observar que el pH se mantuvo en relación al valor presentado de pH de los granos de cacao tostados, esto indica que el proceso de molienda no tiene significativa influencia sobre el pH del licor de cacao.

El valor obtenido de polifenoles totales presentes en licor de cacao presenta una diferencia del 8 %, con respecto al obtenido por Cadena y Herrera (2008), donde se reportó que el licor de cacao posee un contenido de polifenoles de 34 mgAG/g (p. 34). Esta diferencia se podría deber a las condiciones de operación durante el proceso de manufactura del cacao, se conoce que los compuestos fenólicos son termolábiles y de baja estabilidad frente a la oxidación. Además el contenido de polifenoles totales puede variar de acuerdo a la variedad y el sitio de cultivo del fruto de cacao (Wollgast, 1999, 429).

3.1.4.2. Color

Se analizó el color en las muestras de licor de cacao alcalinizado, de acuerdo al sistema de coordenadas CIELAB, los resultados se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Coordenadas CIELAB de color en licor de cacao

Muestra	L*	a*	b*	Fuente
Licor de cacao	38,79 ± 1,21	12,51 ± 0,30	12,37 ± 0,06	Prueba experimental
Licor de cacao	39,87 ± 0,02	15,19 ± 0,05	22,97 ± 0,05	Rodríguez, Pérez y Guzmán, 2008, p. 1188

Media ± DE (n=2)

Los parámetros L*, a* y b* medidos en la muestra de licor de cacao natural fueron comparados con los valores de una muestra obtenida con granos de cacao procedentes de Chuao, Venezuela, tostados a 150 °C durante 30 min, con un pH de 5,3 que presentó valores de L* y a* son similares, mientras que en el valor b* se encontró una diferencia de 10,6 unidades, esto se puede deber a que los granos de cacao pueden diferir en sus características de acuerdo a la zona y condiciones de cultivo.

3.1.5. ALCALINIZACIÓN

Una vez obtenido el licor de cacao, se realizó el proceso de alcalinización durante 8 h de calentamiento. El incremento de pH durante el proceso se muestra en la Figura 3.2

De acuerdo a la figura se puede observar que el valor máximo de pH se alcanza luego de las primeras 3 horas de mezclado. El licor de cacao alcalinizado puede variar entre rangos de 6,5 y 8,5 de pH. De acuerdo a su valor de pH final se clasifica en alcalinización débil (6,5 - 7,0), alcalinización media (7,0 - 7,5) y alcalinización severa (7.5 - 8,5). De acuerdo a esta clasificación se encontró que el licor de cacao obtenido en esta investigación corresponde a una alcalinización débil (Martínez et al., 1995, p. 42).

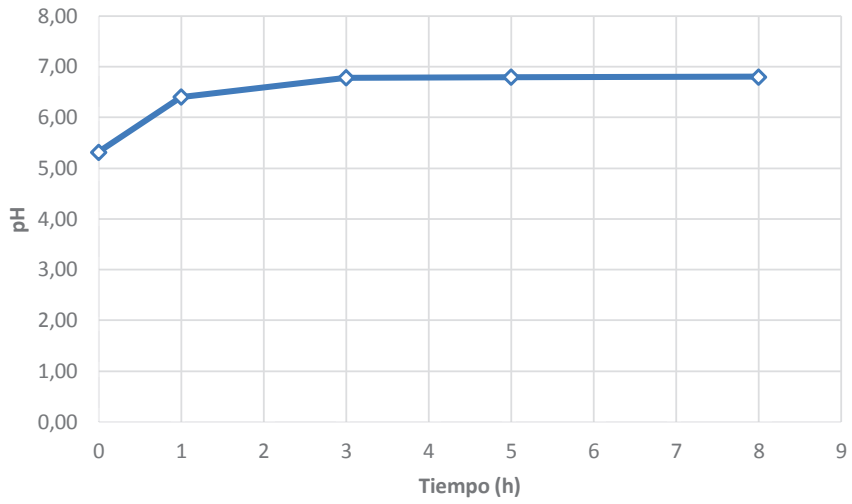


Figura 3.2. Variación de pH durante el tiempo de alcalinización

3.1.6. CARACTERIZACIÓN DEL LICOR ALCALINIZADO

3.1.6.1. Tamaño de partícula

Después de la molienda se obtuvo un tamaño de partícula de 30,7 ± 4,04 µm, este tamaño de partícula se encuentra dentro del rango recomendado entre 15 y 50 µm (Beckett, 2009, p. 150).

Para esta evaluación no es conveniente obtener tamaños de partícula cercanos a los 15 µm debido a que su destino posterior será el prensado para extraer la materia grasa. Cuando las partículas son demasiado finas, la materia grasa no puede fluir fácilmente hacia el exterior debido a que las partículas más pequeñas ocupan los orificios de aire por donde puede ser expulsada la materia grasa (Adeecko y Ajibola, 1990, p. 37).

3.1.6.2. Análisis químicos

Los resultados de los análisis se muestran en la Tabla 3.5

Los parámetros de humedad, grasa y cenizas totales fueron comparados con los rangos establecidos por la norma NTE INEN (2013) 623 sobre los requisitos de calidad para la pasta de cacao.

Tabla 3.5. Caracterización química del licor de cacao alcalinizado

Parámetro	Antes de la alcalinización	Después de la alcalinización	Referencia
pH	5,32 ± 0,02	6,8 ± 0,001	6,8 – 7,5 [a]
Humedad (%)	0,92 ± 0,001	1,33 ± 0,03	Máx 3 % [b]
Grasa total (%)	-	52,7 ± 0,11	48 – 54 % [b]
Cenizas totales (%)	-	2,45 ± 0,21	Máx 7,5 [b]
Polifenoles totales (mgAG/g)	37 ± 0,64	31,3 ± 0,14	-

Media ± DE (n=2)
a: Rodríguez et al., 2013, p. 3
b: NTE INEN (2013) 623

Se encontró que la humedad de la muestra es menor al límite máximo establecido de 3 %. El porcentaje de grasa se encuentra dentro del rango entre 48 y 54 % y el contenido de cenizas totales es inferior al límite de 7,5 %

Se analizó la variación en el contenido de polifenoles de la muestra antes y después del alcalinizado. Los polifenoles solubles totales fueron cuantificados de acuerdo al método de Folin-Ciocalteu's y se determinó que en el licor de cacao antes del alcalinizado posee 37 ± 0,64 mgAG/g muestra, mientras que después del alcalinizado se encontró que presenta un valor de 31,3 ± 2,04 mgAG/g, menor al de la muestra sin alcalinización, es decir disminuyó en un 15,37 %.

La reducción en la concentración de polifenoles solubles totales después del proceso de alcalinizado se atribuye a que durante el proceso de alcalinizado ocurren una serie de reacciones oxidativas provocadas por altas temperaturas o exposición al oxígeno. Los flavanoles presentes en el licor de cacao como flavan3-ol (catequina y epicatequina) y sus cadenas poliméricas conocidas como procianidinas sufren degradación por altas temperaturas, tiempos de procesamiento largos o exposición al oxígeno, además la presencia de un agente alcalino también conduce a la degradación oxidativa de polifenoles. (Wollgast y Anklam, 2000, p. 430).

Se ha demostrado que los compuestos polifenólicos son estables a pH ácido, cuando el valor de pH es mayor a 5 sufren degradación oxidativa, liberan iones hidrogeno y forman dobles enlace, lo que disminuye la disponibilidad como agente antioxidante (Boza, Arus, García y Nuñez, 2000, p. 129). La disminución en el contenido de polifenoles totales se atribuye al pH final de la mezcla después del alcalinizado, en combinación con la temperatura de alcalinización y exposición al oxígeno durante las 8 h de proceso.

3.1.6.3. Color

Se analizó el color en las muestras de licor de cacao natural y alcalinizado, de acuerdo al sistema de coordenadas CIELAB, los resultados se muestran en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Coordenadas CIELAB de color en licor de cacao alcalinizado

Muestra	L*	a*	b*	Fuente
Licor de cacao	38,79 ± 1,21	12,51 ± 0,30	12,37 ± 0,57	Prueba experimental
Licor alcalinizado	38,65 ± 1,18	12,00 ± 0,56	12,92 ± 0,33	Prueba experimental
Licor alcalinizado	37,06 ± 0,07	12,59 ± 0,03	18,53 ± 0,07	Rodríguez, Pérez y Guzmán, 2009, p. 1188

Media ± DE (n=2)

Para determinar el cambio de color y su influencia sobre la apariencia después del proceso de alcalinización se calculó el valor ΔE^* de la muestra de licor antes y después de la alcalinización. Cuando este valor es menor a 1 indica que no existen diferencias perceptibles al ojo humano (Valero, 2013, p. 151).

En las muestras de licor de cacao CCN-51 se determinó que la diferencia de color entre la muestra alcalinizada y no alcalinizada es $\Delta E = 0,77$, es decir no existe un cambio notable de color. Esto podría deberse a que el pH alcanzado de 6,8 corresponde a una alcalinización débil. De acuerdo a Rodríguez (2013) el valor de pH es proporcional a la intensidad de color, es decir que a mayor pH el color es más oscuro, es por esto que la variación de color en la muestra es muy baja (p. 2).

El valor a* disminuye en un 4 % en relación al valor presentado por el licor de cacao sin alcalinizar, esto indica que existe una ligera disminución de color rojo cuando el pH incrementa. Esto se podría atribuir a la pérdida de los compuestos de color marrón presentes en el licor de cacao (Miller, 2008, p. 8529).

Se encontró que el valor L* decreció en un 0,3 % con relación al presentado en el licor sin alcalinización, esto indica que existe una relación inversa entre el incremento del valor L* y el incremento de pH, es decir a mayor valor de pH, el producto presenta tonalidad más oscura (Rodríguez, 2013, p. 2).

La tendencia a adquirir un color más oscuro conforme incrementa el pH se debe a que un medio básico favorece las reacciones oxidativas no enzimáticas o reacción de Maillard. Con el incremento de pH las proteínas sufren desaminación, donde los grupos amino se liberan parcialmente e incrementa la disponibilidad para reaccionar con los azúcares reductores (glucosa y fructosa) que no fueron consumidos durante el tostado (Rodríguez, 2013, p. 3; Barreiro y Sandoval, 2006, p. 35).

Al comparar los valores de las coordenadas CIELAB para el licor de cacao de esta investigación con el obtenido por Rodríguez et al. (2009), donde se utilizó una alcalinización al 1 % (p/p), se encontró que la muestra presentó pequeñas variaciones de color en los parámetros L* y a*, mientras que en el parámetro b* se observó una diferencia de casi 6 unidades, esto puede atribuirse a la diferencia en la concentración de álcali empleado (p. 1188).

3.2. EVALUACIÓN DE DIFERENTES CONDICIONES DE OPERACIÓN EN LA OBTENCIÓN DE MANTECA DE CACAO

3.2.1. CARACTERIZACIÓN DEL FILTRO DE LONA

En esta investigación se utilizó un filtro de lona de algodón, el mismo que es utilizado comúnmente en la industria alimenticia para la separación sólido-líquido, debido a que permite el paso de partículas < 0,4 mm, es resistente a la deformación y permite trabajar a temperaturas de hasta 150 °C (Suita, 2011).

La caracterización del filtro de lona dio los siguientes resultados.

- Hilos verticales: 15 hilos/cm^2
- Hilos horizontales: 20 hilos/cm^2
- Dimensiones del filtro: 0,50 x 1,50 m
- Peso del filtro: 152,68 g

3.2.2. INFLUENCIA SOBRE EL RENDIMIENTO

Se determinó el rendimiento de extracción de manteca de cacao en cada tratamiento para evaluar el efecto de la presión (16 MPa y 32 MPa), temperatura (90 °C y 100 °C) y la altura de llenado (14 cm y 28 cm). En la Figura 3.3 se muestra los resultados obtenidos.

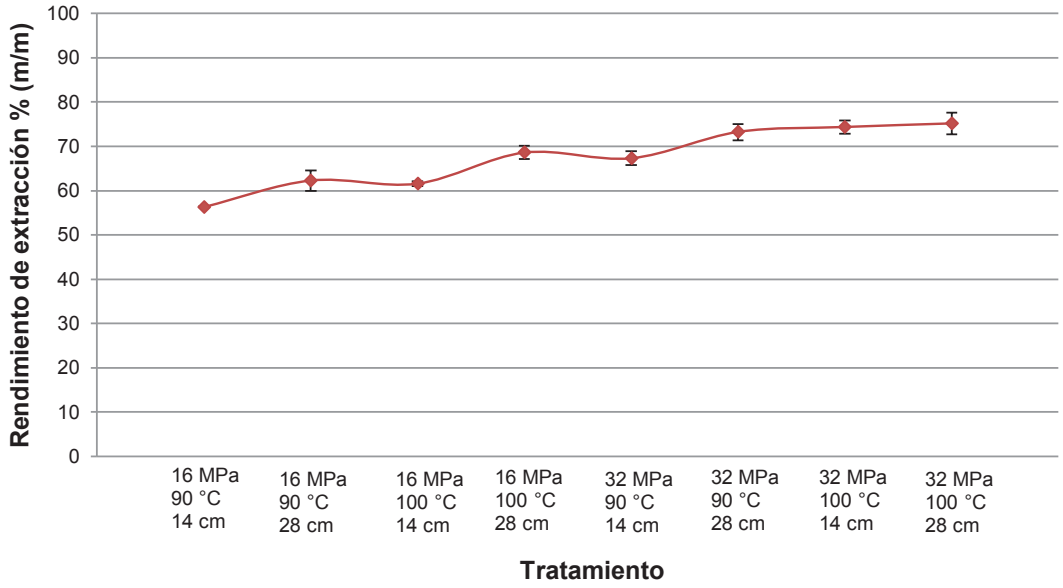


Figura 3.3. Rendimiento de extracción de manteca de cacao en cada tratamiento, (%m/m indica el rendimiento de extracción entre manteca extraída y manteca presente en el licor)

Se observa una tendencia creciente, lo cual indica que conforme incrementa la presión, temperatura y altura de llenado también aumenta el rendimiento de extracción.

Según Venter (2006) el rendimiento de extracción a 20 MPa es de 59 % (m/m) y a 30 MPa es 66 % (m/m), ambos experimentos fueron realizados a 100 °C (p. 23).

De acuerdo a Willems et al. (2008) a 30 MPa y 40 °C se obtiene un rendimiento del 57 % (m/m) (p. 12). El rendimiento obtenido en la presente investigación fue mayor que los mencionados anteriormente, ya que a 16 MPa y 100 °C se obtuvo un rendimiento medio de 65,08 % y a 32 MPa y 100 °C de 74,78 % (m/m).

Según Venter (2006) la presión puede sobrepasar los 32 MPa y llegar a 60 MPa, el incremento de la presión más allá de este límite no contribuye a mejorar notablemente el rendimiento de extracción, existe una pequeña parte de grasa inmersa en las partículas sólidas que por métodos mecánicos no puede ser extraída (p. 23).

Debido a la limitación del equipo, no se pudo sobrepasar los 32 MPa pero con base en los resultados obtenidos se determinó la tendencia en el rendimiento de extracción que se obtendría al elevar la presión hasta 60 MPa, a 100 °C y 28 cm de altura de llenado. La ecuación de predicción se obtuvo a partir de la tabla de coeficientes de regresión en el programa estadístico Statgraphics.

$$\textit{Rendimiento}\left(\frac{\text{m}}{\text{m}}\%\right) = 67{,}36 + 5{,}17\ \text{P} + 2{,}57\ \text{T} + 2{,}47\ \text{H} - 0{,}32\ \text{PT} - 0{,}78\ \text{PH} - 0{,}51\ \text{TH}$$

Donde:

P = presión interna de extracción (MPa)

T = temperatura de licor de cacao = 100 °C

H = altura de llenado del cilindro de prensado = 28 cm

Con base en la ecuación obtenida se realizó la gráfica de predicción del rendimiento de extracción conforme incrementa la presión hasta llegar a 60 MPa, se muestra en la Figura 3.4.

Se observó que sigue una tendencia lineal, se encontró que el máximo rendimiento que se obtiene en una prensa hidráulica batch bajo las condiciones antes mencionadas es de 79,51 % de rendimiento de extracción. Para obtener una predicción más exacta es necesario evaluar el rendimiento con más de dos niveles en cada factor.

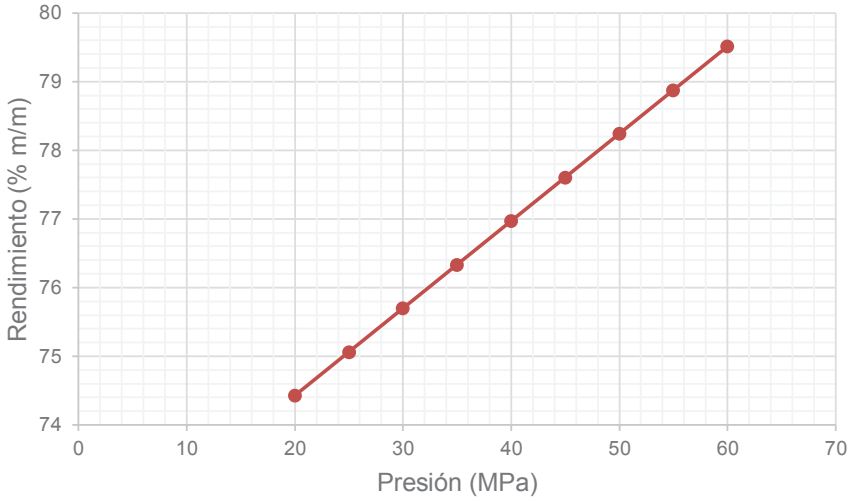


Figura 3.4. Predicción del rendimiento de extracción conforme incrementa la presión (100 °C y 28 cm)

A continuación se analizará el efecto de la presión, temperatura y altura de llenado sobre el rendimiento de extracción.

3.2.2.1. Presión

Se realizó una comparación entre los tratamientos a iguales condiciones de temperatura y altura de llenado al incrementar la presión de 16 a 32 MPa. En la Figura 3.5 se observa que en el rendimiento es mayor en todos los casos donde se incrementó el nivel de presión hasta 32 MPa. Esto se debe a que el incremento de presión provoca la fracturación de las células y la grasa liberada fluye a través de los orificios de aire. Los resultados obtenidos corroboran que conforme incrementa la presión también incrementa el rendimiento de extracción, al aumentar la presión la materia grasa se ve forzada a fluir rápidamente hacia el exterior.

Adicionalmente, se puede observar que conforme incrementa el nivel de la temperatura y altura de llenado, la presión tiene menor influencia sobre el rendimiento de extracción. En los tratamientos realizados con 100 °C y 28 cm se obtuvo una variación de 8,76 %, mientras que en los otros tratamientos con

condiciones de operación más bajas (90 °C y 14 cm, 90 °C y 28 cm, 100 °C y 14 cm) las diferencias fueron de 16,33 %, 14,97 % y 17,20 % respectivamente.

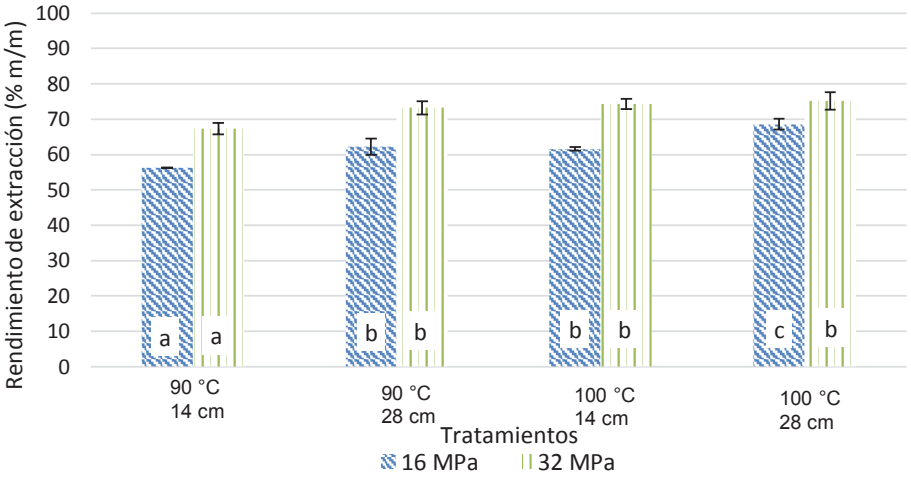


Figura 3.5. Comparación de rendimientos cuando incrementa la presión.

De acuerdo al análisis estadístico se encontró que a 16 MPa existen diferencias significativas entre los tratamientos efectuados a 90 °C y 28 cm y 100 °C y 14 cm, mientras que a 32 MPa solo presentó diferencias significativas el tratamiento efectuado a 90 °C y 14 cm.

La presión ejercida no influye sobre las propiedades químicas de la torta de cacao que se obtiene en el prensado, por lo que podría incrementarse indefinidamente, pero si se incrementa en exceso puede resultar en un proceso poco eficiente.

Al comparar la media global de extracción en la presión de 16 MPa con los tratamientos realizados a 32 MPa se determinó un incremento del 14,25 % en el rendimiento de extracción de manteca de cacao.

3.2.2.2. Temperatura

Se efectuó una comparación entre los tratamientos a iguales condiciones de presión y altura de llenado con un incremento de nivel en la temperatura. En la Figura 3.6 se observa que el rendimiento de extracción incrementa cuando se eleva la temperatura de 90 °C hasta 100 °C.

Los resultados mostrados en la gráfica confirman que el incremento de la temperatura favorece la fluidez del licor de cacao hacia el exterior del cilindro, mientras más se eleva la grasa tiene menor viscosidad y fluye con mayor facilidad, por lo tanto incrementa su rendimiento (Venter, 2006, p. 20). Sin embargo, la temperatura únicamente puede incrementarse hasta 105 °C, si sobrepasa este límite los sólidos del cacao y la grasa sufren alteraciones y presentan características organolépticas indeseables (Yánez, 1994, p. 56).

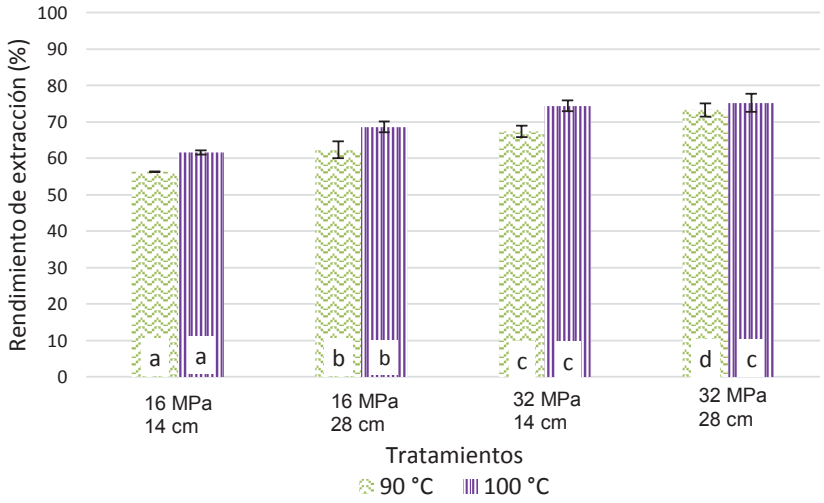


Figura 3.6. Comparación de rendimientos de extracción de manteca cuando se produce un incremento de temperatura

A 90 °C se encontraron diferencias significativas entre todos los tratamientos, mientras que a 100 °C y 32 MPa se encontró que los tratamientos a 14 y 28 cm presentaron diferencias significativas.

El incremento en el rendimiento cuando se aumenta la temperatura fue menor que el incremento presentado cuando aumenta la presión mostrados en el inciso 3.2.1.1. Adicionalmente, se observó que conforme incrementa el nivel de los factores de presión y altura de llenado la diferencia en el rendimiento de extracción es menor. En los tratamientos efectuados a 32 MPa y 28 cm se encontró una diferencia de 2,56 %, mientras que en los tratamientos a 16 MPa y 14 cm, 16 MPa y 28 cm, 32 MPa y 14 cm se obtuvo una diferencia en el rendimiento de 8,55 %, 9,2 % y 9,49 % respectivamente.

La media global de extracción obtenida para la temperatura de 90 °C fue de 64,79 % mientras que para 100 °C fue de 69,93 %, esto indica que el rendimiento de extracción incrementó en un 7,35 %.

3.2.2.3. Altura de llenado

La altura de llenado se relaciona con la masa, cuando la altura se eleva requiere mayor masa en el interior del cilindro de prensado. Al comparar lo tratamientos efectuados a iguales condiciones de presión y temperatura con un incremento en la altura de llenado se encontró los resultados mostrados en la figura 3.7 se muestra el rendimiento de extracción para cada tratamiento cuando se incrementa la altura de llenado de 14 cm hasta 28 cm.

En todos los casos, al comparar la altura de llenado de 14 cm y 28 cm con condiciones de operación iguales de presión y temperatura, se observó un incremento en el rendimiento de extracción. Se observa que conforme incrementa la presión y la temperatura, el aumento de la altura de llenado tiene menor influencia sobre el rendimiento.

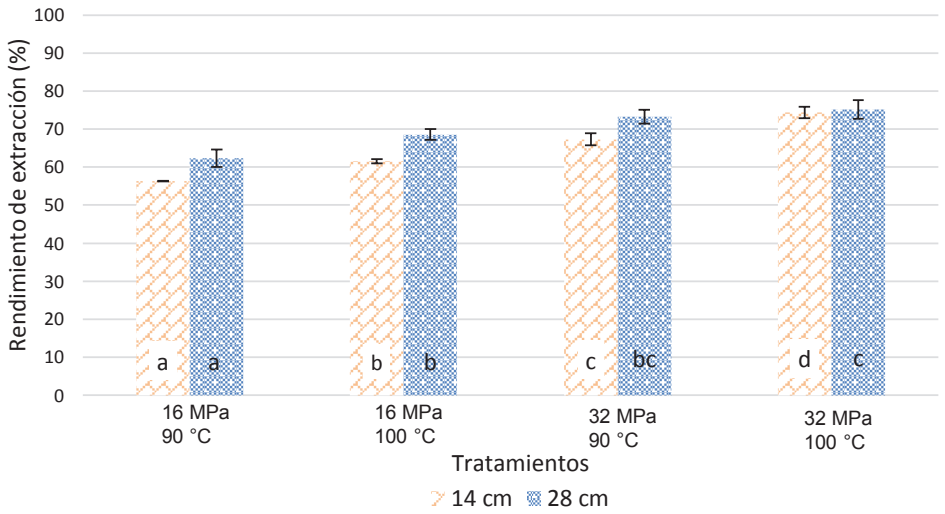


Figura 3.7. Comparación del rendimiento de extracción cuando incrementa la altura de llenado

La media global de extracción obtenida para la altura de 14 cm fue de 64,89 % mientras que para 28 cm fue de 69,82 %, esto indica que el rendimiento de extracción incrementó en un 7,06 %.

De acuerdo al análisis estadístico se encontró diferencias significativas entre todos los tratamientos realizados a 14 cm, mientras que a 28 cm se encontró diferencias entre todos excepto en el tratamiento realizado a 28 cm, 32 MPa y 90 °C.

Se realizó un análisis de varianza del rendimiento de extracción, y la prueba de rangos múltiples para evaluar el efecto del incremento de nivel de cada factor. Los resultados se presentan en la Tabla 3.7.

Se observa que tanto la presión, temperatura y altura de llenado presentan una influencia estadísticamente significativa (P<0,05), con un 95,0 % de nivel de confianza sobre el rendimiento de la extracción. De acuerdo al análisis de varianza se ha determinado que no existen interacciones entre los factores, es decir que cada uno influye en forma independiente sobre el rendimiento de extracción.

Tabla 3.7.Análisis de varianza para rendimiento de extracción

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Razón-F	Valor-P
A:Presión	427,52	1	122,26	0,0000
B:Temperatura	105,677	1	30,22	0,0004
C:Altura de llenado	97,3264	1	27,83	0,0005
INTERACCIONES				
Presión - temperatura	1,6776	1	0,48	0,5060
Presión – altura de llenado	9,7013	1	2,77	0,1301
Temperatura – altura de llenado	4,17852	1	1,19	0,3027

De acuerdo a la prueba de rangos múltiples se ha encontrado que existe diferencia significativa entre los dos niveles de cada uno de los tres factores presión, temperatura y altura de llenado. El método empleado fue el de diferencia mínima significativa (LSD) con un 95,0 % de confianza.

3.2.3. INFLUENCIA SOBRE EL CONTENIDO DE GRASA RESIDUAL

Se realizó un análisis de grasa en las muestras de polvo de cacao, para determinar la cantidad de grasa residual en la torta. En la Figura 3.8 se muestra la variación del contenido de manteca de cacao en el polvo proveniente de cada tratamiento de prensado. Se observa que conforme incrementa la presión, temperatura y altura de llenado del cilindro de prensado, el contenido de grasa va disminuyendo.

Se realizó un balance de masa para determinar el porcentaje teórico de grasa residual presente en la torta de cada tratamiento, y fue comparado con el contenido real obtenido sobre la base de los análisis antes mencionados. Se observa que el contenido de grasa real en todos los casos es menor al contenido teórico, esto se debe principalmente a las pérdidas por equipo y manipulación de las muestras durante el proceso.

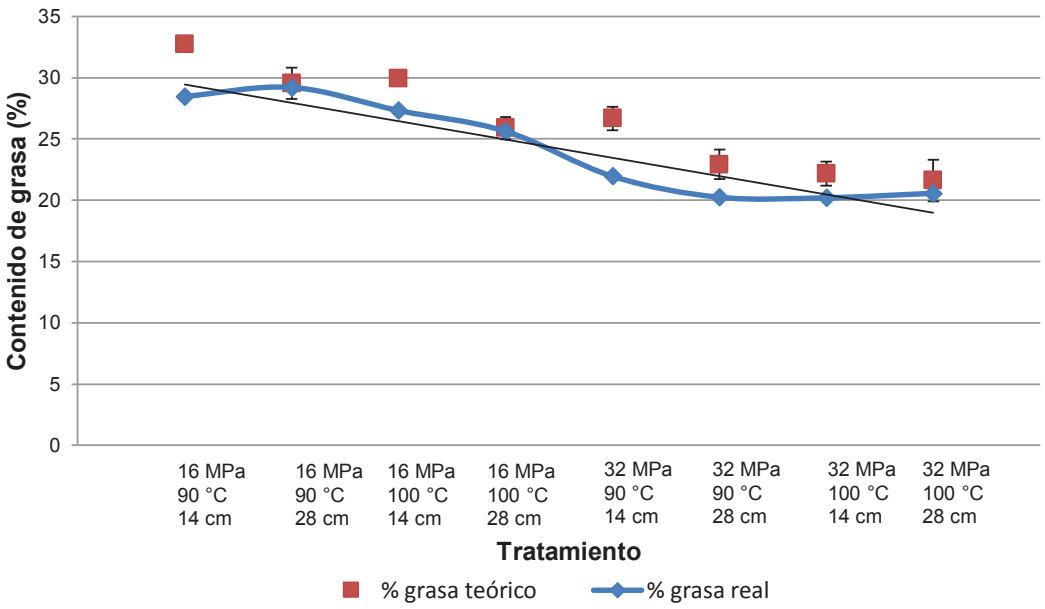


Figura 3.8. Contenido de grasa residual en cada tratamiento

Para determinar el efecto de cada factor sobre el contenido de grasa residual se efectuó un análisis de Varianza ANOVA y la prueba de rangos múltiples, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.8. Se encontró que la presión y la temperatura influyen significativamente sobre el contenido de grasa residual,

mientras que la altura de llenado durante el proceso de prensado no presentó influencia sobre el contenido de materia grasa (P>0,05).

Tabla 3.8.Análisis de Varianza (ANOVA) de la presión, temperatura y altura de llenado sobre el contenido de grasa residual

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Razón-F	Valor-P
A:Presión	191,165	1	334,92	0,0000
B:Temperatura	9,46331	1	16,58	0,0028
C:Altura de llenado	1,32538	1	2,32	0,1619
Interacciones				
Presión – temperatura	2,72663	1	4,78	0,0567
Presión – altura de llenado	0,0375391	1	0,07	0,8034
Temperatura – altura de llenado	0,0301891	1	0,05	0,8232

En la prueba LSD se observa que la presión y la temperatura presentaron diferencia significativa entre el nivel 1 y 2 de estos factores, es decir entre 16 MPa y 32 MPa y 90 °C y 100 °C respectivamente. No se encontró interacción entre factores.

Los resultados obtenidos se utilizaron para predecir el contenido de grasa residual aproximado en la torta de cacao frente al incremento de presión hasta 60 MPa, con base en los resultados obtenidos en cada tratamiento se obtuvo la ecuación que describe la tendencia que sigue el contenido de grasa residual.

$$\text{Contenido de grasa (\%)} = 24{,}29 - 3{,}46\,P - 0{,}77\,T - 0{,}29\,H + 0{,}41\,P\,T - 0{,}05\,PH - 0{,}04\,TH$$

Donde:

P = presión dentro del cilindro (MPa)

T= temperatura del licor de cacao = 100 °C

H = altura de llenado del cilindro de prensado = 28 cm

Se utilizó la ecuación para elaborar la gráfica de predicción del contenido de grasa residual en la torta de cacao si la presión incrementa hasta 60 MPa. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 3.9.

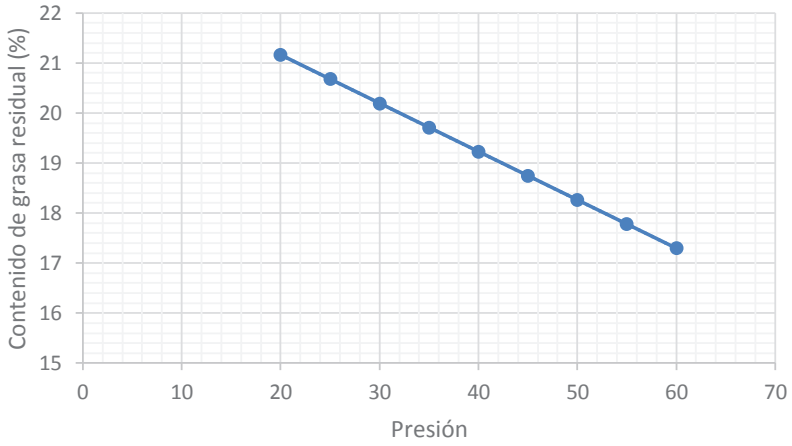


Figura 3.9. Porcentaje de grasa residual en la torta de cacao cuando incrementa la presión, temperatura de extracción: 100 °C

Se encontró que cuando se incrementa la presión hasta 60 MPa es posible obtener torta de cacao con contenido de grasa residual de 17,29 %.

3.2.4. INFLUENCIA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL POLVO DE CACAO

3.2.4.1. Color

Se determinó los parámetros L*, a* y b* para el polvo de cacao proveniente de cada tratamiento de prensado, los resultados se muestran en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Coordenadas CIELAB de color en las muestras de polvo de cacao en cada tratamiento

Tratamiento			Parámetros		
		Grasa	L*	a*	b*
T1	16 MPa, 90 °C y 14 cm	28,47	32,44 ± 2,11	10,09 ± 0,43	11,30 ± 0,64
T2	16 MPa, 90 °C y 28 cm	29,2	32,19 ± 3,45	10,14 ± 0,62	11,27 ± 0,63
T3	16 MPa, 100 °C y 14 cm	27,32	35,32 ± 1,48	9,88 ± 0,57	12,2 ± 0,33
T4	16 MPa, 100 °C y 28 cm	25,62	36,04 ± 1,88	10,05 ± 0,43	12,36 ± 1,95
T5	32 MPa, 90 °C y 14 cm	21,95	35,21 ± 2,60	9,68 ± 0,35	12,60 ± 0,45
T6	32 MPa, 90 °C y 28 cm	20,24	39,30 ± 0,46	10,00 ± 0,53	12,01 ± 0,90
T7	32 MPa, 100 °C y 14 cm	20,2	39,13 ± 0,82	9,73 ± 0,22	12,72 ± 0,49
T8	32 MPa, 100 °C y 28 cm	20,57	38,32 ± 0,74	9,76 ± 0,44	12,36 ± 0,65

Media ± DE (n=2)

De acuerdo a los valores de luminosidad (L*) presentados en la tabla, se puede observar que los tratamientos donde se aplicó una presión de 16 MPa que posee mayor contenido de grasa residual en relación a los tratamientos efectuados a 32 MPa presentan un color más oscuro. Esto concuerda con lo descrito por Beckett (2008) que indica que el polvo de cacao con mayor contenido graso es más oscuro que el polvo bajo en grasa (p. 137).

Para analizar las propiedades instantáneas del polvo de cacao como humectabilidad, dispersabilidad e insolubilidad se realizó una caracterización física en el polvo de cacao donde se determinó el tamaño de partícula por tamizado y a partir de este parámetro se determinó el diámetro medio (Dm) y superficie específica (Sp).

3.2.4.2. Tamaño de partícula

Se determinó el tamaño de partícula del polvo de cacao por tamizado. En la Figura 3.10 se muestra la curva granulométrica de cada tratamiento.

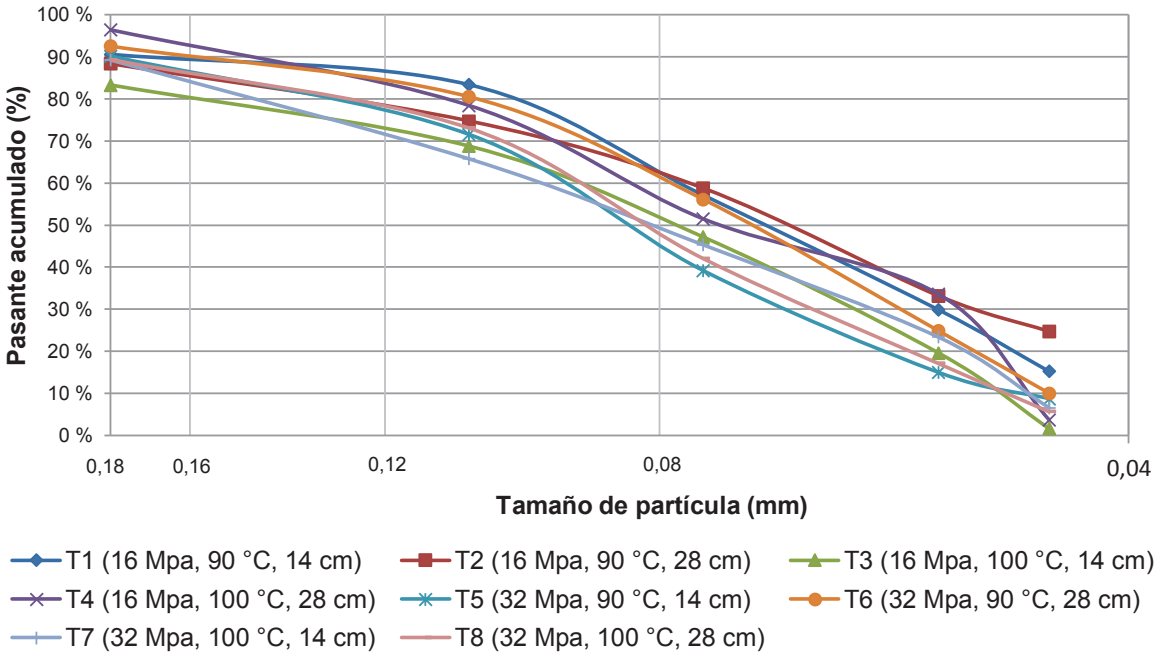


Figura 3.10. Curva granulométrica del polvo de cacao en cada tratamiento para un tamaño de partículas comprendido entre 0,04 y 0,18 mm

De acuerdo a la figura se observa que en todos los tratamientos al menos el 45 % de la muestra presenta un tamaño de partícula menor a 75 µm y mayor a 53 µm. Sin embargo, los tratamientos T1 (16 MPa, 90 °C y 14 cm), T2 (16 MPa, 90 °C y 28 cm), T4 (16 MPa, 100 °C y 28 cm) y T6 (32 MPa, 90 °C y 28 cm) presentan 3,26 % más partículas que poseen el tamaño requerido para polvo de cacao que los tratamientos T3 (16 MPa, 100 °C y 14 cm), T5 (32 MPa, 90 °C y 14 cm), T7 (32 MPa, 100 °C y 14 cm) y T8 (32 MPa, 100 °C y 28 cm).

Esta diferencia en el tamaño de partícula entre los tratamientos influye sobre algunas propiedades físicas como la viscosidad, densidad aparente, compresión, fluidez, sensación en la boca, textura y solubilidad (Belsak Citanovich, et al, 2010, p. 7190; Barbosa, 2005, p. 33).

3.2.4.3. Diámetro medio

Se determinó el diámetro medio para establecer una relación con el tamaño de partícula, los resultados de diámetro medio para cada tratamiento se muestran en la Tabla 3.10. Los cálculos para la determinación del diámetro medio se muestran en detalle en el ANEXO III.

Tabla 3.10. Diámetro medio de partícula en cada tratamiento de prensado

Tratamiento	Diámetro medio (mm)
16 MPa, 90 °C y 14 cm	0,065
16 MPa, 90 °C y 28 cm	0,064
16 MPa, 100 °C y 14 cm	0,073
16 MPa, 100 °C y 28 cm	0,078
32 MPa, 90 °C y 14 cm	0,079
32 MPa, 90 °C y 28 cm	0,071
32 MPa, 100 °C y 14 cm	0,079
32 MPa, 100 °C y 28 cm	0,078

Media ± DE (n=1)

Se observa que todos tratamientos se encuentran dentro del rango establecido para el tamaño de partícula del polvo de cacao comprendido entre 0,053 mm y

0,075 mm. Se encontró que los tratamientos T1 (16 MPa, 90 °C y 14 cm), T2 (16 MPa, 90 °C y 28 cm), T3 (16 MPa, 100 °C y 14 cm) y T6 (32 MPa, 90 °C y 28 cm) tienen un tamaño de partícula menor que los tratamientos T4 (16 MPa, 100 °C y 28 cm), T5 (32 MPa, 90 °C y 14 cm), T7 (32 MPa, 100 °C y 14 cm) y T8 (32 MPa, 100 °C y 28 cm).

3.2.4.4. Superficie específica

Se calculó la superficie específica para determinar la superficie de un gramo de polvo de cacao que se encuentra en contacto con el medio exterior, los resultados se presentan en la Figura 3.11 para las muestras de polvo de cacao provenientes de cada tratamiento de prensado. Los cálculos respectivos se muestran en el ANEXO IV.

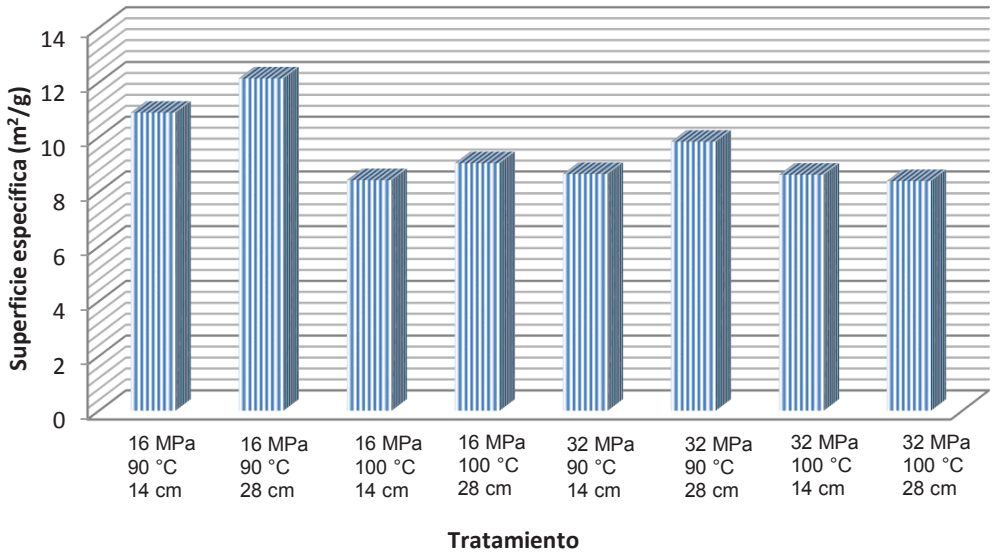


Figura 3.11. Superficie específica de muestras de polvo de cacao obtenidas en cada tratamiento

Se observa que el tratamiento con mayor superficie específica es el que se aplicó 16 MPa de presión 90 °C de temperatura y 28 cm de altura de llenado, mientras que el tratamiento con 16 MPa, 100 °C y 14 cm es el tratamiento con menor

superficie especifica. Se observa que la superficie específica es similar en el resto de tratamientos.

La superficie específica influye sobre las propiedades instantáneas del polvo de cacao y guarda relación con el diámetro medio, se conoce que si el diámetro medio incrementa, la superficie específica disminuye. Las muestras de polvo de cacao tiene tamaños de partícula correspondientes a polvos finos lo que hace que presente una elevada superficie específica (Rodríguez et al., 2002, p. 18).

La superficie específica es una medida que se relaciona también con la porosidad de la muestra, mientras más porosa es la muestra existe mayor área superficial. La muestra del tratamiento donde se aplicó presión de 16 MPa, 90 °C de temperatura y 28 cm de altura de llenado fue la que presentó mayor área superficial, por lo tanto es la muestra más porosa (Barbosa- Canóvas et al., 2005, p. 48)

3.2.4.5. Humectabilidad

Se determinó el tiempo necesario para humectar una muestra de polvo de cacao proveniente de cada tratamiento, los resultados se muestran en la Figura 3.12.

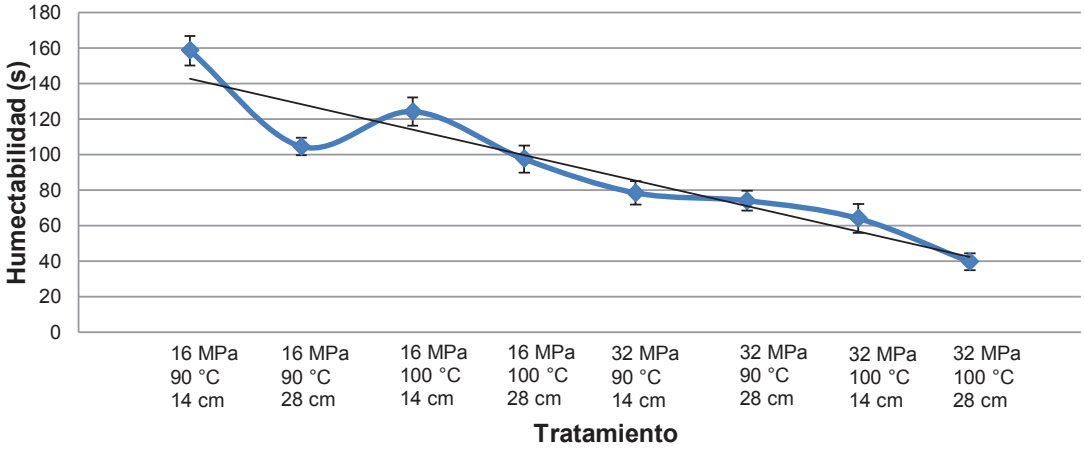


Figura 3.12. Humectabilidad del polvo de cacao para cada tratamiento

Se encontró que el tiempo necesario para humectarse completamente fue menor en las muestras que presentaron menor contenido de grasa residual, obtenidos a 32 MPa.

En el tratamiento donde se aplicó 16 MPa, 90 °C y 28 cm, se observa que el tiempo de humectación se encuentra alejado de la línea de tendencia, esto se debe a que la superficie específica determinada para este tratamiento fue mayor que los tratamientos restantes. La medida de superficie específica es directamente proporcional a la porosidad, esto nos indica que la muestra tiene más espacios libres que el resto de muestras.

Cuando una muestra porosa se pone en contacto con un solvente, por capilaridad el agua tiene a penetrar a través de los espacios libres, esto permite que las partículas sólidas sean cubiertas rápidamente por el solvente y penetren la superficie del líquido (Barbosa-Cánovas et al., 2005, p.85).

En los otros tratamientos se encontró similar área superficial por lo tanto la tendencia decreciente se debe principalmente a la composición química y presencia de compuestos hidrófobos en la superficie de las partículas.

Se realizó un análisis de varianza para determinar la influencia de cada factor sobre la humectabilidad del polvo de cacao, y una prueba de rangos múltiples para determinar la influencia del incremento de nivel de cada factor sobre la humectabilidad del polvo. Los resultados se presentan en la Tabla 3.11.

De acuerdo a los resultados obtenidos se observó que tanto la presión, temperatura y altura de llenado tienen influencia significativa sobre el tiempo de humectabilidad, pero la presión presentó el valor P más bajo, lo que indica que tiene mayor influencia que la temperatura y la altura de llenado del cilindro de prensado.

De acuerdo a la prueba de rangos múltiples se encontró que todos los factores presentan diferencia significativa entre los dos niveles, es decir que al incrementar la presión, temperatura o altura de llenado también disminuye significativamente el tiempo de humectabilidad de la muestra.

Tabla 3.11. Análisis de Varianza (ANOVA) de la presión, temperatura y altura de llenado sobre la humectabilidad del polvo de cacao

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Razón-F	Valor-P
Presión	13067,9	1	124,54	0,0000
Temperatura	2035,14	1	19,39	0,0017
Altura de llenado	2998,38	1	28,57	0,0005
Interacciones				
Presión - Temperatura	14,0438	1	0,13	0,7229
Presión - Altura de llenado	672,754	1	6,41	0,0321
Temperatura - Altura de llenado	13,3225	1	0,13	0,7998

3.2.4.6. Dispersabilidad

Se determinó el porcentaje de dispersabilidad en cada tratamiento, en la Figura 3.13 se observa una tendencia creciente conforme se eleva la presión, temperatura y altura de llenado. Esto se debe a que conforme incrementa el nivel en cada factor, la grasa residual en la torta de cacao disminuye, por lo tanto tiene menor cantidad de compuestos hidrófobos en la superficie de los sólidos, esto permite que el polvo de cacao incremente su afinidad por el agua y mejore la capacidad de dispersión de la muestra en el medio líquido.

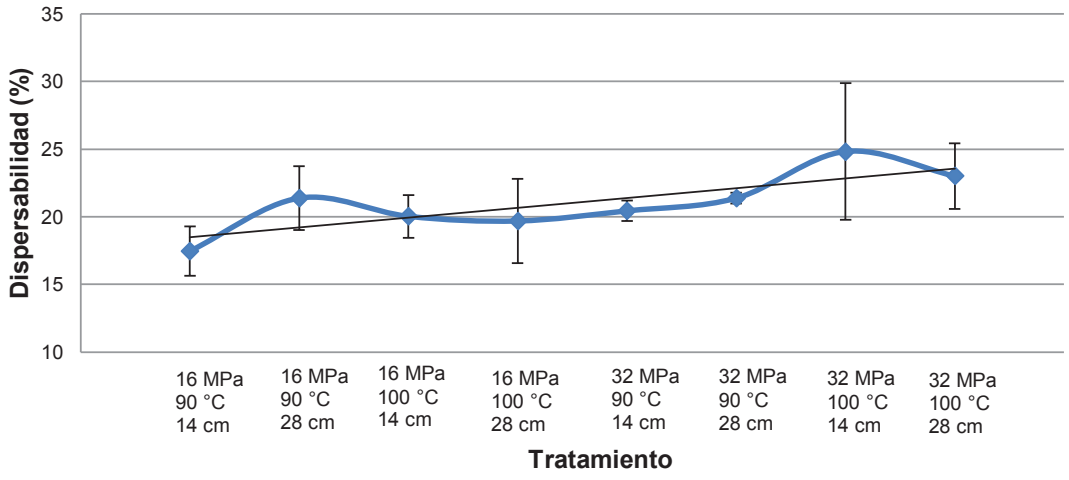


Figura 3.13. Porcentaje de dispersabilidad en cada tratamiento

Se encontró que el porcentaje de dispersabilidad en los tratamientos donde se aplicó 16 MPa, 90 °C, 28 cm y 32 MPa, 100 °C y 14 cm, se encuentran alejados de la línea de tendencia, esto puede deberse a la diferencia en la densidad del sobrenadante recuperado en cada muestra, una diferencia de 0,0019 g/cm3 en la densidad puede alterar en 4 unidades el porcentaje de dispersabilidad.

Al igual que en la humectabilidad se encontró que al incremental el nivel en cada factor presenta mejor dispersabilidad, cuando la capacidad de humectación de una partícula incrementa, también mejora su capacidad de dispersión (Onwulata, 2005, p. 58). Mientras menor es el tamaño de partícula, mientras no sea menor al límite de 53 µm entonces va a presentar mejor dispersabilidad.

Se realizó un análisis de varianza y una prueba de rangos múltiples LSD para determinar la influencia de las condiciones de operación sobre la capacidad de dispersión del polvo de cacao, los resultados se muestran en la Tabla 3.12. Donde se observa que solo la presión tiene una influencia significativa sobre el porcentaje de dispersabilidad del polvo de cacao (P<0,05).

Tabla 3.12. Análisis de Varianza (ANOVA) de la presión, temperatura y altura de llenado sobre el porcentaje de dispersabilidad del polvo de cacao

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Razón-F	Valor-P
A:Presión	30,7178	1	5,15	0,0494
B:Temperatura	11,9007	1	1,99	0,1915
C:Altura de llenado	1,81372	1	0,30	0,5948
Interacciones				
Presión - Temperatura	6,60064	1	1,11	0,3203
Presión - Altura de llenado	4,96089	1	0,83	0,3856
Temperatura - Altura de llenado	12,3334	1	2,07	0,1843

La presión presentó diferencia significativa entre 16 y 32 MPa, mientras que la temperatura y altura de llenado que no presentaron diferencia estadísticamente significativa al incrementar de nivel. No se encontró interacción entre factores.

De acuerdo a la tabla de medias por mínimos cuadrados se encontró que la media global es de 21,03 %, este resultado es ligeramente más alto al porcentaje

de dispersabilidad obtenido para muestras de polvo de cacao comercial que presentan un porcentaje de dispersabilidad de 18 % en una muestra de cacao al 10 % de contenido graso con un tamaño de partícula de 31 µm (Shittu y Lawal, 2007, p. 93)

3.2.4.7. Insolubilidad

Se determinó la insolubilidad que corresponde a la fracción de sólidos no disueltos de una muestra de polvo de cacao en agua. De acuerdo a la Figura 3.14 se encontró que el índice de insolubilidad permaneció entre 16 % y 18 %, se observó un ligero incremento conforme incrementa la presión, temperatura y altura de llenado.

Esta tendencia se explica debido a que durante el proceso de disolución intervienen varios factores, entre ellos la temperatura, la composición química de las partículas sólidas, la microestructura de las partículas que la componen y el tamaño de partícula, de los cuales el tamaño de partícula es el factor con mayor influencia (Shittu y Lawal, 2007, p. 97).

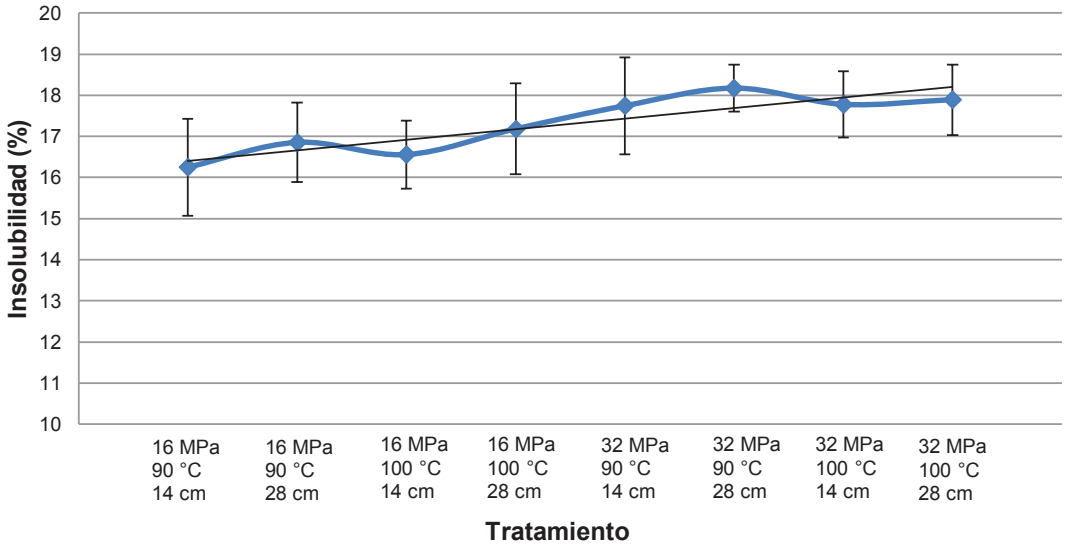


Figura 3.14. Insolubilidad en cada tratamiento

El polvo de cacao a pesar de ser desengrasado posee grasa residual que varía entre 10 y 24%, ésta posee características hidrófobas, es por esto a mayor contenido graso presenta menor solubilidad, esto no se observa en la figura debido a la variabilidad del tamaño de partícula obtenido en la molienda de la torta de cacao, lo que corrobora que el tamaño de partícula influye más sobre la solubilidad del polvo de cacao que la composición química (Shittu y Lawal, 2007, p. 97).

Debido a que los tratamientos T1 (16 MPa, 90 °C y 14 cm), T2 (16 MPa, 90 °C y 28 cm), T4 (16 MPa, 100 °C y 28 cm) y T6 (32 MPa, 90 °C y 28 cm) presentan tamaño de partícula más cercano al rango establecido (53 – 75 µm) tienen mejor solubilidad que el resto de tratamientos independientemente de su contenido graso.

Para determinar la influencia de cada factor sobre la insolubilidad se efectuó un análisis de varianza y una prueba de rangos múltiples LSD cuyos resultados se presentan en la Tabla 3.13. Se encontró que la presión tiene un efecto significativo sobre la insolubilidad ($P<0,05$), es decir que cuando incrementa la presión, la insolubilidad varía en mayor proporción que al incrementar la temperatura o la altura de llenado del cilindro de prensado.

Tabla 3.13. Análisis de Varianza (ANOVA) y grupos homogéneos de la presión, temperatura y altura de llenado sobre la insolubilidad del polvo de cacao

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Razón-F	Valor-P
Presión	5,63022	1	11,30	0,0084
Temperatura	0,0346804	1	0,07	0,7979
Altura de llenado	1,00416	1	2,01	0,1895
Interacciones				
Presión - Temperatura	0,202258	1	0,41	0,5400
Presión - Altura de llenado	0,135905	1	0,27	0,6142
Temperatura - Altura de llenado	0,0597812	1	0,12	0,7371

Adicionalmente, se encontró que de los tres factores analizados solamente la presión presentó diferencia significativa entre sus dos niveles (16 y 32 MPa). No se encontró interacciones entre factores.

3.2.4.8. Absorción de humedad

Se realizó un análisis de humedad después de 2 meses de almacenamiento para evaluar la higroscopicidad del polvo de cacao y se obtuvieron los resultados mostrados en la Figura 3.15.

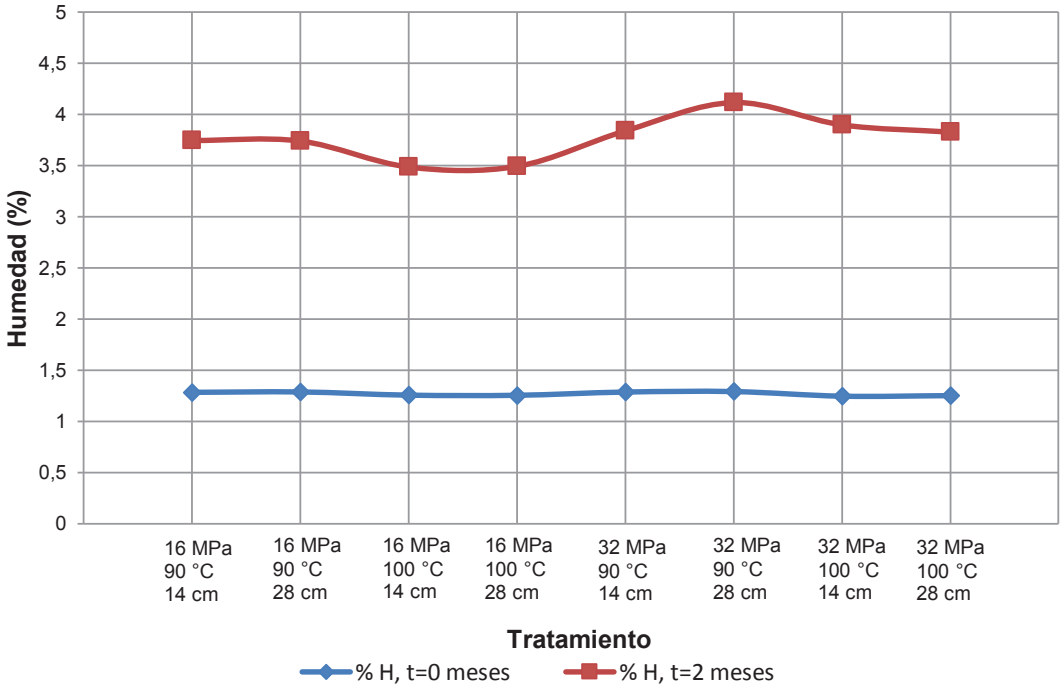


Figura 3.15. Humedad del polvo de cacao después de dos meses de almacenamiento, t=0 tiempo después del prensado, t=2 después de 2 meses de almacenamiento.

Se encontró que el contenido de grasa tiene influencia sobre la capacidad de absorción de humedad, las muestras con mayor contenido de grasa residual presentaron menor humedad, esto se debe a que el polvo de cacao es un alimento higroscópico debido a su bajo contenido de humedad, esto provoca que absorba fácilmente humedad del ambiente. Cuando existe componentes hidrófobos en la superficie como la manteca de cacao, esto en parte evita que absorba humedad del ambiente, es por esto que las condiciones de

almacenamiento y empaque son fundamentales para la buena conservación de este producto (Belscak-Cvitanovic et al. 2010, p. 7190).

La capacidad de absorción de humedad en el polvo de cacao es una característica beneficiosa, ya que provoca aglomeración espontánea de las partículas, sin embargo puede ser perjudicial cuando provoca dificultad en el flujo y problemas de apelmazamiento. Además que un contenido de humedad mayor al permitido puede incidir en problemas microbiológicos (Barbosa, 2005, p. 52).

Adicionalmente, se conoce que cuando la superficie específica de un material es mayor también incrementa su higroscopicidad debido a que la superficie de las partículas tienen mayor contacto con el aire de donde absorbe humedad (Fernández, et. al, 2008, p. 3). En los tratamientos con mayor superficie específica se observó un ligero incremento en su capacidad de absorción de humedad.

Se realizó un análisis de varianza y una prueba de rangos múltiples LSD cuyos resultados se muestra en la Tabla 3.14, donde se observa que la presión y la temperatura influyen significativamente sobre la capacidad de absorber humedad ($P<0,05$). Se encontró diferencia significativa entre los dos niveles tanto de la presión como de la temperatura.

Tabla 3.14. Análisis de Varianza (ANOVA) de la presión, temperatura y altura de llenado sobre la absorción de humedad del polvo de cacao

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Razón-F	Valor-P
Presión	0,375381	1	18,92	0,0019
Temperatura	0,133046	1	6,71	0,0292
Altura de llenado	0,0102236	1	0,52	0,4911
Interacciones				
Presión - Temperatura	0,0179671	1	0,91	0,3661
Presión - Altura de llenado	0,0109836	1	0,55	0,4758
Temperatura - Altura de llenado	0,0272463	1	1,37	0,2713

3.3. SELECCIÓN DEL MEJOR TRATAMIENTO DE PRENSADO

Para seleccionar el mejor tratamiento de prensado se consideró el rendimiento de extracción de manteca de cacao y las propiedades físicas del polvo de cacao en la reconstitución.

Se observó que en los tratamientos T6 (32 MPa, 90 °C y 28 cm), T7 (32 MPa, 100 °C y 14 cm) y T8 (32 MPa, 100 °C y 28 cm) se obtuvo los mayores rendimientos con 73,25 %, 74,37 % y 75,18 % respectivamente, de los cuales el mayor fue el rendimiento presentado por el T8 (32 MPa, 100 °C y 28 cm) donde se utilizó condiciones de operación más severas.

Se encontró que el polvo de cacao proveniente del T8 (32 MPa, 100 °C y 28 cm) presentó menor contenido de grasa residual con 20,57 % de manteca de cacao. En la elaboración de cacao en polvo se busca obtener polvo con el menor contenido graso posible, debido a que la grasa es un limitante en su afinidad por el agua, además el polvo de cacao se considera un alimento de alto valor nutricional por su bajo contenido graso y altas contenido de compuestos antioxidantes (Kooper et al, 2008, p. 1).

En cuanto a las propiedades de reconstitución, se busca obtener el mayor porcentaje de dispersabilidad, menor insolubilidad y menor tiempo de humectabilidad. Se encontró que los tratamientos T7 (32 MPa, 100 °C y 14 cm) y T8 (32 MPa, 100 °C y 28 cm) presentaron los mayores valores de dispersabilidad con 24,84 % y 23 %. El tratamiento T8 (32 MPa, 100 °C y 28 cm) presentó el tiempo más corto de humectabilidad de 39,68 s y el tratamiento T1 (16 MPa, 90 °C y 14 cm) el mejor valor de insolubilidad con 16,25 %.

En cuanto a la absorción de humedad registrada durante el almacenamiento se encontró que las muestras con mayor contenido graso absorbieron menor humedad, es decir que el tratamiento T1 (16 MPa, 90 °C y 14 cm) presentó mejores propiedades después de dos meses de almacenamiento. Sin embargo, este efecto se puede contrarrestar al mejorar el material de empaque y las condiciones de almacenamiento.

Sobre la base de los puntos expuestos se encontró que en general el tratamiento de prensado T8 (32 MPa, 100 °C y 28 cm) presentó mejores valores en los parámetros evaluados.

3.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS DEL TRATAMIENTO SELECCIONADO

3.4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MANTECA DE CACAO

Se realizó una caracterización de manteca de cacao, donde se evaluó la acidez titulable, índice de peróxido e índice de yodo, los resultados se muestran en la Tabla 3.15.

Tabla 3.15.Caracterización de la manteca de cacao obtenida del tratamiento seleccionado (T8)

Parámetro	Cantidad	Unidad
Índice de Peróxido	1,655 ± 0,05	meq O_2/kg manteca
Índice de Yodo (Wijs)	35,215 ± 1,18	cgl/g
Acidez titulable	1,33 ± 0,00	mg KOH/g manteca
Polifenoles totales	4,47 ± 0,10	mgAG/g

Media ± DE (n=2)

El índice peróxido determinado en esta investigación se encuentra dentro del rango establecido para la manteca de cacao de 3 meq/kg de muestra (Naranjillo, 2012, p.1). Esto indica, los dobles enlaces presentes en los ácidos grasos de la manteca de cacao no han sobrepasado el límite de oxidación permitido.

La acidez titulable o índice de acidez representa la cantidad de álcali necesario para neutralizar los ácidos grasos libres presentes en la manteca de cacao. La manteca de cacao posee triglicéridos que con el tiempo sufren una hidrólisis lo que provoca la ruptura de esta molécula, es por esto que la cantidad de ácidos grasos libres es un indicativo de la calidad de la grasa. (Cuamba, 2008, p. 77).

La manteca de cacao se considera de buena calidad cuando presenta un máximo del 0,5 mg/g a 1 mg/g de ácidos grasos libres (Bailey, 1984, p.114). En esta

investigación se encontró que la manteca de cacao presentó un valor superior al requerido, esto puede deberse a las condiciones de almacenamiento y al tiempo transcurrido entre la extracción y el análisis.

La manteca de cacao presentó un índice de yodo ubicado dentro del rango establecido para manteca de cacao, de 32 - 40 cgI/g (Bailey, 1984, p.114), esto indica que el grado de instauración de la manteca de cacao es adecuada, por lo tanto su punto de fusión no se ha alterado en el proceso. El grado de instauración se relaciona con la composición de ácidos grasos, la manteca de cacao posee un 60 % de ácidos grasos saturados (esteárico y palmítico) y 38 % de ácidos grasos insaturados (oleico y linoleico). Se conoce que los ácidos grasos saturados tienen punto de fusión mayor que los insaturados, a temperatura ambiente se encuentran en estado sólido (Rodríguez y Sastre, 1999, p. 332).

Esta combinación de ácidos grasos libres permiten que la manteca de cacao permanezca en estado sólido a temperatura ambiente pero con un punto de fusión cercano a la temperatura corporal, lo que la convierte en un componente ideal para productos de confitería (Cuamba, 2008, p. 2).

En el análisis de polifenoles totales en la manteca de cacao se encontró que posee 4,47 ± 0,10 mgAG/g, por su contenido de compuestos antioxidantes es frecuentemente utilizada como un importante insumo en la industria farmacéutica y cosmetológica, ya que por sus propiedades antioxidantes previene el envejecimiento celular (Quintero y Díaz, 2004, p. 49). No se han desarrollado investigaciones en cuanto al contenido de polifenoles en la manteca de cacao, por lo que no es posible comparar con resultados anteriores.

3.4.2. CARACTERIZACIÓN DEL POLVO DE CACAO

Se realizó una caracterización del polvo de cacao obtenido en el proceso de prensado seleccionado, los parámetros evaluados se muestran en la Tabla 3.16.

Tabla 3.16. Caracterización del polvo de cacao obtenida del tratamiento con 32 MPa, 100 °C y 28 cm

Parámetro	Cantidad	Unidad	INEN 620
Humedad	1,33 ± 0,03	%	Máximo 5 %
Cenizas totales	2,5 ± 0,21	%	Máximo 9 %
Alcalinidad de las cenizas	1,086 ± 0,02	% (g K_2CO_3/100 g)	Máximo 5 %
Polifenoles totales	61,20 ± 5,57	mgAG/g	N.A.

Media ± DE (n=2)

El contenido de humedad del polvo de cacao se encuentra dentro del valor máximo establecido por la norma INEN 620, donde indica que puede tener un contenido máximo de 2 % de humedad.

El polvo de cacao proveniente del tratamiento seleccionado presentó un valor de cenizas ubicado dentro del rango establecido por la norma INEN 620, esto indica que la cantidad de residuo orgánico presente en el polvo de cacao está dentro de los límites aceptables. Durante el calentamiento algunos compuestos inorgánicos se volatilizan, es por esto que la cantidad de cenizas indicada no es un valor exacto de materia inorgánica presente en la muestra. (INEN 637, 1981, p. 1)

El valor de alcalinidad de las cenizas en el polvo de cacao obtenido se encuentra dentro del rango establecido por la norma INEN 620, donde establece un máximo del 5 %.

Se realizó un análisis de polifenoles solubles totales en el polvo de cacao, donde se determinó un contenido de 61,20 ± 5,57 mg/g, este resultado se puede relacionar con el contenido de polifenoles totales determinados por Bohveni y Ventura (1997), donde indica que el polvo de cacao posee 58 mg/g (p. 368).

Este resultado se puede comparar con la cuantificación de polifenoles totales obtenidos en productos del cacao en diferentes etapas del proceso como granos de cacao fermentados y secos con 39 mg/g (Cadena y Herrera, 2008, p. 34), licor de cacao alcalinizado y sin alcalinizar que fueron determinados en esta investigación con 34,31 mg/g y 37 mg/g respectivamente. Se observa que el mayor contenido de polifenoles solubles totales presenta el polvo de cacao, debido a que los compuestos fenólicos se encuentran principalmente en las

partículas sólidas del cacao, mientras menor es el contenido graso existe mayor contenido de polifenoles totales (Belsack-Citanovich, , p. 7191). Las catequinas son solubles en solventes polares, y no solubles en materia grasa, por esta razón se localizan de preferencia en las partículas sólidas desengrasadas (López, 2013, p.15).

3.5. DISEÑO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE LICOR DE CACAO PARA LA OBTENCIÓN DE MANTECA Y TORTA DE CACAO

3.5.1. INGENIERÍA CONCEPTUAL

3.5.1.1. Definición del producto

Los productos a elaborarse en este proyecto son manteca y polvo de cacao.

El polvo de cacao se define como el producto obtenido de la pulverización de la torta de cacao obtenida después del prensado (NTE INEN 630, P. 1). En este proyecto se elaborará polvo de cacao soluble puro con un contenido de grasa del 10 % - 12 %. El producto terminado se empacará en fundas de polietileno cubiertas con sacos de papel y sellados. Se almacenará en condiciones ambientales en bodegas para su posterior distribución.

La manteca de cacao es la materia grasa separada por extracción mecánica del licor de cacao. Se empacará en bloques de 30 kg en fundas de polietileno en una caja.

3.5.1.2. Capacidad y localización de la planta

De acuerdo al proyecto del Sello de Desarrollo Preventivo Alternativo planteado por el Consejo Nacional de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas (CONSEP). Se conoce que existen 9000 ha destinadas a la producción de cacao en grano en la provincia de Sucumbíos, a partir de este dato se conoce que la

producción de licor de cacao será de 1 068,72 kg/h es decir 8549,9 kg/día, esta cantidad se procesará para la obtención de 4 130 kg/día de manteca de cacao y 4 359 kg/día de polvo de cacao.

Debido a que este proyecto está dirigido a las comunidades localizadas en la provincia de Sucumbíos, la planta de producción se ubicará en el cantón Nueva Loja, debido a que tiene una ubicación central a lo largo de la provincia mencionada.

3.5.1.3. Disponibilidad de materia prima e insumos

La materia prima será licor de cacao obtenido con granos CCN-51, procedente de diferentes cantones de la provincia de Sucumbíos participantes en el proyecto "Sello de Desarrollo Preventivo Alternativo", entre ellos se encuentran:

- Cascales
- Cuyabeno
- Gonzalo Pizarro
- Lago Agrio
- Putumayo
- Shushufindi
- Sucumbíos

El licor de cacao es un producto con alto contenido graso y baja humedad, esto hace que sea propenso a la oxidación por lo que es necesario almacenarse en ambiente fresco y seco por un tiempo máximo de 3 días. Será recibido en cajas de 30 kg para su almacenamiento en las bodegas de las instalaciones.

Los insumos necesarios para el proceso de producción de cacao en polvo soluble y manteca de cacao son carbonato de potasio G.R., cajas, fundas de polietileno, y sacos de papel kraft.

- Carbonato de potasio: Se recibirá en envases plásticos y se almacenará en la bodega de insumos provista de ventilación y con un ambiente fresco y seco.
- Cajas de cartón: Se destinarán para el empaque de manteca de cacao, sus dimensiones serán de 37 cm * 28 cm * 25 cm.

- Fundas de polietileno: Servirán como empaque primario para la manteca y el polvo de cacao.
- Sacos de papel kraft: servirán como empaque secundario del polvo de cacao.

Los sacos de papel y cajas de cartón estarán impresas con la información necesaria para identificar el producto como:

- Nombre y dirección de la empresa.
- Nombre del producto
- Peso neto
- Registro de la industria
- Fecha de empaque
- Fecha de caducidad
- Identificación del lote

3.5.1.4. Servicios industriales

Los servicios industriales requeridos para el funcionamiento de la planta son agua, vapor de agua, aire, energía eléctrica, combustible.

3.5.2. INGENIERÍA BÁSICA

3.5.2.1. Diseño del proceso tecnológico

Lista de equipos por áreas

En la Tabla 3.17 se muestra la lista de equipos utilizados en la producción de manteca y polvo de cacao a partir de licor de cacao, el área de producción a la cual corresponde y la nomenclatura utilizada en el diagrama de flujo. Las hojas de especificación de los equipos se muestran en el ANEXO V

Tabla 3.17. Lista de equipos por área de producción y proceso

Área	Proceso	Equipo	Nomenclatura
1	Recepción/ Alcalinizado	Recipiente	TNQ-101
		Marmitas de calentamiento	MRM-102
	Prensado	Sistema de pre calentamiento	PRC-103
		Prensa hidráulica	PRH-104
2	Pre enfriamiento	Tanque	TQE-201
	Atemperado	Atemperadora	TEM-202
	Empacado	Balanza electrónica	BAL-203
3	Triturado	Trituradora	TRT-301
	Pulverizado	Pulverizadora	PLV-302
	Empacado	Empacadora	EMP-303

Diagrama de bloque (BFD)

En la Figura 3.16 se muestra el diagrama de bloques del proceso de obtención de manteca y polvo de cacao a partir de licor de cacao.

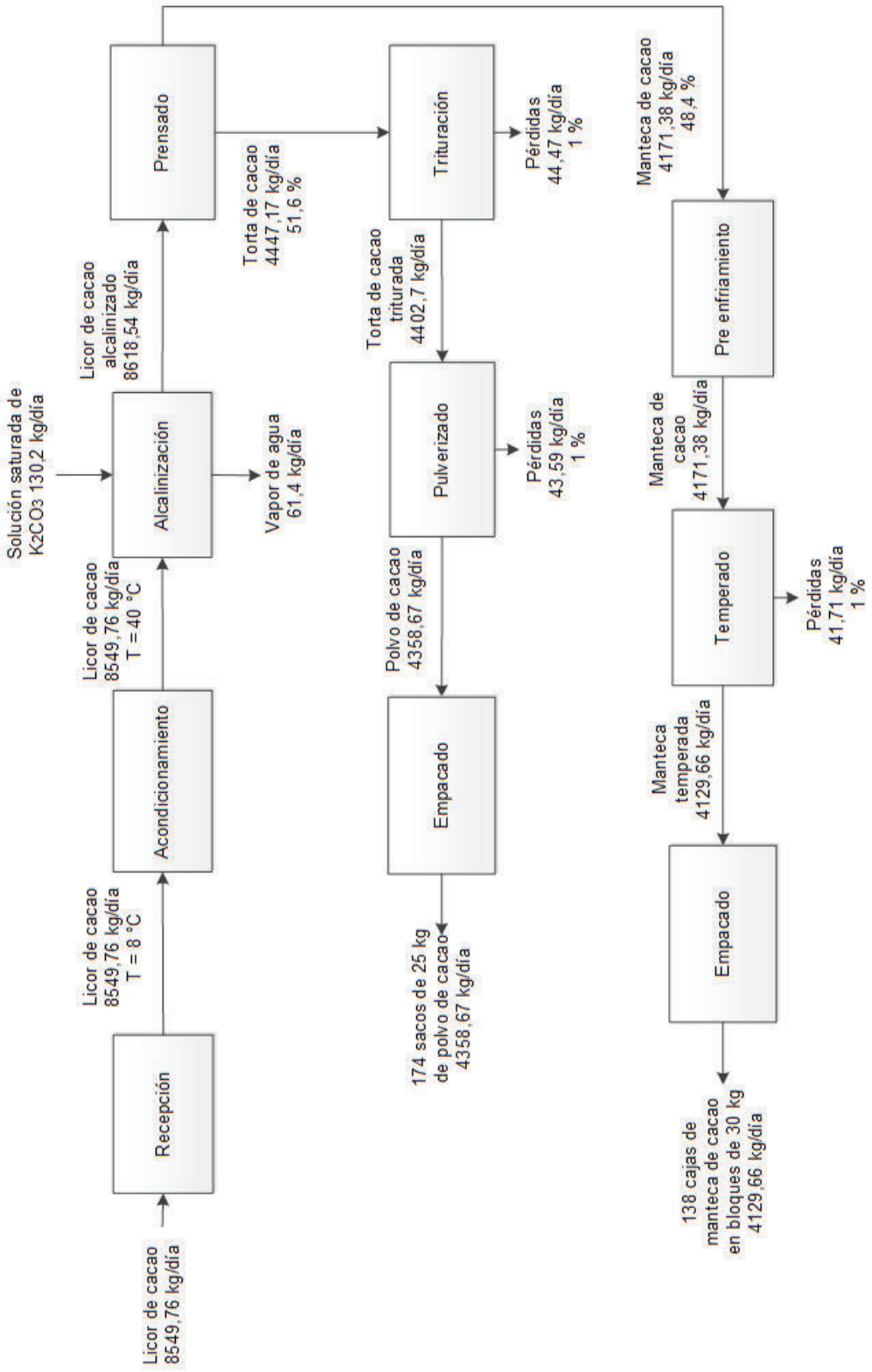


Figura 3.16. Diagrama de bloques del proceso de producción de manteca y polvo de cacao

Descripción detallada del proceso

El licor de cacao que ingrese a la planta se almacenará en una bodega de materia prima a temperatura ambiente en bloques de 30 kg, se realizará un muestro para determinar la calidad donde se evaluará el contenido de humedad de acuerdo a la norma NTE INEN 1676, la misma que no debe exceder el 3%. pH de acuerdo al método AOAC 970.21 acidez titulable según la norma 942.15, porcentaje de grasa total según la norma AOAC 963.15, porcentaje de cenizas totales según la Norma NTE INEN 533 y tamaño de partícula con un micrómetro.

Los bloques de licor de cacao serán acondicionados en marmitas abiertas MRM-102, a una temperatura de 40 °C hasta fundirse completamente. Se mezclará el licor de cacao fundido con una solución saturada de carbonato de potasio G.R. en una proporción del 1,5 % (p/p), y se elevará la temperatura a 90 °C, con agitación y temperatura constante, el tiempo de alcalinizado será de 8 horas.

El licor de cacao alcalinizado pasará por un sistema de precalentamiento PRC-103, para elevar la temperatura hasta 100 °C, temperatura ideal para el proceso de prensado. El licor de cacao pasará a través de una tubería hacia una prensa hidráulica horizontal PRH-104, con una capacidad de 1200 kg/h se alojará en cada una de las 12 cavidades de prensado; gracias a un sistema hidráulico, se incrementa la presión hasta los 55 MPa lo que provoca que la grasa sea expulsada a una velocidad de 500 kg/h y los sólidos de cacao que constituyen la torta de cacao sean retenidos en el interior de las ollas de prensado gracias a un filtro. La torta de cacao obtenida tendrá un contenido de grasa residual del 10 al 12 %.

El sistema es despresurizado, las tortas de cacao desengrasadas son expulsadas a una velocidad de 700 kg/h y transportadas en una banda transportadora hacia una trituradora TRT-301, para reducir el tamaño de partícula hasta aproximadamente 3 mm, posteriormente la torta triturada será transportada hacia un molino pulverizador PLV-302 para reducir el tamaño de partícula entre 53 µm – 75 µm, el polvo de cacao de cacao pasa hacia una tolva de almacenamiento

provista de una máquina empacadora EMP-303 en la parte inferior, se obtendrá 22 sacos/h de 25 kg, es decir 174 sacos de polvo de cacao por día.

La manteca de cacao fluye a través de una tubería desde la prensa hidráulica hasta un tanque de pre enfriamiento TQE-201, y posteriormente a atemperadora TEM-201 provista de una válvula para regular el paso de la manteca durante el llenado de las cajas, la manteca será empacada y pesada en una balanza electrónica BAL-203, el empaque primario será en fundas de polietileno y como empaque secundario cajas de cartón de 30 kg. Se obtendrán 138 cajas por día.

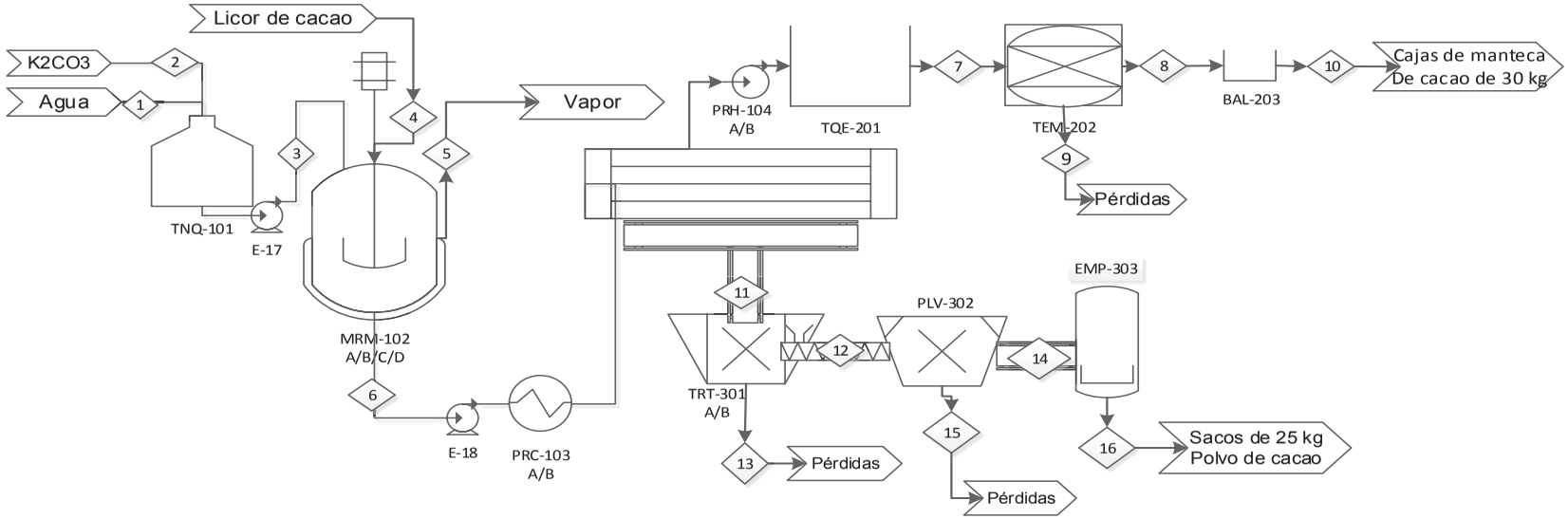
Diagrama de flujo (PFD)

En la Figura 3.17 se muestra el diagrama de flujo del proceso de obtención de manteca y polvo de cacao a partir de licor de cacao.

Distribución en planta (Lay out)

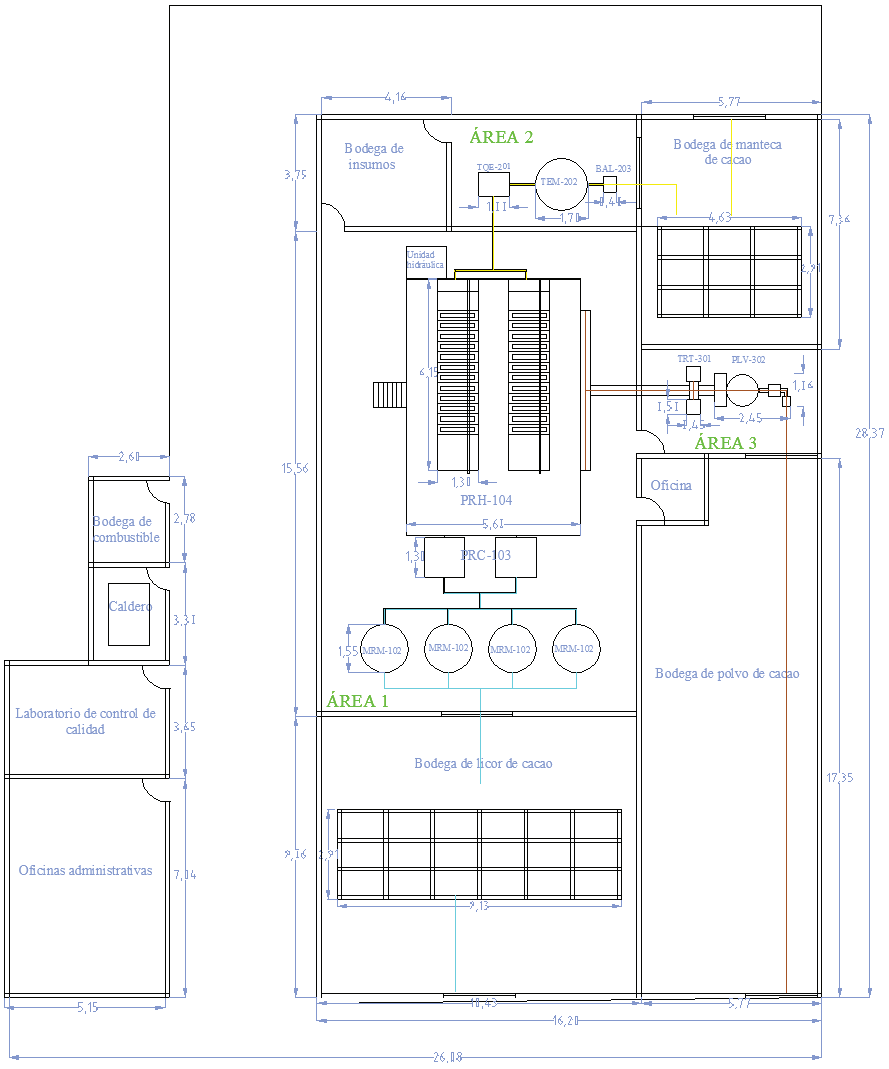
La distribución en planta se muestra en la Figura 3.18

TNQ-101	MRM-102 A/B/C/D	PRC-103 A/B	PRH-104 A/B	TQE-201	TEM-202	BAL-203	TRT-301 A/B	PLV-302	EMP-303
D: 0,5 m	V: 2500 L	D: 1,3 m	A: 1,30 m	D: 1,11 m	D: 1,7 m	L: 0,5 m	L: 0,5 m	L: 2,45 m	L: 0,3 m
H: 0,52 m	H: 2,1 mm	H: 1,3 m	L: 6,15 m	H: 0,6 m	H: 1,48 m	A: 0,4 m	A: 0,45 m	A: 1,587 m	A: 0,3 m
V: 100 L	D: 1,55 m		H: 1,18 m		Capacidad:2000 kg	Capacidad: 100 kg	H: 0,45 m	H: 2,8 m	H: 0,53 m



Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Agua (kg/día)	61,41				61,40											
Carbonato de potasio (kg/día)		68,78														
Solución saturada de K2CO3 (kg/día)			130,20													
licor de cacao (kg/día)				8549,76												
licor de cacao alcalinizado (kg/día)						8618,54										
manteca de cacao (kg/día)				4740,20		4740,20	4171,38	4129,66		4129,66						
torta de cacao (kg/día)				3809,56		3878,35					4447,17	4402,70				
polvo de cacao (kg/día)														4358,67		4358,67
Pérdidas									41,71				44,47		43,59	
Presión (Mpa)	-	-	-	-		55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperatura (°C)	20	20	20	40	90	90	100	27	27	20	20	20	20	20	20	20

Figura 3.17. Diagrama de flujo del proceso de producción de manteca y polvo de cacao



Lista de equipos	
Código	Servicio
MRM-101	Marmita Cap: 2500 L, H: 2,1 mm D: 1,55 m
PRC-103	Sistema de pre calentamiento D: 1,3 m H: 1,3 m
PRH-104	Prensa hidráulica cap: 185 kg, A: 1,30 m, L: 6,15 m, A: 1,181 m
TQE-202	Tanque de enfriamiento D: 1,11 m H: 0,6 m
TEM-202	Temperadora D: 1,7 m H: 1,48 m cap: 2000 kg
BAL-203	Balanza, L: 0,5 m A: 0,4 m
TRT-301	Molino de martillos L: 0,5 m A: 0,45 H: 0,45 cap: 500 kg/h
PLV-302	Pulverizadora TCM, Cap: 1000 kg/h, L: 2,45 m A: 1,59 m, H: 2,8 m
EMP-303	Empacadora, L: 0,3 m, A: 0,3 m, H: 0,53 m

Figura 3.18. Distribución en planta de una planta productora de manteca y polvo de cacao

Flujo de licor de cacao

Flujo de manteca de cacao

Flujo de torta de cacao

3.5.2.2. Balance de energía

Se realizó un balance de energía para determinar los requerimientos energéticos en el proceso de producción de manteca y torta de cacao. Se tomó en cuenta el calor requerido para el proceso de acondicionamiento y el calor requerido para mantener la temperatura de alcalinización durante las 8 h de proceso.

Se obtuvo que el calor total requerido es de 3 638 743,53 kJ/día considerando un factor de seguridad del 35 %, los cálculos se muestran en el ANEXO VI.

3.5.2.3. Vapor necesario en planta

De acuerdo al calor total requerido determinado en el inciso anterior, se calculó la cantidad de vapor saturado necesario a 0,28 MPa y 130,68 °C.

$$\boldsymbol{Lv = 2\,171,73\,\frac{kJ}{kg}}$$

Para determinar la masa del vapor saturado se utilizó la ecuación [3.1].

$$\boldsymbol{Q_{total} = m_{vapor} * Lv} \qquad [3.1]$$

Donde:

Q total= Calor total requerido (KJ/día)

m vapor = masa del vapor saturado (kg)

Lv = Calor latente de vaporización a 0,28 MPa y 130,68 °C.

$$\boldsymbol{Lv = 2\,171,73\,\frac{kJ}{kg}}$$

De acuerdo a la ecuación [3.1] se obtiene:

$$3\,638\,743{,}53\,\frac{kJ}{día} = m_{vapor} + 2\,171{,}73\,\frac{kJ}{kg}$$

$$m_{vapor} = 1\,675{,}50\,kg$$

La planta de producción de manteca y polvo de cacao requerirá 1 761 kg de vapor saturado por día.

3.5.2.4. Dimensionamiento del caldero

De acuerdo a la cantidad de calor requerido se puede calcular la capacidad del caldero con la ecuación [3.2].

$$\boldsymbol{Capacidad\ del\ caldero} = \frac{\boldsymbol{Total\ de\ energía\ requerida}}{\boldsymbol{Tiempo\ de\ los\ procesos\ en\ que\ interviene\ energía}} \quad [3.2]$$

$$Capacidad\ del\ caldero = \frac{3\ 638\ 743{,}53\ \frac{kJ}{día}}{\frac{12\ horas}{día}} * \frac{BTU}{1{,}055\ kJ} * \frac{BHP}{33\ 475\ \frac{BTU}{h}} = 8{,}58\ BHP$$

La capacidad del caldero será de 8,58 BHP

3.5.2.5. Requerimiento de combustible

El caldero utilizará diésel como combustible para su funcionamiento, para determinar la cantidad de diésel requerido se utilizó la fórmula indicada en la ecuación [3.3].

$$\boldsymbol{Q_{total} = m_{diesel} * h_{diesel}} \quad [3.3]$$

$$m_{diesel} = \frac{Q_{total}}{h_{diesel}}$$

$$m_{diesel} = \frac{Q_{total}}{h_{diesel}} = \frac{3\ 638\ 743{,}53\ \frac{kJ}{día}}{52\ 325\ \frac{kJ}{kg}} = 69{,}54\ \frac{kg}{día}$$

Para determinar el volumen de combustible se utilizó la densidad del combustible indicado en la fórmula ecuación [3.4].

$$\delta_{diesel} = 0{,}83\frac{kg}{L} * \frac{3{,}7854\ L}{gal} = 3{,}14\frac{kg}{gal}$$

$$\boldsymbol{\delta_{diesel} = \frac{m_{diesel}}{V_{diesel}}} \quad [3.4]$$

$$V_{diesel} = \frac{m_{diesel}}{\delta_{diesel}}$$

$$V_{diesel} = \frac{69{,}54\ \frac{kg}{día}}{3{,}14\frac{kg}{gal}} = 22{,}13\ \frac{gal}{día}$$

El volumen de diésel requerido para la alimentación del caldero es de 22,13 gal/día.

3.5.2.6. Programa de trabajo

En la Tabla 3.18 se muestra el programa de trabajo distribuido en tres turnos de 8 horas. El primer turno ingresará a las 22:00 h, el segundo 8:00 y el tercer turno a las 16:00.

Tabla 3.18. Diagrama de Gantt

Proceso	Horas laborales											
	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acondicionamiento												
Alcalinización												
Prensado												
Temperado												
Empacado de manteca												
Trituración												
Pulverizado												
Empacado de polvo de cacao												

Proceso	Horas laborales											
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Acondicionamiento												
Alcalinización												
Prensado												
Temperado												
Empacado de manteca												
Trituración												
Pulverizado												
Empacado de polvo de cacao												

3.6. ANÁLISIS ECONÓMICO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE MANTECA Y POLVO DE CACAO

Se realizó un análisis financiero de una planta productora de manteca y polvo de cacao para determinar la viabilidad del proyecto. Para esto se estableció la estructura organizacional para la empresa, la misma que se muestra en la Figura 3.19.

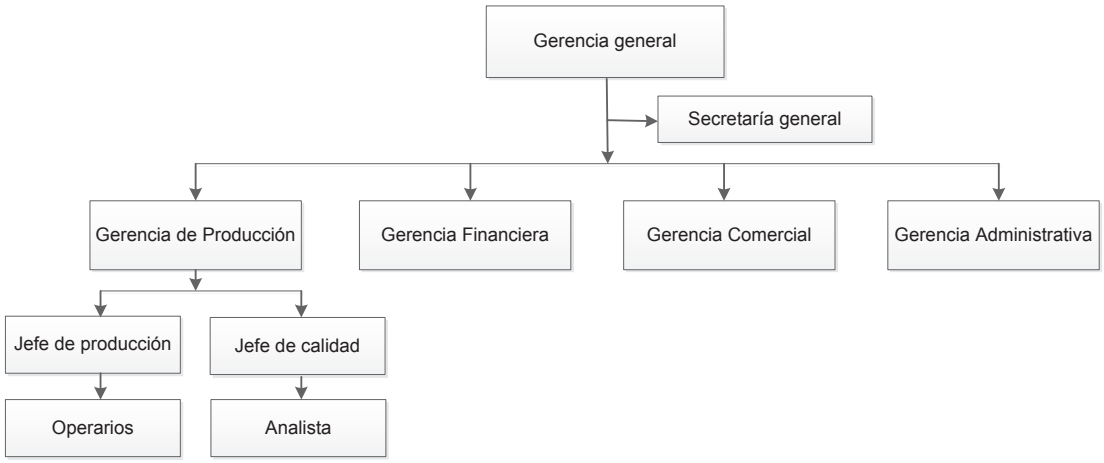


Figura 3.19. Estructura organizacional

3.6.1. INVERSIONES

Para determinar la inversión inicial se consideró los rubros en activos fijos, activos diferidos y capital de operación, el valor detallado de cada rubro se presenta en la Tabla 3.19 se muestra las inversiones en activos fijos establecidos en este proyecto.

El capital para inversión inicial será financiado completamente con presupuesto fiscal según lo detallado en el proyecto del Sello de Desarrollo Preventivo Alternativo en la provincia de Sucumbíos.

Tabla 3.19. Inversión total del proyecto

Rubro	Valor ($)	(%)
Activo fijo		
Terreno y construcciones	309 749	9,76
Maquinaria y equipo	734 065	23,12
Instalación de maquinaria y equipos	110 110	3,47
Instrumentación de laboratorio	10 000	0,31
Tuberías y accesorios	80387	2,53
Equipo y muebles de oficina	3 976	0,13
Imprevistos (5%)	62 414	1,97
Total activo fijo	**1 310 700**	**41,29**
Activo diferido	**183 179**	**5,77**
Capital de operación	**1 680 761**	**52,94**
TOTAL	3 179 640	100,00

Se puede observar que la inversión en activos fijos tiene un valor de $ 1 310 700 correspondiente al 41,29 % de la inversión total mientras que el activo diferido que corresponde a los gastos de planeación tiene un valor de $ 183 179 que representa el 5,77 % de la inversión y el capital de operación estimado para el funcionamiento de dos meses está valorado en $ 1 680 761 y representa el 52,94 %.

Los valores considerados para determinar la inversión en terreno y construcciones, maquinaria y equipo, instrumentación de laboratorio, tuberías y accesorios, equipo y muebles de oficina se detallan en el ANEXO VII.

3.6.2. COSTOS DE OPERACIÓN

Los costos de operación fueron estimados de acuerdo a los costos de producción, administrativos, financieros y gastos de ventas. Las consideraciones para determinar el valor de cada rubro se detallan en el ANEXO VIII

En la Tabla 3.20 se detallan los costos anuales de producción para la elaboración de manteca y polvo de cacao,

Tabla 3.20. Costos de producción anuales para la producción de manteca y polvo de cacao

Rubro	Valor ($)	Participación (%)
Materia prima (licor de cacao)	9 336 600,00	92,40
Mano de obra directa	93 294,89	0,92
Mano de obra indirecta	101 674,00	1,01
Materiales indirectos	129 890,00	1,29
Suministros	27 537,87	0,27
Depreciación en construcciones	13 846,43	0,14
Depreciación en maquinaria y equipo	80 068,71	0,79
Depreciación de activo diferido	36 693,88	0,36
Depreciación equipos de oficina	397,55	
Mantenimiento de maquinaria y equipo	73 406,85	0,73
Mantenimiento de edificación	13 846,43	0,14
Subtotal	**9 906 860**	
Imprevistos (2 %)	198 137	1,96
Total	**10 104 997**	**100,00**

En la Tabla 3.21 se muestra los costos operacionales totales estimados para un año de producción, donde se consideró los costos de producción, costo de ventas que incluye el sueldo de los vendedores y publicidad y los gastos administrativos que incluye los sueldos del personal de administración, depreciación de equipos de oficina y suministros.

Tabla 3.21. Costo de operación anual

Rubro	Valor ($)	Participación (%)
Costo de producción	10 104 997,00	99,20
Costo de ventas	22 476,94	0,22
Gastos de administración	59 260,67	0,58
Total	**10 186 734,60**	**100,00**

Se determinó el costo unitario por kg de manteca de cacao y polvo de cacao producidos anualmente, los resultados obtenidos se muestra en la Tabla 3.22.

Tabla 3.22. Costo unitario por kg de manteca y kg de polvo de cacao

Rubro	Manteca de cacao	Polvo de cacao
Costo operacional ($)	5 104 733,17	5 139 162,00
Unidades producidas	856 800,00	1 827 000,00
Costo unitario (1 kg)	5,92	2,80
Precio de venta unitario (1 kg)	6,81	3,22

Se obtuvo un precio de venta unitario de $6,81 por kg de manteca de cacao, la manteca se comercializará en una presentación de 30 kg a un precio de $ 204,39 en el mercado nacional el precio de una caja de 30 kg de manteca de cacao tiene un precio de $238,5, esto representa un ahorro del 14,29 %.

El precio de venta del polvo de cacao obtenido fue de $ 3,22 por cada kg, el producto se comercializará en una presentación de sacos de 25 kg con un precio de $80,42. En el mercado se comercializan sacos de 25 kg por $ 100,75, esto representa un ahorro del 20,17 %.

La manteca y el polvo de cacao obtenidos en este proyecto son competitivos en el mercado.

3.6.3. PUNTO DE EQUILIBRIO

En la Figura 3.17 se muestra la gráfica del punto de equilibrio, es decir que cuando se alcanza el 33 % de unidades producidas los ingresos en ventas y los costos totales son iguales, por tanto no hay pérdidas ni ganancias. En el ANEXO IX se muestran los valores de costos fijos, variables y de ventas utilizados para elaborar la Figura 3.20.

Se puede observar que el punto de equilibrio se alcanzó en 33 % de la producción anual, es decir que debe trabajar al menos a esa capacidad para no tener pérdidas.

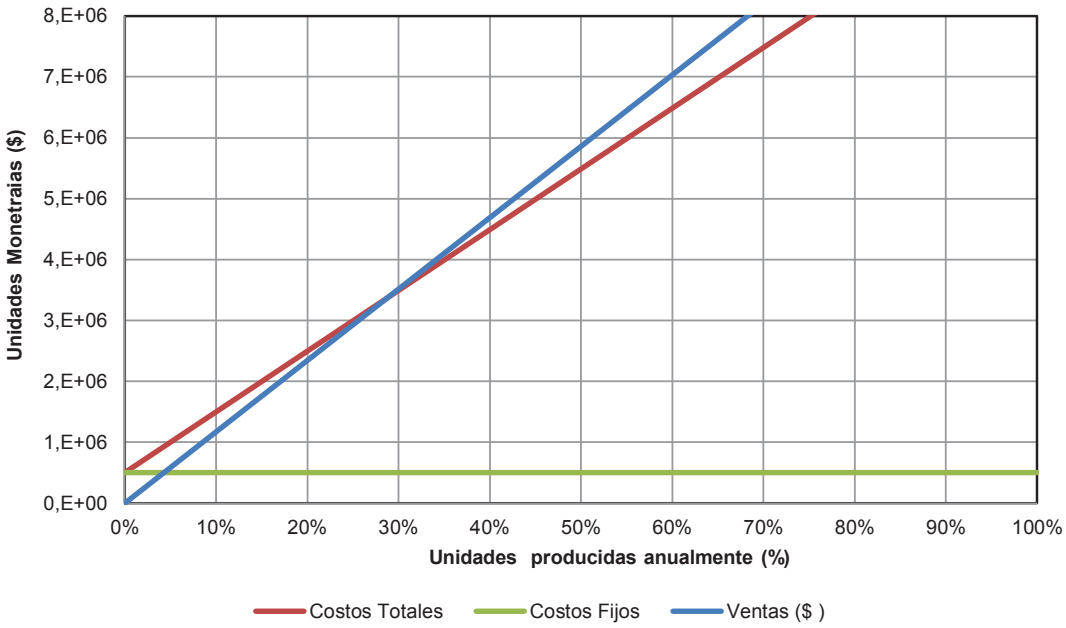


Figura 3.20. Punto de equilibrio

3.6.4. FLUJO DE CAJA

Para elaborar el flujo de caja se consideró un tiempo proyectado de 10 años y una inflación de 4,03 % que corresponde a la presentada en los 2 años anteriores en el Ecuador. Se consideró un incremento lineal en las depreciaciones de activos (Sapag y Sapag, 2003, p. 266). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.23.

En la tabla 3.23 se observa que en el primer año de operación de la planta se recupera $ 1 086 605 lo cual corresponde al 34,43 % de la inversión inicial, mientras que al final del segundo año de producción se recibe $ 2 215 604 que cubre el 70 % y al finalizar el tercer año de operación de la planta se recibe $ 3 388 707 lo que cubre la totalidad de la inversión inicial. Esto nos da una referencia de que la inversión se recuperaría aproximadamente después de 3 años de operación, sin embargo este no es un dato exacto debido a que al sumar los valores del flujo de caja en cada año no se considera el concepto del valor del dinero en el tiempo.

Tabla 3.23. Flujo de caja

FLUJO DE CAJA											
Rubro	**Año 0**	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**	**Año 5**	**Año 6**	**Año 7**	**Año 8**	**Año 9**	**Año 10**
Ingreso de ventas		11714745	12186849	12677979	13188902	13720414	14273347	14848563	15446960	16069472	16717072
Costos de producción		-9936671	-10337119	-10753705	-11187079	-11637918	-12106926	-12594836	-13102408	-13630435	-14179741
Gasto de ventas		-22477	-23383	-24325	-25305	-26325	-27386	-28490	-29638	-30832	-32075
Gasto administrativo		-58863	-61235	-63703	-66270	-68941	-71719	-74610	-77616	-80744	-83998
Depreciación		-54438	-54438	-54438	-54438	-54438	-54438	-54438	-54438	-54438	-54438
Amortización intangible		-36694	-36694	-36694	-36694	-36694					
Utilidad antes de impuestos		1605602	1673981	1745115	1819115	1896098	2012877	2096190	2182861	2273024	2366820
Impuesto a la renta (23%)		-369289	-385016	-401376	-418397	-436103	-462962	-482124	-502058	-522795	-544369
Participación de trabajadores (15%)		-240840	-251097	-261767	-272867	-284415	-301932	-314429	-327429	-340954	-355023
Utilidad neta		995473	1037868	1081971	1127851	1175581	1247984	1299638	1353374	1409275	1467429
Depreciación		54438	54438	54438	54438	54438	54438	54438	54438	54438	54438
Amortización intangible		36694	36694	36694	36694	36694					
Inversión total	-3155543										
Flujo de caja	-3155543	1086605	1128999	1173103	1218983	1266712	1302422	1354076	1407811	1463712	1521866

Se determinó una taza mínima aceptable de rendimiento (TMAR) de 13,72 % la misma que está compuesta por la tasa de interés pasiva de 4,53 % y la inflación de 4,03 % y riesgo país de 5,16 %. La tasa de evaluación del proyecto fue considerada igual a la tasa mínima aceptable de rendimiento ya que el valor total del proyecto será financiado directamente con presupuesto fiscal, sin intervención de crédito de una institución financiera.

A partir del flujo de caja se determinó los indicadores financieros: valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). En la Tabla 3.24 se muestran los valores obtenidos para cada indicador financiero.

Tabla 3.24. Indicadores Financieros (TIR, VAN)

Indicadores Financieros	**Valor**
Tasa interna de retorno (TIR) (%)	35,93 %
Valor actual neto (VAN) ($)	3 402 509

De acuerdo a la Tabla 3.24 se observa que este proyecto tiene un TIR de 35,93 % y un valor actual neto mayor a 0, cuando el valor actual neto presenta un valor positivo se acepta la inversión, por lo tanto la implementación de este proyecto es rentable.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- El alcalinizado influyó en las propiedades químicas del licor de cacao, el pH incrementó en un 21 %, y el contenido de polifenoles solubles totales decreció en un 18,17 %. Sin embargo, este procedimiento corresponde a una alcalinización débil.

- Se determinó que la medida de alcalinización influye sobre el color del licor se obtuvo que el parámetro L* disminuyó en un 0,3 % y a* en un 4 %. Es decir, se obtuvo un color ligeramente más obscuro después del proceso de alcalinización. No se encontró diferencias perceptibles al ojo humano entre el licor natural y alcalinizado, debido a que se realizó una alcalinización débil.

- Se encontró que la presión es el factor con mayor influencia sobre el rendimiento de extracción (P=0,00). Se encontró que al incrementar la presión desde 16 a 32 MPa, el rendimiento de extracción se eleva en 14,25 %, mientras que al elevar la temperatura desde 90 a 100 °C se obtuvo un incremento de 7,35 % y cuando se elevó la altura de llenado desde 14 a 28 cm se encontró que el rendimiento de extracción incrementó en 7,06 %.

- El tratamiento de prensado donde se aplicó la presión más alta (32 MPa), temperatura más alta (100 °C) y altura de llenado mayor (28 cm) en forma general presentó mejores propiedades físicas como rendimiento de extracción de 75,18 % m/m, humectabilidad de 39,7 s, porcentaje de dispersabilidad de 23 % e insolubilidad de 17,89 %, por estas razones fue el mejor tratamiento de prensado.

- Se encontró que el tamaño de partícula y la composición química de las partículas del polvo de cacao ejercen importante influencia sobre sus propiedades físicas. Se encontró que la insolubilidad fue mayor en los tratamientos con mayor diámetro medio donde se aplicó 16 MPa, 90 °C y 28 cm y 16 MPa, 90 °C y 28 cm presentaron una insolubilidad de 16,25 % y 26,85 % respectivamente. Mientras que a menor contenido de grasa residual

se obtuvieron mejores valores de humectabilidad, dispersabilidad y absorción de humedad después de dos meses de almacenamiento.

- Se encontró que el contenido graso en las muestras de polvo de cacao influye sobre el color, las muestras con mayor grasa residual presentaron colores más oscuros.

- La manteca y polvo de cacao obtenidos a partir del tratamiento de prensado seleccionado, cumplieron con los requisitos físico químicos descritos por Cuamba y Gallardo (2008) y la norma NTE INEN 620 para ser comercializados (p. 5).

- Al procesar 8549,9 kg/día de licor de cacao se obtiene una producción diaria de 138 cajas de 30 kg de manteca de cacao y 174 sacos de 25 kg de polvo de cacao, y se requiere una planta de producción de 1094 m^2, con 7 operarios en 3 turnos por día.

- El precio de venta encontrado para una caja de 30 kg de manteca de cacao fue de $ 204,39 y para un saco de 25 kg de polvo de cacao fue de $ 80,42. En la manteca de cacao se obtuvo un ahorro del 14 %, y en el polvo de cacao del 20 % con respecto al precio que se encuentran estos productos en el mercado nacional.

- Del análisis económico de la implementación del proyecto se obtuvo los indicadores financieros TIR y VAN con 35,93 % y $ 3 402 509 lo que indica que es un proyecto viable.

4.2. RECOMENDACIONES

- Evaluar la influencia del álcali sobre el contenido de polifenoles, rendimiento de extracción y color en el licor de cacao.
- Evaluar la influencia de la concentración de álcali sobre el color del polvo de cacao, si es aplicado en diferentes etapas del proceso.
- Realizar pruebas prensado con presiones más altas hasta 100 MPa, en diferentes etapas del proceso tanto en semillas, como nibs y licor de cacao.
- Evaluar la influencia de otros parámetros como el tiempo de prensado, humedad y tamaño de partícula sobre el rendimiento de extracción de manteca de cacao.
- Evaluar las propiedades instantáneas del polvo de cacao a diferentes tamaños de partícula

BIBLIOGRAFÍA

1. Adecko, K., Ajibola, O. (1990) Processing Factors Affecting yield and quality of mechanically expressed groundnut oil. Journal of Agricultural Engineering Research. 45(1). 31-43. doi:10.1016/S0021-8634(05)80136-2.

2. Afoakwa, E. (2010). Chocolate Cience and Technology (1era Edición). York, Inglaterra: Wiley-Blackwell.

3. Aguado, J., Calles, J., Cañizares, P., López, B., Santos, A., Serrano, D. y Rodríguez, F. Editor (2002). Ingeniería de la industria alimentaria, Volumen II. Madrid, España: Síntesis.

4. AOAC. (2005). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. (18va. Ed.). Arlington., Estados Unidos: AOAC International.

5. Armijos, A., (2002). Características de acidez como parámetro químico de calidad en muestras de cacao (Theobroma cacao L.) fino y orgánico de producción nacional durante la fermentación. (Disertación previa a la obtención del título de licenciatura en Química especialización Química Analítica). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador.

6. Asociación Nacional de Exportadores de cacao, (2012). Información Nacional e Internacional. Boletín Noviembre 2012. (Septiembre 2014)

7. Athar, M., Nasir, S. (2005). Taxonomic perspective of plant species yielding vegetable oils used in cosmetics and skin care products. African Journal of Biotechnology. 4(1), 36-44.

8. Banco Central del Ecuador, (2013). Encuestas de Coyuntura Sector Agropecuario. Recuperado de

http://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/ Encuestas/Coyuntura/Integradas/etc201302.pdf

9. Banco Central del Ecuador. (2014). Boletín estadístico mensual No. 311. Recuperado de: http://contenido.bce.fin.ec/home1/estadisticas/bolmensual/IEMensual.jsp (Diciembre, 2014).

10. Bailey, A. (1984). Aceites y Grasas Industriales (1era Edición). España: Reverté S.A.

11. Barbosa-Canóvas, G., Ortega-Rivas, E., Juliano, P., Yan, H. (2005). Food Powders, Physical Properties, processing, and functionality (1era Edición). Nueva York: Estados Unidos

12. Barreiro, J. y Sandoval, A. (2006). Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas (1era Edición). Miranda: Equinoccio.

13. Beckett, S. (2009). Industrial Chocolate Manufacture and Use. (4ta Edición). Reino Unido: Wiley-Blackwell.

14. Beckett, S. (2008). La Ciencia del Chocolate. (Reimpresión 2008). Zaragoza: Acribia.

15. Belscak-Cvitanovic, A., Benkovic, M., Komes, D., Bauman, I., Horz, D., Dujmic, F., Matijasec, M. (2010). Physical Properties and Bioactive Constituents of Powdered Mixtures and Drinks Prepared with Cocoa and Various Sweeteners. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 58(12), 7187–7195. doi: 10.1021/jf1005484.

16. Bhandari, B., Bansal, N., Zhang, M., Schuck, P. Handbook of food powders, processes and properties (1era Edición). Estados Unidos: Woodhead Piblishing Limited.

17. Bonvehi, J. y Ventura. F. (2002).Factors Affecting the Formation of Alkylpyrazines during Roasting Treatment in Natural and Alkalized

Cocoa Powder. Journal of Agricultural and food chemistry. 50(13), 3743-3750. doi: 10.1021/jf011597k.

18. Boza, A., L. Arus, O. García y A.J. Núñez-Selles. 2000. Pre formulación de crema y ungüento a partir de un extracto seco de la corteza de Mangifera indica L. Información Tecnológica 11(4) p. 125-131.

19. Cano-Chauca, M., Stringheta, P., Ramos, A., Stringetha, Ramos, Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 6(4). 420-428. doi:10.1016/j.ifset.2005.05.003.

20. Ceballos, A., (2008). Estudio comparativo de tres sistemas de secado para la produccion de un polvo deshidratado de fruta (Tesis de grado Magister en Ingeniería-Ingeniería Química). Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Manizales, Colombia.

21. Chang, R. Principios Esenciales de Química General, Décima edición, McGraw-Hill, Madrid, 2006. p. 26

22. Codex Alimentarius. (2001). CODEX STAN 86-1981, Rev. 1-2001.

23. Cooper, K., Donovan, J., Waterhouse, A., Williamson, G. (2008). Cocoa and health: a decade of research. British Journal of Nutrition 99(1). 1-11 doi: 10.1017/S0007114507795296.

24. Cuamba, R. (2008). Caracterización de grasas alternativas de la Manteca de cacao. (Tesis previa a la obtención de maestro en ciencias con especialidad en alimentos). Instituto Politécnico Nacional. México D.F., México.

25. Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones PROECUADOR (2013). Análisis del sector cacao y elaborados. Inteligencia Comercial e Inversiones (Agosto, 2014).

26. Enríquez, G. y Paredes, A. (1983). El cultivo del cacao. (1era Edición). EUNED: Costa Rica.

27. Fernández, F., Gaitán, J., Muñoz, L., Ramírez, L., Sánchez, N., Sánchez, P., Santana, M. (2008). Polvo higroscópico constituido por fármaco de clase 2 irritante a nivel gástrico para formular medicamento de administración oral infantil que permita absorción intestinal. Universidad de Sevilla. p. 1-6.

28. Freudig, B., Hogekamp, S. y Schubert, H. (1999), Dispersion of powders in liquids in a stirred vessel. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. 38 (4-6). 525–532. doi:10.1016/S0255-2701(99)00049-5

29. Hardy, F. (1957), Fermentación y Bioquímica del Cacao. (1era Edición). Turrialba: Orton.

30. Hernández, M., Sastre, A. (1999). Tratado de nutrición (1era Edición). España: Díaz de Santos.

31. INEN. (2013). Catálogos de Normas Técnicas Ecuatorianas NTE-INEN, Quito, Ecuador.

32. INN. (2008). Proyecto de Normas de Consulta Pública. Recuperado de: http://www.chilealimentos.com/medios/2008/e_Normativas_Nacionales/INN/Consulta_Publica/INN_proyecto_norma_leche.pdf (Noviembre, 2014).

33. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. (2007). Documentación toxicológica para el establecimiento del límite de exposición professional del n-Hexano. Recuperado de: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Valores_Limite/Doc_Toxicologica/FicherosSerie2/DLEP%2036.pdf

34. Krysiak, W. (2006) Influence of roasting conditions on coloration of roasted cocoa beans. Journal of Food Engineering, 77(3), 379-471. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.07.013

35. Lares, M., Gutiérrez, R., Pérez, E., Álvarez, C. (2012). Efecto del tostado sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas, composición proximal y perfil de ácidos grasos de la Manteca de granos de cacao del estado Miranda, Venezuela. Revista Científica UDO Agrícola, 12(2), 439-446.

36. López, A. (2013). Metodología para la determinación de epigalocatequina galato en té verde por uplc-pda. (Proyecto previo a la obtención del título de Químico Farmacéutico). Universidad ICESI. Cali, Colombia.

37. Martínez, J., Martínez, A., Gordillo, E., Placer, G., Torres, J. (1995). Proyecto para la instalación de una planta procesadora de cocoa y manteca a partir de cacao.

38. Matiacevich, S. (2008). Caracterización y fotoestabilidad de compuestos fluorcentes y pardos generados en reacciones enzimáticas y no enzimáticas. Implicancias en la conservación de matriales orgánicos. (Tesis doctoral de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales). Pontificia Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

39. Minifie, B. (1989). Chocolate, cocoa, and confectionary. Science and Technology. (3era Edición). Estados Unidos: AN Aspen Publication.

40. Naranjillo. (2012), Especificación técnica Manteca de cacao. (Diciembre, 2012).

41. Onwulata, Ch. (2005). Encapsulated and powdered foods, (1era Edición). Estados Unidos:Taylor & Francis Group.

42. Perea, J., Ramírez, O., Villamizar, A. (2011). Caracterización fisicoquímica de materiales regionales de cacao colombiano. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 9(1). p. 35-42.

43. Quintero, M. y Diaz, K. (2004). El mercado mundial del cacao, agroalimentaria, 9(18), p. 47-59.

44. Quiroz, J. (2010) Influencia de la agronomía y cosecha sobre la calidad del cacao, INIAP Boletín técnico N° 147. (Agosto, 2014)

45. Recalde, A. (2007), Evaluación del efecto del presecado y tiempo de fermentación, en los contenidos de polienoles totales, alcaloides y ácidos volátiles en dos genotipos de cacao (Disertación doctoral). Recuperado de INIAP Archivo Histórico.

46. Rivera, R., Mecías F., Guzmán A., Peña M., Medina H., Casanova L., Barrera A., Nivela P. (2012). Efecto del tipo y tiempo de fermentación en la calidad física y química del cacao (Theobroma cacao L.) tipo nacional. Revista Ciencia y Tecnología, 5(1), 7-12. (Septiembre, 2014)

47. Rodríguez, P., Pérez, E., Guzmán, R. (2005). Características físico químicas del licor de cacao alcalinizado con: carbonato, bicarbonato e hidróxido de sodio. Research Gate

48. Rodríguez, P., Pérez, E., Guzmán, R. (2009). Effect of the types and concentrations of alkali on the color of cocoa liquor. Journal of the Science of Food and Agriculture 89(7):1186 - 1194. doi: 10.1002/jsfa.3573

49. Saldaña, M., Mohamed, R. y Mazzafera, P. (2002). Extraction of cocoa butter from Brazilian cocoa beans using supercritical CO2 and ethane. Fluid Phase Equilibria 194-107(1):885-894. doi: 10.1016/S0378-3812(01)00719-1

50. Sapag, N. y Sapag, R. (2003). Preparación y evaluación de proyectos. (4ta. Ed.). México, México: McGraw Hill.

51. Sari, P. (2006). Preliminary design and Construction of a prototype canola seed oil extraction machine. (Tesis de maestría). The Graduate

School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara, Turquía.

52. Shittu, T., Lawal, M., (2007). Factors affecting instant properties of powered cocoa beverages. Food Chemistry, 100(1), 91-98. doi: 10.1016/j.foodchem.2005.09.013

53. Slinkard, K. y Singleton, V. (1977). Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. American Society for Enology and Viticulture, 28 (1), 49-55.

54. Turtelli, A., Gambetta, R., (2012). Oil Presses, Oil Seeds. doi: 10.5772/30699.

55. SUITA FILTECH, 2011, Recuperado de: http://www.suitafiltech.com/airslide.html, (Enero, 2015).

56. Valero, A. (2013). Principios de color y holopintura (1era Edición). Barcelona: Club Universitario.

57. Venter, M., (2006), Gas Assisted Mechanical Expression of Cocoa Nibs, (Disertación doctoral), Universidad de Twente, Paises Bajos.

58. Willems, P., Kuiper, N., Haan, A., (2008) Hydraulic pressing of oilseeds: Experimental determination and modeling of yield and pressing rates. Journal of food engineering 89(1), p. 8-16. doi:10.1016/j.jfoodeng.2008.03.023

59. Wollgast, J. y Anklam, E. (2000). Review on polyphenols in Theobroma cacao: changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identification and quantification. Food research international. 33(6), 423-447. doi: 10.1016/S0963-9969(00)00068-5.

60. Yánes, G. (1994).El cacao: origen. cultivo e industrialización en Tabasco. (1era Edición). Tabasco, México: Centro de Investigación de Ciencias Agropecuarias

ANEXOS

ANEXO I

DETERMINACIÓN DE POLIFENOLES SOLUBLES TOTALES ELIMINANDO VITAMINA C

Este método fue descrito por Slinkard y Singleton (1997) para la determinación de polifenoles solubles totales.

Equipos

- Espectofotómetro LABOMED, modelo UVD-2960
- Cronómetro
- Baño maría ultrasónico BRASON, modelo 3210
- Agitador vórtex
- agitadores magnéticos VARIOMAG, modelo Multipoint HP
- ultra-turax
- cartuchos OASIS HLB

Reactivos

- Acetona (CH_3COOH_3): 70 % v/v
- Carbonato de sodio (Na_2CO_3): 75 g/L
- Ácido gálico ($C_7H_6O_5$): 500 ppm (25 mg/50 mL) (con agua destilada)
- Folin-Ciocalteu's phenol (dilución 1/10 con agua destilada)

1. Para la preparación del estándar y la curva de calibración se pesa 25 mg de ácido gálico y se disuelve en 3 gotas de metanol, se afora a 50 mL con agua destilada. Esa solución madre se diluye varias veces hasta obtener concentraciones comprendidas entre 10 y 100 ppm. De las diluciones se toma una alícuota de 500 µL y se continua el protocolo Folin-Ciocalteu's descrito posteriormente.
2. El espectofotómetro se encera con la muestra blanco y se lee la absorbancia a 760 nm.

3. Se pesa 0,2 g de muestra y se coloca en un Erlenmeyer de 25 mL cubierto con una película de papel aluminio con el fin de evitar el paso de luz.
4. Se coloca 10 mL de una solución de acetona al 70 % (v/v) y se tapa con papel parafilm
5. La mezcla se agita por 10 minutos a velocidad constante de 500 rpm
6. Se homogeniza la muestra en un ultra-turax
7. Se agita a velocidad constante durante 10 minutos
8. Se filtra para obtener el extracto
9. Se realiza un enjuage del Erlenmeyer con 2 mL de solución extractora de acetona y se agita por 2 minutos a velocidad constante.
10. Se realiza un nuevo filtrado con el mismo papel filtro y se anota el volumen total recogido.
11. El filtrado se coloca en botellas ámbar con tapa y cubiertas por papel aluminio.
12. El filtrado sigue dos procedimientos descritos a continuación

PARTE A: Dilución del extracto cetónico

13. Se toma una alícuota de 25 µL de extracto y 475 µL de agua destilada, el volumen final de la muestra debe tener 500 µL
14. Se toma una muestra de 500 µL de extracto y se utiliza 25 µL de acetona al 70 % (v/v) y 475 µL de agua destilada como blanco y se procede a seguir el protocolo de Folin-Ciocalteu's descrito posteriormente
15. Se encera el espectrofotómetro con el blanco y se realiza la lectura de la absorbancia (Abs A) a 760 nm.

PARTE B: Eliminación de Vitamina C y Azúcares reductores mediante cartuchos de separación OASIS HLB

Separación de polifenoles y vitamina

16. Para la dilución del extracto se toma una alícuota de 500 µL con 3500 µL de agua destilada, el volumen final de la muestra debe ser 4 mL.
17. Se toma 2 mL de la dilución y se coloca en el cartucho OASIS acondicionado. el filtrado se recoge en una probeta de 10 mL.

18. Se realiza un lavado con 2 mL de agua destilada y se recoge el filtrado que pasa por gravedad en la misma probeta y se anota el volumen final del filtrado. En el cartucho se retienen los polifenoles.
19. Del filtrado se toma una alícuota de 500 µL y con 500 µL de agua destilada como blanco se sigue el procedimiento Folin-Ciocalteu`s descrito posteriormente.
20. Se lee la absorbancia con el espectrofotómetro encerado con el blanco a 760 nm

Proceso REDOX: protocolo del Folin-Ciocalteu`s

El blanco, los estándares, los extractos cetónicos y los filtrados deben recibir el mismo tratamiento

21. Se toma 500 µL de muestra y se agrega 2,5 mL de la solución de Folin, se agita en el vórtex y se deja reposar durante 2 min a temperatura ambiente.
22. Se añade 2 mL de carbonato de sodio a la mezcla y se agita en el vórtex.
23. Se deja reposar en un baño maría a 50 °C durante 15 min y se enfría rápidamente en un baño de hielo.
24. A partir de este momento se tiene 30 min para realizar la absorbancia.
25. Se lee la absorbancia de cada muestra a 760 nm con el espectrofotómetro encerado con el blanco.

Acondicionamiento del cartucho OASIS, antes de usar

Para el acondicionamiento de los cartuchos se realizan 3 lavados sucesivos por gravedad. El primero con 3 mL de metanol puro y dos lavados seguidos con 3 mL de agua destilada.

Para el reacondicionamiento después del uso se realiza 6 lavados sucesivos: 4 con 3 mL de metanol puro y 2 con 2 mL de agua destilada. El cartucho se puede reutilizar por 5 ocasiones.

CÁLCULO

Para obtener la curva de calibración se grafica la concentración vs absorbancia de los estándares. Se hace una regresión linear para obtener la concentración.

De la regresión lineal y = mx + b

Donde:

y = absorbancia de los estándares
x= concentración (mg/L de ácido gálico)
b= intercepto en el eje Y

Por lo tanto:

$$Cn\ A = \frac{(y - b)}{m * fd * \frac{V}{P}}$$

$$Cn\ B = \frac{(y - b)}{m * fd * \frac{V}{P}}$$

Entonces:

$$Cn = CnA - CnB$$

Donde:

Cn =concentración de polifenoles totales como equivalente de ácido gálico (mg/g de muestra)
fd = factor de dilución
V = volumen extractante (l)
P = peso de la muestra (g)

ANEXO II

COORDENADAS DE COLOR CIELAB

El espacio de color CIELAB, es utilizado para describir todos los colores que puede percibir el ojo humano

Las coordenadas de color se han establecido en tres coordenadas colorimétricas, eje “L*” que va de 0 a 100 e indica la luminosidad, donde 0 es negro y 100 es blanco. El eje “a*” va de color rojo a verde donde “+a*” es rojo y “-a*” es verde y el eje “b*” donde “-b*” es azul y “+b*” es amarillo.

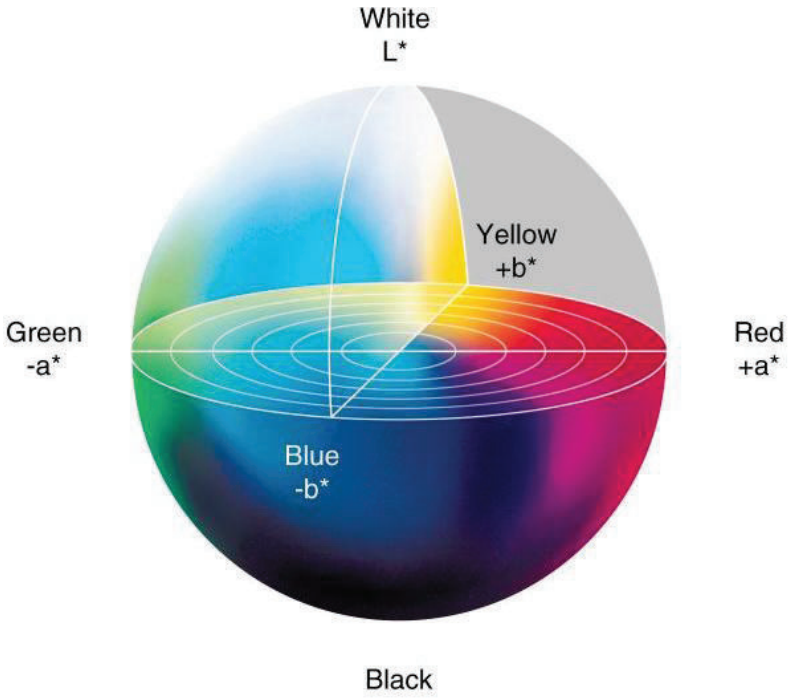


Figura AII.1. Coordenadas de color CIELAB

ANEXO III

DETERMINACIÓN DE DIÁMETRO MEDIO EN MUESTRAS DE POLVO DE CACAO DE CADA TRATAMIENTO

El diámetro medio es igual a la sumatoria de los productos del diámetro equivalente por la fracción de sólidos retenidos en el tamiz.

$$Dm = \sum_{i=1}^{n} X_i * De$$

Donde:

Dm = diámetro medio
Xi = fracción de sólidos retenidos en el tamiz
De = diámetro equivalente

El diámetro equivalente para cada fracción retenida es la media entre el tamaño de poro del tamiz que contiene el retenido y el tamiz superior

$$De = \frac{D_i - D_{i-1}}{2}$$

Donde:

De = Diámetro equivalente
Di = Tamaño de poro del tamiz superior
D_{i-1} = tamaño de poro del tamiz que contiene el retenido

Se obtuvo los siguientes resultados para las muestras de polvo de cacao.

Tabla AIII.1. Determinación del diámetro medio para cada tratamiento

Muestra	Tamiz N°	Tamaño de poro (mm)	Porcentaje retenido (%)	Diámetro equivalente (mm)	Diámetro medio (mm)
1 (16 MPa, 90 °C y 14 cm)	80	0,18	5,42	0,18	0,0653724
	140	0,106	7,22	0,143	
	200	0,075	26,26	0,0905	
	270	0,053	29,24	0,064	
	325	0,045	14,68	0,049	
	fondo		15,22	0,0225	
2 (16 MPa, 90 °C y 28 cm)	80	0,18	11,5	0,18	0,0641947
	140	0,106	13,62	0,143	
	200	0,075	15,98	0,0905	
	270	0,053	25,58	0,064	
	325	0,045	8,5	0,049	
	fondo		24,8	0,0225	
3 (16 MPa, 100 °C y 14 cm)	80	0,18	10,64	0,18	0,0761233
	140	0,106	16,54	0,143	
	200	0,075	23,62	0,0905	
	270	0,053	27,54	0,064	
	325	0,045	18	0,049	
	fondo		3,64	0,0225	
4 (16 MPa, 100 °C y 28 cm)	80	0,18	3,5	0,18	0,078327
	140	0,106	18	0,143	
	200	0,075	26,96	0,0905	
	270	0,053	17,86	0,064	
	325	0,045	29,92	0,049	
	fondo		3,72	0,0225	

Tabla AIII.2. (Continuación) Determinación del diámetro medio para cada tratamiento

Muestra	Tamiz N°	Tamaño de poro (mm)	Porcentaje retenido (%)	Diámetro equivalente (mm)	Diámetro medio (mm)
5 (32 MPa, 90 °C y 14 cm)	80	0,18	9,76	0,18	0,0799819
	140	0,106	18,64	0,143	
	200	0,075	32,38	0,0905	
	270	0,053	24,2	0,064	
	325	0,045	6,28	0,049	
	fondo		8,64	0,0225	
6 (32 MPa, 90 °C y 28 cm)	80	0,18	6,64	0,18	0,0711664
	140	0,106	12	0,143	
	200	0,075	24,4	0,0905	
	270	0,053	31,24	0,064	
	325	0,045	14,86	0,049	
	fondo		10,04	0,0225	
7 (32 MPa, 100 °C y 14 cm)	80	0,18	10,7	0,18	0,0797093
	140	0,106	23,5	0,143	
	200	0,075	20,46	0,0905	
	270	0,053	21,92	0,064	
	325	0,045	16,78	0,049	
	fondo		6,6	0,0225	
8 (32 MPa, 100 °C y 28 cm)	80	0,18	10,62	0,18	0,0780747
	140	0,106	16,3	0,143	
	200	0,075	31,04	0,0905	
	270	0,053	24,94	0,064	
	325	0,045	11,48	0,049	
	fondo		5,62	0,0225	

ANEXO IV

DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA DE MUESTRAS DE POLVO DE CACAO DE CADA TRATAMIENTO

La superficie específica viene dada por la siguiente ecuación:

$$Sp = \frac{6}{\theta * \delta} * \sum_{i=1}^{n} \frac{X_i}{De}$$

Donde:

Sp =Superficie específica (m^2/g)

θ = Esfericidad de una partícula de polvo de cacao (0,7) (Aguado, 2002, p. 13)

δ = densidad real (g/cm^3) =1,42 g/cm^3

Xi = fracción de sólidos retenidos en el tamiz *i*

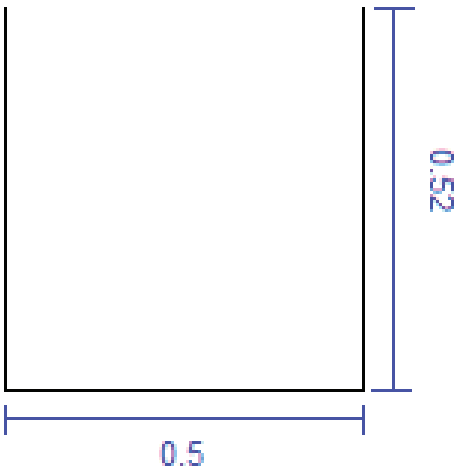
De = Diámetro equivalente

Tabla AIV.1. Superficie específica del polvo de cacao en cada tratamiento

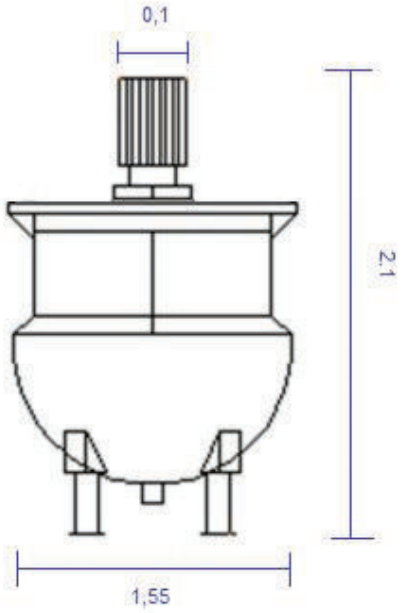
Muestra	Sumatoria $(Xi/De)_i$ (m^{-1})	Sp (m^2/g)
1 (16 MPa, 90 °C y 14 cm)	0,01804	10,89
2 (16 MPa, 90 °C y 28 cm)	0,02011	12,14
3 (16 MPa, 100 °C y 14 cm)	0,01395	8,42
4 (16 MPa, 100 °C y 28 cm)	0,01498	9,04
5 (32 MPa, 900 °C y 14 cm)	0,01433	8,68
6 (32 MPa, 900 °C y 28 cm)	0,01628	9,83
7 (32 MPa, 100 °C y 14 cm)	0,01428	8,62
8 (32 MPa, 100 °C y 28 cm)	0,01390	8,39

ANEXO V

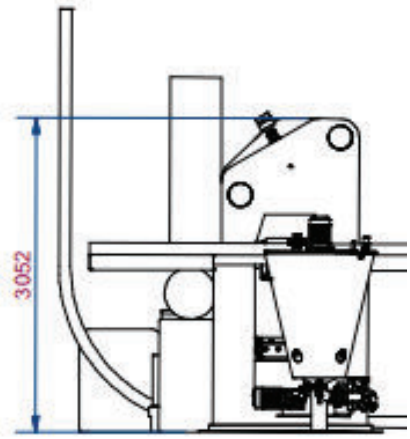
HOJAS DE ESPECIFICACION

<table>
<tr><th colspan="2">Hoja de especificación N°1</th></tr>
<tr><td colspan="2">Recipiente TNQ-101</td></tr>
<tr><td colspan="2">Identificación</td></tr>
<tr><td>Fabricante: Inoxidables MT</td><td>No. Requerido: 1</td></tr>
<tr><td>Ítem (Catálogo): N.A.</td><td>Fecha: 28 enero 2015</td></tr>
<tr><td colspan="2">Función: Recipiente para preparar solución saturada de Carbonato de potasio.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Operación: Batch</td></tr>
<tr><td colspan="2">Datos del diseño:
• Diámetro: 0,5 m
• Altura: 0,52 m
• Capacidad: 100 L
• Cuerpo cilíndrico vertical
• Lámina de 0,002mm
• Fondo plano</td></tr>
<tr><td colspan="2">Material: Acero inoxidable AISI 304 L 2B</td></tr>
<tr><td colspan="2">Principio de operación:</td></tr>
<tr><td colspan="2">Esquema
 
</td></tr>
</table>

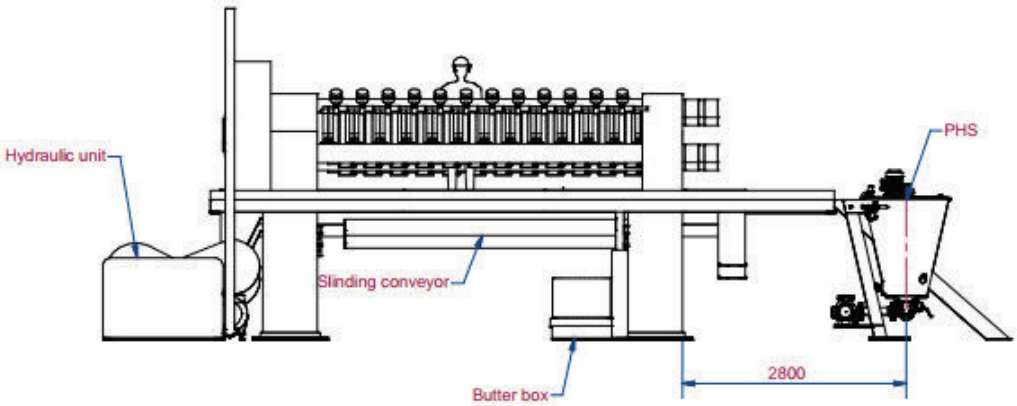
Hoja de especificación N° 2	
Marmita Abierta	
Identificación	
Fabricante: Mega Food Technology Food	No. Requerido: 4
Ítem (Catálogo): 16614	Fecha: 23-09-2014
Función: Acondicionamiento y alcalinización de licor de cacao	
Operación: Batch	
Datos del diseño: • Capacidad: 2500 L • Alto: 2,1 mm • Diámetro: 1,55 • Diámetro entrada de vapor:0,0254 m • Peso: 450 kg • Potencia de motor de agitación: 4 HP	
Material: Acero inoxidable 18/10 AISI-304	
Principio de operación: Tanque cilíndrico con chaqueta donde circula vapor como fluido de calentamiento, dotado de un sistema de agitación en la parte superior del equipo.	
Esquema	



Hoja de especificación N°3	
Prensa hidráulica PRH-104	
Identificación	
Fabricante: Teckru Projects	No. Requerido: 2
Ítem (Catálogo): 1450/2.1	Fecha: 20-02-2015
Función: Extraer la materia grasa del licor de cacao mediante el incremento de presión	
Operación: Batch	
Datos del diseño: • Número de ollas: 12 • Diámetro de olla: 0,45 m • Capacidad de llenado: 185 kg • Ancho: 1,30 m • Largo: 5,65 m • Largo total: 6,15 m • Alto: 1,181 m • Alto total (incluido soporte): 3,052 m • Presión máxima de operación: 550 bar • El equipo cuenta con los dispositivos: Unidad hidráulica tipo HU 1 Control eléctrico Sistema homogeneizador de pre calentamiento Bomba de llenado Transportador vibratorio de torta	
Material	
Principio de operación: El licor de cacao ingresa en las ollas de prensado, cuando la bomba hidráulica se enciende, comienza a incrementar la presión en el interior, la manteca fluye hacia afuera y la torta permanece en el interior. Al finalizar la extracción la prensa se abre y expulsa la torta.	
Esquema	



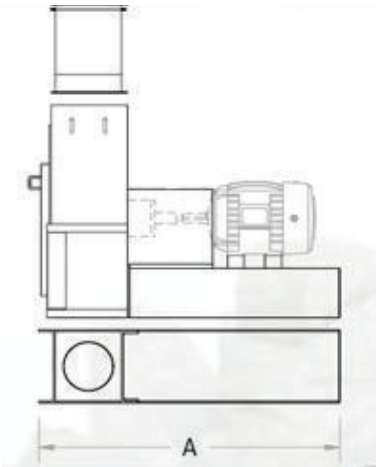
Vista frontal



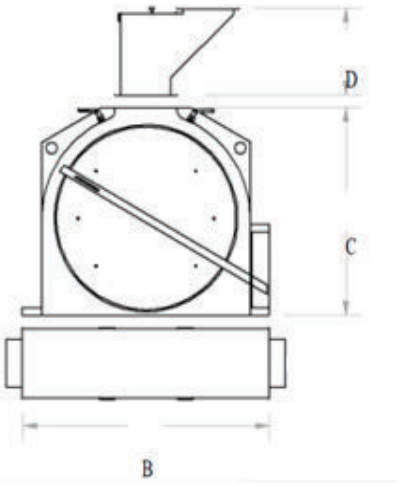
Vista lateral

Hoja de especificación N° 5	
Balanza electrónica	
Identificación	
Fabricante: CASIO	No. Requerido: 1
Ítem (Catálogo): N.A.	Fecha: 22 enero 2015
Función: Pesaje de manteca de cacao	
Operación: Batch	
Datos del diseño: • Capacidad 100 kg • Sensibilidad 50 g • Largo: 0,5 m • Ancho: 0,4 m	
Material: Bandeja de acero inoxidable y estructura de hierro al carbono	
Principio de operación: Funcionamiento con baterías recargables 110 V, el peso registrado se refleja en el indicador.	
Esquema 	

Hoja de especificación N° 6	
Molino de martillos TRT-301	
Identificación:	
Fabricante: I.A. Carlos Arturo Arias Arango	No. Requerido: 2
Ítem (Catálogo):	Fecha: 17 abril 2013
Función: Triturar la torta de cacao obtenida después del proceso de prensado	
Operación: Continuo	
Datos del diseño: • Motor de 25 HP • Capacidad 500 kg/h • Largo (A): 0,5 m • Ancho (B): 0,45 m • Alto (C+D): 0,45 m	
Material: Acero Inoxidable	
Principio de operación: Molienda por percusión entre un rotor provisto de martillos fijos o móviles y un extractor equipado de una rejilla para garantizar la granulometría	
Esquema	



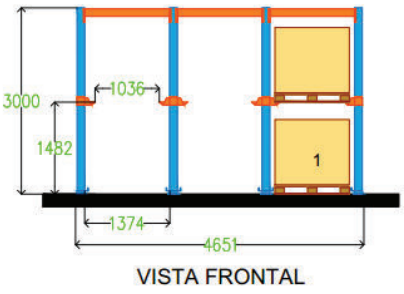
Vista lateral



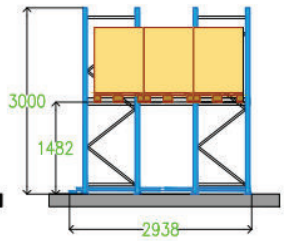
Vista frontal

Hoja de especificación N° 7	
Sistema de molienda TCM	
Identificación	
Fabricante: Tercku Projects	No. Requerido: 1
Ítem (Catálogo): N.A.	Fecha: 2 febrero 2015
Función: Pulverizar la torta de cacao	
Operación: Continuo	
Datos del diseño: • Capacidad: 1000 kg/h • Velocidad del rotor: 1500 rpm • Velocidad de aire: 6000 m3/h • Largo: 2,45 m • Ancho: 1,587 m • Alto: 2,8 m • Partes del sistema: Sistema de alimentación Sistema de molienda Separador Sistema de ventilación Ductos	
Material: • Estructura: Hierro fundido • Rotor y filtro: Acero al carbono	
Principio de operación:	
Esquema 	

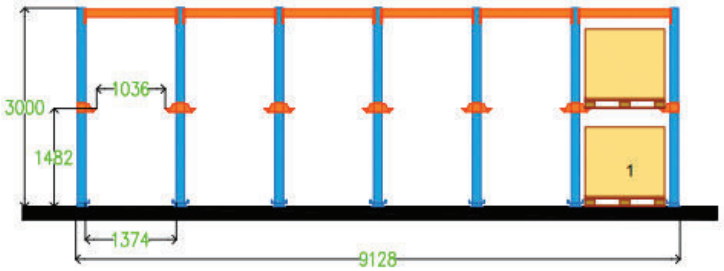
Hoja de especificación N° 9	
Estanterías tipo Drive-in	
Identificación	
Fabricante: Mecalux	No. Requerido: 9 calles, 3 columnas, 2 niveles
Ítem (Catálogo):	Fecha: 27 enero 2015
Función: Es un sistema de estanterías desarrollado para almacenamiento de cajas de licor y manteca de cacao colocadas sobre paletas.	
Operación: Drive in	
Datos del diseño: • Alto: 3 m • Ancho: 2,938 m • Largo: 13,836 m • Sus componentes son: Carril guía y puntera Cartela GP5: soporte de 6 ganchos que une el carril con el rack Carril GP5: carril de apoyo Atirantados vertical y horizontal	
Material: Acero	
Principio de operación: Consta de un conjunto de estanterías que forman calles interiores de carga, con carriles de apoyo para las paletas. Los montacargas penetran en dichas calles interiores con la carga elevada por encima del nivel en el que va a ser depositada.	
Esquema	



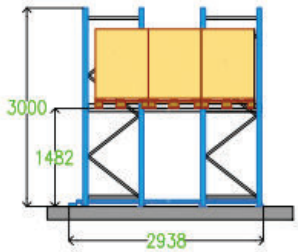
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL

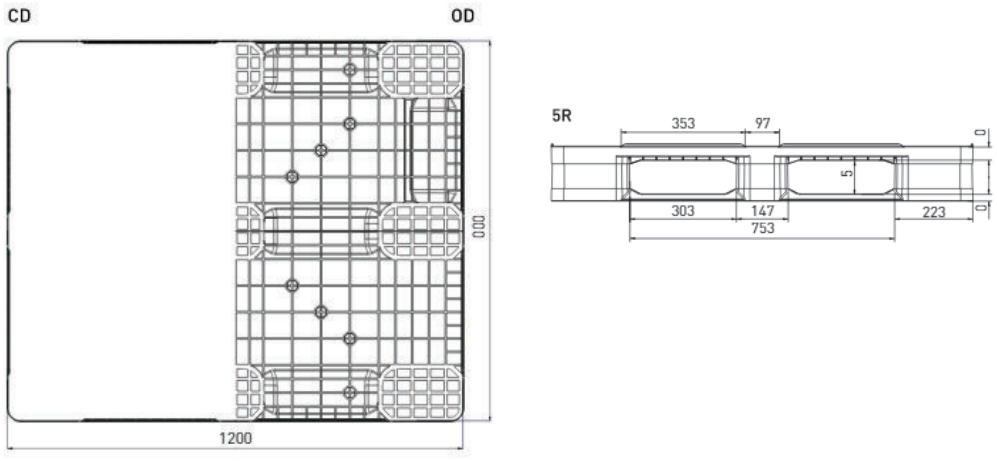


VISTA FRONTAL

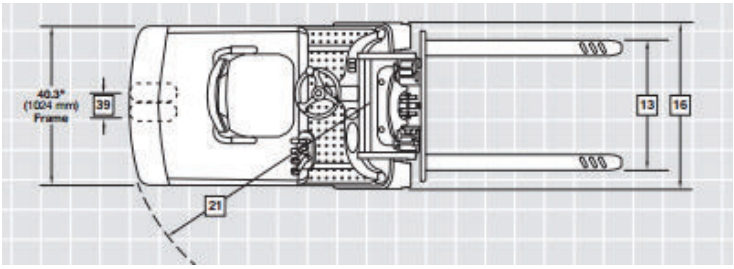


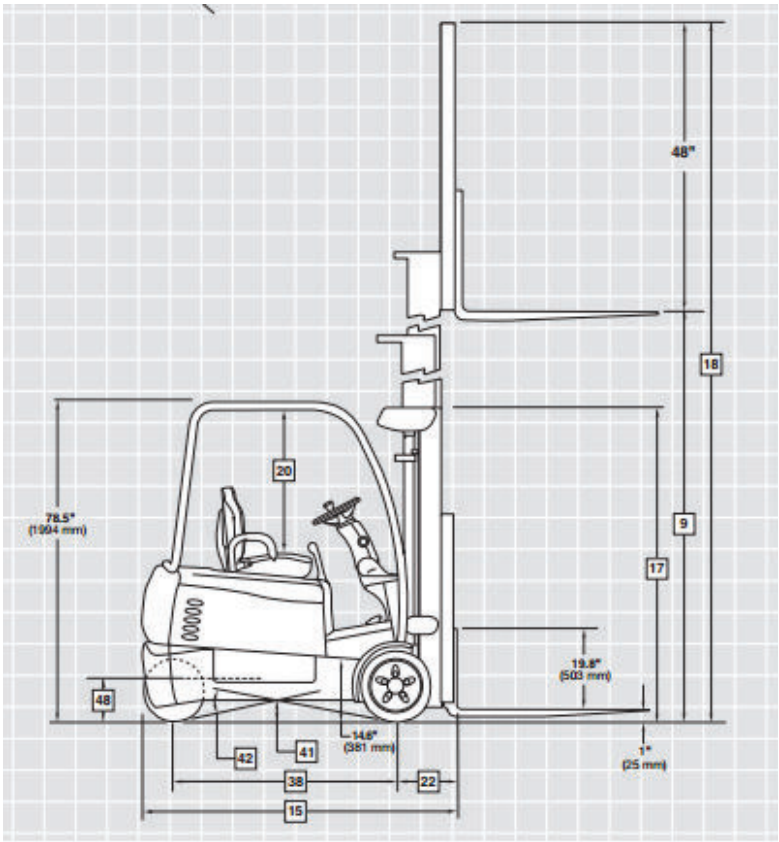
VISTA LATERAL

Hoja de especificación N° 10	
Europallets	
Identificación	
Fabricante: CABKA	No. Requerido: 54
Ítem (Catálogo): N.A.	Fecha: 26 enero 2015
Función: Soporte para el transporte y almacenamiento en estanterías de cajas de licor y manteca de cacao.	
Operación: Batch	
Datos del diseño: • Superficie: Lisa • Tres rieles • Largo: 1,2 m • Ancho: 0,8 m • Alto: 0,15 m • Peso: 16 kg • Carga estática: 3 000 kg • Carga dinámica: 1 500 kg • Carga en estantería: 750 kg	
Material: Polipropileno reciclado	
Principio de operación: Las cajas son colocadas sobre la superficie de los pallets y son transportadas o apilas por un montacargas.	
Esquema	

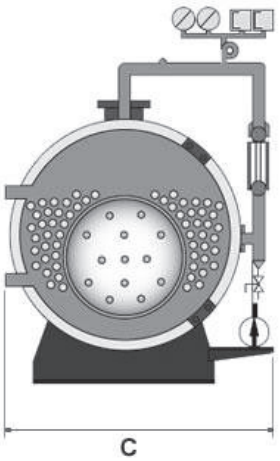


Hoja de especificación N° 11	
Montacargas SC 5215-30	
Identificación	
Fabricante: Crown Equipment Corporation	No. Requerido: 2
Ítem (Catálogo):	Fecha: 27 enero 2015
Función: Transportar las paletas que sirven como apoyo a las cajas de licor y manteca de cacao en el almacenamiento	
Operación: Eléctrico	
Datos del diseño: • Largo (15): 1,740 m • Ancho (16): 1,024 m • Alto (17): 1,994 m • Capacidad: 1361 kg • Centro de carga: 0,6 m • Altura de elevación: 2,895 m • Uñas de carga: 1,2 m • Peso: 2790 kg	
Material	
Principio de operación:	
Esquema	

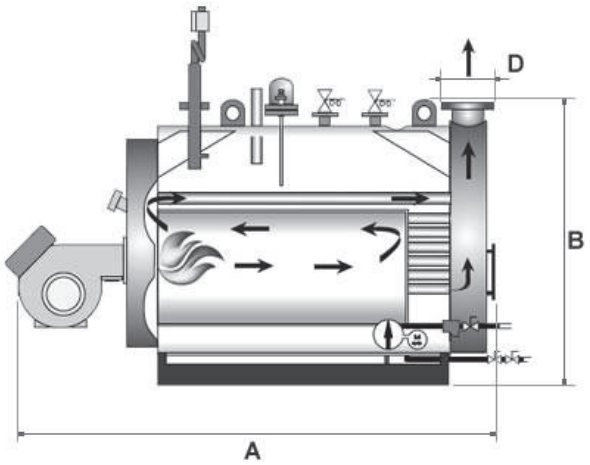



48"
18
20
78.5"
(1994 mm)
9
17
19.8"
(503 mm)
48
14.6"
(381 mm)
1"
(25 mm)
42
41
38
22
15

Hoja de especificación N° 12	
Caldero 3PRV80	
Identificación	
Fabricante: Fontanet tanques y calderas	No. Requerido: 1
Ítem (Catálogo): N.A.	Fecha: 3 febrero 2015
Función: Producir de vapor saturado.	
Operación: Continua	
Datos del diseño: • Producción de vapor 155 kg/h • Capacidad térmica: 10 BHP • Largo total (a): 2 m • Alto total (B): 1,4 m • Ancho total (C): 1,3 m • Diámetro chimenea: 0,2 m	
Material	
Principio de operación: Mediante un quemador y el combustible, se genera energía calorífica que sirve como fluido calefactor para el agua que circula a través de tubos y gracias al incremento de temperatura se obtiene vapor saturado a alta presión.	
Esquema	



Vista frontal



Vista lateral

ANEXO VI

BALANCE DE ENERGÍA

Se determinó el calor total requerido en el proceso de acondicionamiento y alcalinización durante 8 horas

$$Q_{total} = Q_a + Q_p$$

Donde:

Qa = Calor requerido para el acondicionamiento (kJ/día)

Qp= Calor por pérdidas durante 8 horas de alcalinización (kJ/día)

El calor requerido para fundir el licor de cacao desde la temperatura de refrigeración en el proceso de acondicionamiento viene dado por la siguiente ecuación:

$$Q_a = \left(m * Cp * (T_{fund} - T_{ref})\right) + (m * Lf) + \left(m * Cp * (T_{fund} - T_f)\right)$$

Donde:

Q_a= calor necesario para el acondicionamiento (kJ/día)

m = masa de licor de cacao (kg/día)

Cp = calor específico del licor de cacao (kJ/kg °C)

T fund = temperatura de fundición (°C)

T ref = temperatura de refrigeración (°C)

Lv = calor latente de vaporización del licor de cacao (kJ/kg)

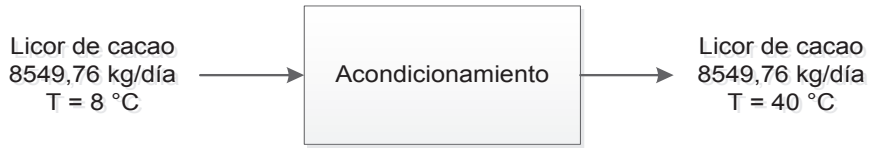
Tf = Temperatura final de acondicionamiento (°C)

El Cp del licor de cacao se calculó a partir del porcentaje en peso de sus componentes mostrados en la siguiente Tabla:

Tabla AV.1. Composición química del licor de cacao y Cp de cada componente

Composición química	%	Cp (kJ/kg °C)
Humedad	1,33	4,176
Proteína	13,7	2,159
Grasa	52.665	2,027
Carbohidratos	23,5	1,874
Fibra	3,9	1,578
Ceniza	4,8	2,006
Total	**100**	**2,017**

Se realizó un balance de energía para el proceso de acondicionamiento de licor de cacao:



$$Q_{acond} = \left(m * Cp * (T_{fund} - T_{ref}\right) + (m * Lf) + \left(m * Cp * (T_{fund} - T_f\right)$$

$$Q_{acond} = \left(8\,549{,}76\ \frac{kg}{día} * 2{,}017\ \frac{kJ}{kg\ °C} * (37 - 20)\ °C\right) + \left(8\,549{,}76\ \frac{kg}{día} * 157\ \frac{kJ}{kg}\right) + \left(8\,549{,}76\ \frac{kg}{día} * 2{,}017\ \frac{kJ}{kg\ °C} * (90 - 37)\ °C\right)$$

$$Q_a = \ 2\,549\,490{,}85\ \frac{kJ}{día}$$

Para calcular el calor necesario para mantener el licor de cacao a 90 °C se calculó las pérdidas de calor en el ambiente. Se utilizó la siguiente ecuación.

$$Q_p = U * A * \ \Delta T$$

Donde:

Qp = Pérdidas de calor en (kJ/día)

U = coeficiente global de transmisión de calor

∆T = Diferencia de temperaturas

Para determinar el coeficiente global de transferencia se utilizó la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{licor}} + \frac{e}{K_{ac\ inox}} + \frac{1}{h_{aire}}$$

Donde:

h_{licor} = Coeficiente de convección del licor de cacao (W /m^2 °C)

e = espesor de pared (m)

$K_{ac\ inox}$ = conductividad térmica del acero inoxidable 304 (W/m °C)

h_{aire} = coeficiente de convección del aire (W /m^2 °C)

El coeficiente de convección del licor de cacao se determinó utilizando los números adimensionales Reynolds y Nusselt, para esto se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$Re = \frac{Da^2 * N * \delta}{\mu}$$

Donde:

Da = Diámetro de las paletas del agitador (m)

N = Velocidad de rotación del sistema de agitación (rev/s)

δ = densidad (kg/m3)

μ = Viscosidad (kg/m s)

$$Re = \frac{0{,}487^2\ m\ * 1{,}41\ \frac{rev}{s} *\ 1070{,}81\ \frac{kg}{m^3}}{2{,}39\ \frac{kg}{m\ s}} = 147{,}87$$

De acuerdo al número de Reynolds, se determina el carácter del flujo

- Régimen laminar Re ≤ 2 100
- Régimen de transición 2 100 ≤ Re ≤ 3 000
- Régimen turbulento Re ≥ 3 000

$$Nu = \frac{h_{licor} * D_t}{k}$$

Donde:

h_{licor} = Coeficiente de convección del licor de cacao

Dt = Diámetro del tanque

k = conductividad térmica del licor de cacao

La correlación para el coeficiente de transferencia de calor en tanques agitados viene dado por la siguiente ecuación:

$$Nu = a * Re^b * Pr^{1/3}$$

$$Nu = a * \left(\frac{Da^2 N\ \delta}{\mu}\right)^b * \left(\frac{Cp\ \mu}{k}\right)^{1/3}$$

Para un agitador de turbina de paletas planas sin deflectores a = 0,54 y b = 2/3

$$Nu = 0{,}54 * (147{,}87)^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{2{,}017\ \frac{kJ}{kg\ °C} * 2{,}39\ \frac{kg}{m\ s}}{0{,}00039\ \frac{kJ}{m\ s\ °C}}\right)^{\frac{1}{3}} = 349{,}14$$

A partir del número de Nusselt se determinó el coeficiente de convección del licor de cacao, donde se obtuvo los siguientes resultados:

$$Nu = \frac{D_t * h_{licor}}{k}$$

$$h_{licor} = \frac{Nu * k}{D_t} = \frac{349{,}14 * 0{,}392(\frac{W}{m\,°C})}{1{,}448\,m} = 94{,}52\ \frac{W}{m^2\,°C}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{94{,}52\ \frac{W}{m^2\,°C}} + \frac{0{,}051\,m}{14{,}9\ \frac{W}{m\,°C}} + \frac{1}{5\ \frac{W}{m^2\,°C}}$$

$$U = 4{,}67\frac{W}{m^2\,°C}$$

$$Q_p = U * A * (t_{licor} - t_{aire})$$

$$Q_p = 4{,}67\frac{W}{m^2\,°C} * 15{,}49m^2\ * (90 - 20)°C = \ 5{,}065\ kJ/s$$

El proceso de alcalinización será durante 8 horas

$$Q_p = 5{,}065\ \frac{kJ}{s} * 3\ 600\frac{s}{h} * 8\ h = 145\ 874{,}73\ kJ/día$$

Se calculó el valor total

$$Q_{total} = Q_a + \ Q_p$$

$$Q_{total} = \ 2\ 549\ 490{,}85\ \frac{kJ}{día} + 145\ 874{,}73\ \frac{kJ}{día} = 2\ 695\ 365{,}58\ \frac{kJ}{día}$$

Se consideró un 35 % de seguridad de donde se obtuvo la cantidad necesaria de calor total.

$$Q_{total} = \ 3\ 638\ 743{,}53\ \frac{kJ}{día}$$

ANEXO VII

DETERMINACIÓN DE LA INVERSIÓN TOTAL ANUAL

Para la determinación de la inversión total se consideró los rubros mostrados en las Tablas AVII.1 - AVII.4.

Tabla AVII.1. Inversión en terreno y construcciones

TERRENO Y CONSTRUCCIONES				
Designación	**Área (m^2)**	**Valor ($ /m^2)**	**Valor total ($)**	**Dividendo anual de Amortización**
Terreno	1094,00	30	32 820	1 641
Construcciones				
fábrica	459,59	280	128 685	6 434
oficinas	36,26	320	11 603	580
cerramiento	405,00	145	58 725	2 936
bodegas	259,90	250	64 975	3 249
baños	45,24	280	12 667	633
guardia	1,82	150	273	14
	949,78	**TOTAL CONSTRUCCIONES**	**276 929**	**13 846**
		TOTAL TERRENO Y CONSTRUCCIONES	**309 749**	**154 487**

La maquinaria y equipo se dividió de acuerdo a la línea de producción a la que pertenece, se dividió en maquinaria compartida, línea de procesamiento de manteca de cacao y línea de producción de polvo de cacao

Tabla AVII.2. Inversión en maquinaria y equipo

MAQUINARIA Y EQUIPO COMPARTIDA				
Designación del equipo	**Número de unidades**	**Valor unitario ($)**	**Valor Total ($)**	**Dividendo Anual de Amortización**
Racks	54	165,56	8 940	894
Pallets	84	50	4 200	420
Montacargas	1	38 358,03	38 358	3 836
Recipiente	1	688	688	69
Marmitas de calentamiento	4	16 400	65 600	6 560
Prensa hidráulica	2	142 075	284 150	28 415
	TOTAL		**401 936**	**40 194**

MAQUINARIA Y EQUIPO PARA PRODUCCIÓN DE MANTECA DE CACAO				
Designación del equipo	**Número de unidades**	**Valor unitario ($)**	**Valor Total ($)**	**Dividendo Anual de Amortización**
Tanque	1	34 603	34 603	3 460
Atemperadora	1	67 856	67 856	6 786
Balanza electrónica	1	443,52	444	44
	TOTAL		**102 903**	**10 290**

MAQUINARIA Y EQUIPO PARA PRODUCCIÓN DE POLVO DE CACAO				
Designación del equipo	**Número de unidades**	**Valor unitario ($)**	**Valor Total ($)**	**Dividendo Anual de Amortización**
Trituradora	2	11639	23 278	8 990
Pulverizadora	1	161 397	161 397	16 140
Empacadora	1	31 030	31 030	3 103
Banda transportadora	12,73	933,33	11 881	1 188
Tornillo sin fin	1,16	1414	1 640	164
	TOTAL		**229227**	**29 585**

Tabla AVII.3. Activo diferido

Rubro	**Costo total ($)**
Planeación e integración (3% de la inversión total)	94 666
Ingeniería del proyecto (3,5 % de la inversión en activos de producción)	25 692
Supervisión (1,5 %)	47 333
Administración del proyecto (0,5 % de la inversión total)	15 778
TOTAL	183 469

Tabla AVII.4. Inversión en equipos y muebles de oficina

EQUIPOS Y MUEBLES DE OFICINA				
Denominación	**Número de unidades**	**Valor unitario ($)**	**Valor total ($)**	**Dividendo Anual de Amortización**
Escritorio	4	79,9	320	32
Sillones para escritorio	4	48,5	194	19
Computadores	4	600,0	2 400	240
Archivadores	4	110,0	440	44
Estanterías y repisas	3	94,0	282	28
Sillas	8	20,0	160	16
Mesa de conferencia	1	180,0	180	18
TOTAL			**3 976**	**398**

ANEXO VIII

COSTO DE OPERACIÓN

Tabla AVIII.1. Costos de materia prima anual

MATERIA PRIMA					
Designación de la materia prima	**Costo ($/kg)**	**Materia Prima por día (kg)**	**Materia prima por mes (kg)**	**Materia prima por año (kg)**	**Costo por año ($)**
Licor de cacao	4,55	8 550	171 000	2 052 000	9 336 600
			TOTAL	**2 052 000**	**9 336 600**

Tabla AVIII.2. Costos de materiales indirectos anuales

MATERIALES INDIRECTOS					
Designación del materiales indirectos	**Costo ($/kg)**	**Materiales indirectos por día (kg)**	**materia indirectos por mes (kg)**	**Materiales indirectos por año (kg)**	**Costo por año ($)**
Carbonato de potasio	2,76	69	1 308	16 560	45 706
cajas impresas (30x27x25)	0,87	119	2 380	28 560	24 847
fundas de polietileno	0,98	322	6 440	77 280	11 592
sacos de papel kraft (0,72x0,57) 2 capas	0,15	203	4 060	48 720	47 746
			TOTAL	**2 097 120**	**129 890**

Tabla AVIII.3. Costos de mano de obra

MANO DE OBRA DIRECTA									
Operador de Máquina o Proceso	**Salario Mensual**	**Aporte Patronal de 12.15% al IESS**	**Total mensual, ex-bonificaciones**	**Total anual, ex-bonificaciones**	**Vacaciones**	**13avo**	**14avo**	**Fondo de Reserva**	**Gran total anual**
Jefe de producción	900,00	109,35	1 009,35	12 112,20	504,68	1 009,35	354,00	1 009,35	14 989,58
Jefe de control de calidad	800,00	97,20	897,20	10 766,40	448,60	897,20	354,00	897,20	13 363,40
Operarios (7)	3 500,00	425,25	3 925,25	47 103,00	1 962,63	3 925,25	354,00	3 925,25	57 270,13
Analista de calidad	450,00	54,68	504,68	6 056,10	252,34	504,68	354,00	504,68	7 671,79
								TOTAL	93 294,89
MANO DE OBRA INDIRECTA									
Gerente general	1 200,00	145,80	1 345,80	16 149,60	672,90	1 345,80	354,00	1 345,80	19 868,10
Gerente financiero	900,00	109,35	1 009,35	12 112,20	504,68	1 009,35	354,00	1 009,35	14 989,58
Gerente de producción	900,00	109,35	1 009,35	12 112,20	504,68	1 009,35	354,00	1 009,35	14 989,58
Gerente administrativo	900,00	109,35	1 009,35	12 112,20	504,68	1 009,35	354,00	1 009,35	14 989,58
Guardias (2)	1 000,00	121,50	1 121,50	13 458,00	560,75	1 121,50	354,00	1 121,50	16 615,75
Secretaria ejecutiva	400,00	48,60	448,60	5 383,20	224,30	448,60	354,00	448,60	6 858,70
Gerente de marketing	800,00	97,20	897,20	10 766,40	448,60	897,20	354,00	897,20	$13 363,40
								TOTAL	101 675

Tabla AVIII.4. Costos suministros

Suministro	Costo anual
Energía eléctrica	6 254,85
Diesel	20 315,34
Agua	967,68
TOTAL	27 537,87

Tabla AVIII.5. Costos de administración

Rubro	Valor ($)	(%)
Sueldos administrativos	56 562,00	95,45
Depreciación de equipos de oficina	398,00	0,67
Gastos de oficina	1 139,00	1,92
Imprevistos (2%)	1 162,00	1,96
TOTAL	59 261,00	100,00

Tabla AVIII.6. Costos de ventas

Gerente de ventas	13 327,40
Publicidad	2 874,29
Imprevistos	306,53
TOTAL	**15 633,04**

ANEXO IX

PUNTO DE EQUILIBRIO

Tabla AIX.1. Punto de equilibrio

	PUNTO DE EQUILIBRIO				
Porcentaje (%)	**Unidades Producidas en el año**	**Costos Fijos ($)**	**Costos Variables ($)**	**Costos totales ($)**	**Ventas ($)**
0%	0	502 826	0	502 826	0
8%	223 650	502 826	830 535	1 333 361	976 229
17%	447 300	502 826	1 661 070	2 163 896	1 952 457
25%	670 950	502 826	2 491 605	2 994 431	2 928 686
33%	894 600	502 826	3 322 140	3 824 966	3 904 915
42%	1 118 250	502 826	4 152 675	4 655 501	4 881 144
50%	1 341 900	502 826	4 983 210	5 486 036	5 857 372
58%	1 565 550	502 826	5 813 745	6 316 571	6 833 601
67%	1 789 200	502 826	6 644 280	7 147 106	7 809 830
75%	2 012 850	502 826	7 474 815	7 977 641	8 786 059
83%	2 236 500	502 826	8 305 350	8 808 176	9 762 287
92%	2 460 150	502 826	9 135 885	9 638 711	10 738 516
100%	2 683 800	502 826	9 966 420	10 469 246	11 714 745
	PUNTO DE EQUILIBRIO		**79 605**	**unidades**	
					1 245 499