



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

REINGENIERÍA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE CHOCOLATE EN BARRA EN UNA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Edwin Arnoldo Ramírez Toledo

Asesorado por el Ing. César Alfonso García

Co Asesorado por el Ing. Adrian Soberanis

Guatemala, noviembre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REINGENIERÍA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE CHOCOLATE EN BARRA
EN UNA INDUSTRIA ALIMENTARIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

EDWIN ARNOLDO RAMÍREZ TOLEDO

ASESORADO POR EL ING. CÉSAR ALFONSO GARCÍA

CO ASESORADO POR EL ING. ADRIAN SOBERANIS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

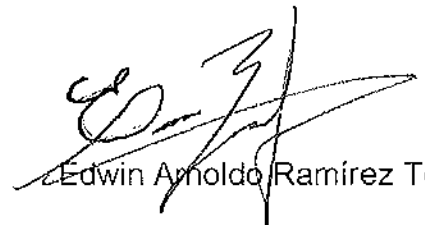
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl De León De Paz
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADORA	Inga. Dina Lissette Estrada Moreira
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

REINGENIERÍA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE CHOCOLATE EN BARRA EN UNA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha enero de 2011.



Edwin Arnoldo Ramírez Toledo



Guatemala, 20 de septiembre de 2011

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Respetable Ingeniero Álvarez:

Con un respetuoso saludo me dirijo a usted para informarle que he revisado y aprobado El Informe Final de trabajo de graduación titulado: "REINGENIERÍA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE CHOCOLATE EN BARRA EN UNA INDUSTRIA ALIMENTARIA" Elaborado por el estudiante de Ingeniería Química Edwin Arnoldo Ramírez Toledo con número de carné 200611224.

Agradezco a usted La atención a La presente.

Atentamente,

Ing. Qco. César Alfonso García
ASESOR





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 21 de septiembre de 2011
Ref.EIQ.TG.188.2011

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-0582010-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERO QUÍMICO al estudiante universitario, EDWIN ARNOLDO RAMÍREZ TOLEDO, identificado con carné No. 2006-11224, titulado: "REINGENIERÍA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE CHOCOLATE EN BARRA EN UNA INDUSTRIA ALIMENTARIA", el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico César Alfonso García Guerra.

Habiendo encontrado el referido informe final satisfactorio, se procede a recomendarle autorice al estudiante Ramírez Arnoldo, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Inga. Teresa Lissety de León Arana, M.Sc.
COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación



C.c.: archivo



El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **EDWIN ARNOLDO RAMÍREZ TOLEDO** titulado: "REINGENIERÍA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE CHOCOLATE EN BARRA EN UNA INDUSTRIA ALIMENTARIA".
Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía, C. P.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, noviembre de 2011

Cc: Archivo
WGAM/ala



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **REINGENIERÍA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE CHOCOLATE EN BARRA EN UNA INDUSTRIA ALIMENTARIA**, presentado por el estudiante universitario **Edwin Arnoldo Ramírez Toledo**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, noviembre de 2011

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser la base fundamental en mi vida, por conducirme por los caminos correctos de la misma, por llenarme de bendiciones para ser feliz y brindarme obstáculos para aprender, crecer y ser una mejor persona y un mejor hijo tuyo.

Mis padres

Arnoldo Ramírez y Gloria Toledo de Ramírez, por ser la perfecta luz que Dios puso en mi camino. Porque a pesar de cualquier dificultad siempre estuvieron allí, acompañándome, brindándome consejo. Lo que ahora soy no es mas que el resultado de su esfuerzo y enseñanzas a lo largo de mi vida. Los amo. El amor es el motor que mueve al mundo y ustedes son el motor de mi vida.

Mi abuela

Consuelo López, por ser un ángel terrenal para mí. Porque a pesar de no tener ninguna obligación de cualquier tipo, me ha brindado todo lo que ha podido, pero más que cosas materiales me ha brindado lo más valioso para un hombre, su educación y sus conocimientos. Le estaré eternamente agradecido y sepa que este logro también es suyo.

Mi hermana

Lesly Ramírez, por ser mi compañera de vida, mi apoyo. La inspiración de muchas de mis metas, pero sobre todo velar por mi bienestar.

Mi novia

Marielos Ralda, por ser mi eterna compañera, amiga, confidente. Por ser uno de los grandes apoyos en mis momentos difíciles. Por tu paciencia, por comprender mis ausencias. Por compartir mis sueños y creer en mi, pero sobre todo gracias por tu sincero y verdadero amor.

A la familia Ralda Muñoz

Por ser un segundo hogar para mi. Por su apoyo y atenciones. Los llevo en mi corazón.

A mis amigos

Por su apoyo y su ayuda incondicional en cualquier momento, sepan que cuentan siempre con este servidor para lo que necesiten.

A T.A.C.H

Por ser una empresa y una familia que me dio la oportunidad de desarrollarme en otra área de mi vida, que me brindó cariño y que me enseñó a creer en el valor de los sueños.

**A Boris Castillo
(q.e.p.d)**

Un hermano que se me adelantó en este bello y corto camino llamado vida. Gracias por todo. Siempre quisiste vivir este momento conmigo y se que ahora lo estás haciendo.

AGRADECIMIENTOS A:

Mi casa de estudios

Universidad de San Carlos de Guatemala, por los conocimientos adquiridos durante toda mi formación académica y por la oportunidad de crecer profesionalmente.

Mi asesor

Por la paciencia y el tiempo invertido en la realización del presente trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	I
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
HIPÓTESIS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Cacao	5
2.1.1. Descripción botánica	5
2.1.2. Hábitat y cultivo	5
2.1.3. Agricultura	6
2.1.4. Clasificación botánica del cacao	6
2.1.4.1. Cacao criollo	6
2.1.4.2. Cacao trinitario	7
2.1.4.3. Cacao forastero	7
2.1.5. Clasificación comercial del cacao	7
2.1.5.1. Cacao ordinario	7
2.1.5.2. Cacao fino o de aroma	8
2.1.6. Composición química	9
2.1.7. Clasificación científica	9
2.2. Chocolate	10

2.2.1.	Tipos de chocolate.....	10
2.2.1.1.	Chocolate negro.....	10
2.2.1.2.	Chocolate de cobertura.....	10
2.2.1.3.	Chocolate a la taza	11
2.2.1.4.	Chocolate de leche	11
2.2.1.5.	Chocolate blanco	11
2.2.1.6.	Chocolate relleno.....	12
2.3.	Operaciones unitarias.....	12
2.4.	Materias primas.	13
2.4.1.	Habas de cacao	14
2.4.1.1.	Variedades botánicas	14
2.4.1.2.	Preparación de las habas de cacao.....	15
2.4.1.2.1.	Fermentación.....	15
2.4.1.2.2.	Desecación.....	16
2.4.2.	Azúcar.....	17
2.4.2.1.	Calidades de azúcar	17
2.4.3.	Leche	18
2.4.3.1.	Ingredientes lácteos.....	19
2.4.3.2.	La leche en polvo en la producción de chocolate	20
2.4.3.3.	Leche y chocolate <i>crumb</i>	20
2.4.4.	Agentes emulsificantes	21
2.4.4.1.	Fases de una emulsión.....	22
2.4.4.2.	Funciones de un emulsificante.....	22
2.4.4.3.	Agentes emulsificantes naturales	23
2.4.4.3.1.	Lecitina	24
2.4.5.	Reforzadores de sabor	25
2.4.6.	Grasas	25
2.4.6.1.	Química de las grasas	26

2.4.6.1.1.	Ácidos grasos	26
2.4.6.1.2.	Glicéridos.....	28
2.4.6.2.	Manteca de cacao	30
2.4.6.3.	Alternativas de la manteca de cacao.....	31
2.4.6.4.	Equivalentes de la manteca de cacao (CBE) .	31
2.4.6.4.1.	Composición	31
2.4.6.4.2.	Compatibilidad	32
2.4.6.4.3.	Aplicaciones.....	32
2.4.6.5.	Reemplazantes de la manteca de cacao (CBR)	33
2.4.6.6.	Reemplazantes láuricos de la manteca de cacao (<i>Lauric CBR</i>).....	34
2.4.6.6.1.	Composición	34
2.4.6.6.2.	Compatibilidad	34
2.4.6.6.3.	Aplicaciones.....	35
2.4.6.7.	Reemplazantes no láuricos de la manteca de cacao (<i>NON-LAURIC CBR</i>)	36
2.4.6.7.1.	Composición	36
2.4.6.7.2.	Compatibilidad	36
2.4.6.7.3.	Aplicaciones.....	36
2.4.6.8.	Eflorescencia de la grasa en el chocolate	37
2.5.	Fundamentos de formulación	38
2.5.1.	Preferencia del chocolate según región.....	39
2.5.2.	Obtención de variantes en el sabor del chocolate	40
2.5.3.	Proporciones de azúcar	41
2.5.4.	Proporciones de leche	42
2.5.5.	Proporciones de licor de chocolate.....	44
2.5.6.	Saborizantes.....	44
2.5.7.	Proporciones de lecitina	45

2.6.	Proceso productivo del chocolate de leche	48
2.6.1.	Limpieza inicial del haba de cacao	48
2.6.2.	Tostado del haba de cacao.....	49
2.6.2.1.	Reacciones químicas durante el proceso proceso de tostado.....	51
2.6.2.1.1.	Reacciones químicas en la etapa inicial de tueste.....	52
2.6.2.1.2.	Reacciones químicas en la etapa intermedia inicial de tueste.....	53
2.6.2.1.3.	Reacciones químicas en la etapa final de tueste	55
2.6.3.	Reducción de tamaño y limpieza (quebrado del haba) ...	56
2.6.4.	Mezcla de habas de cacao	57
2.6.5.	Producción de licor de molienda (licor de cacao).....	58
2.6.6.	Mezcla de ingredientes	61
2.6.7.	Refinación.....	63
2.6.8.	Conchado (maduración del conchado)	68
2.6.8.1.	Fundamento del conchado.....	68
2.6.8.2.	Licuación y fuerzas de cizalladura	71
2.6.8.3.	Fases de la operación de conchado	74
2.6.8.4.	Tipos de concha.....	76
2.6.9.	Moldeo del chocolate	78
2.6.10.	Solidificación (túneles de enfriamiento)	79
2.6.11.	Empaquetado.....	82
2.7.	Principales propiedades del chocolate	84
2.7.1.	Punto de fusión	84
2.7.2.	Viscosidad	86
2.7.3.	Densidad.....	87

2.7.4.	Brillo	89
3.	METODOLOGÍA	91
3.1.	Variables	91
3.1.1.	Variables.....	91
3.1.2.	Método que se utilizará.....	92
3.1.3.	Tamaño de partícula.....	92
3.2.	Delimitación de campo de estudio	93
3.2.1.	Diseño de tratamientos.....	93
3.2.2.	Manejo experimental	93
3.3.	Recurso humano disponible	94
3.4.	Recurso material disponible.....	94
3.4.1.	Materia prima.....	94
3.4.2.	Cristalería	94
3.4.3.	Equipo	95
3.5.	Técnica cuantitativa o cualitativa	95
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	96
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	97
3.7.1.	Métodos para determinar las propiedades físicoquímicas	97
3.7.2.	Métodos para determinar las propiedades organolépticas	98
3.8.	Análisis estadístico	99
4.	RESULTADOS	102
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	125
5.1.	En relación al análisis físicoquímico de la materia prima para la determinación de su calidad	125

5.2. En relación a la comparación de variables entre lo referenciado por la bibliografía y el proceso productivo de chocolate en barra.....	126
5.3. En relación a la reformulación de la composición actual del chocolate en barra y su evaluación cualitativa y cuantitativa	129
CONCLUSIONES.....	133
RECOMENDACIONES.....	135
BIBLIOGRAFÍA.....	137
APÉNDICE	139

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Vainas de cacao sin cortar	8
2.	Diferentes chocolates en tableta	12
3.	Azúcar refinada	19
4.	Leche en polvo	21
5.	Estructura de la lecitina	25
6.	Estructura del glicerol	26
7.	Estructura de un ácido graso.....	26
8.	Estructura de un triglicérido.....	28
9.	Posibles representaciones de un triglicérido	29
10.	Tostadora <i>Batch</i> de habas de cacao.....	52
11.	Quebradora de haba de cacao.....	57
12.	Rampas de descarga de la quebradora de cacao.....	57
13.	Refinador de licor de molienda.....	60
14.	Mezcladora industrial de chocolate	63
15.	Molino refinador de 5 rodillos	65
16.	Principio de funcionamiento del molino refinador de 5 rodillos	65
17.	Concha <i>Bauermeister</i> giratoria.....	78
18.	Moldeo del chocolate.....	79
19.	Túnel de enfriamiento del chocolate.....	82
20.	Gráfica de los sólidos totales en la manteca de cacao según la temperatura	86
21.	Viscosidad del chocolate con y sin emulsionante.....	86

22.	Procedimiento para recolección de información	96
23.	Sistema para utilización del tubo de <i>Thiele</i>	97
24.	Curva de tostado obtenida para el haba de cacao utilizada en el proceso productivo de elaboración de chocolate en barra	102
25.	Influencia de la carga utilizada en el bombo de tostado en relación con el tiempo de tostado.....	103
26.	Influencia del tiempo de permanencia en el descascarillador con el porcentaje de pérdida de cascarilla en cada bandeja.....	104
27.	Diagrama de <i>Schewart</i> de temperatura de operación del licor de cacao en el tanque homogenizador para mantener su fluidización	104
28.	Diagrama de <i>Schewart</i> de la viscosidad de operación del licor de cacao en el proceso de chocolate en barra a una temperatura de 48,4°C.....	105
29.	Diagrama de <i>Schewart</i> de la acidez de operación del licor de cacao en el proceso productivo de elaboración de chocolate en barra a 45°.....	105
30.	Diagrama de <i>Schewart</i> para la temperatura de fusión del licor de cacao en el proceso productivo de chocolate.....	106
31.	Diagrama de <i>Schewart</i> para la humedad del azúcar Utilizado en el proceso productivo de chocolate en barra.....	106
32.	Diagrama de <i>Schewart</i> para la humedad de la leche utilizada en el proceso productivo de chocolate en barra	107
33.	Determinación de la viscosidad del licor de chocolate a diferentes temperaturas	107

34.	Análisis de la granulometría acumulativa de refinado de grano tostado y quebrado utilizado en la producción de chocolate en barra.....	108
35.	Análisis de la granulometría acumulativa de refinado de la pasta de cacao utilizada en la producción de chocolate en barra	108
36.	Análisis de la granulometría acumulativa de refinado de la leche utilizada en la producción de chocolate en barra	109
37.	Análisis de la granulometría acumulativa de refinado del azúcar utilizado en la producción de chocolate en barra.....	109
38.	Diagrama de <i>Schewart</i> de la temperatura de operación del chocolate en la fase de conchado en el proceso productivo de elaboración de chocolate en barra	110
39.	Diagrama de <i>Schewart</i> de la viscosidad de operación del chocolate luego del proceso de conchado a una temperatura media de 62,5°C.....	110
40.	Diagrama de <i>Schewart</i> para la determinación de la consistencia del chocolate por medio de la prueba del penetrómetro a 24°C	111
41.	Diagrama de <i>Schewart</i> para la temperatura del túnel de enfriamiento utilizado en el proceso productivo de chocolate en barra.....	112
42.	Resultados de las mediciones realizadas en el análisis sensorial para la nueva formulación	116
43.	Distribución de los resultados experimentales del punto de fusión en función de las diferentes formulaciones propuestas	118
44.	Distribución de los resultados experimentales de la viscosidad de las diferentes formulaciones propuestas.....	120

45.	Distribución de los resultados experimentales del punto de fusión de la nueva formulación y la formulación testigo	121
46.	Distribución de los resultados experimentales de la viscosidad de la nueva formulación y la formulación testigo	123

TABLAS

I.	Composición química según el tipo de haba de cacao	9
II.	Clasificación científica del cacao	9
III.	Diferentes calidades de azúcar según su tamaño de grano	18
IV.	Composición aproximada de la lecitina comercial de soya	24
V.	Principales ácidos grasos	27
VI.	Variables de monitoreo en operaciones unitarias	91
VII.	Variables para la formulación del chocolate en barra	92
VIII.	Organización de datos de ANDEVA.....	99
IX.	Significado y forma de calcular las sumas de cuadrados.....	100
X.	Tamaño del haba de cacao utilizada en el proceso productivo de elaboración de chocolate en barra según el <i>Military Standard</i>	101
XI.	Porcentaje de humedad relativa del haba de cacao utilizada en el proceso productivo de elaboración de chocolate en barra	102
XII.	Porcentaje de peso perdido en la limpieza del haba de cacao utilizada en el proceso productivo de elaboración de chocolate en barra	103

XIII.	Determinación de consistencia del licor de chocolate utilizado en el proceso productivo de elaboración de chocolate en barra por medio de la prueba del penetrómetro a 24°C	111
XIV.	Comparación de las formulaciones utilizadas en la producción de chocolate en barra	112
XV.	Propuestas de formulaciones realizadas a nivel laboratorio para la mejora de las propiedades del chocolate en barra.....	113
XVI.	Propuestas de formulaciones realizadas a nivel laboratorio para la mejora de las propiedades del chocolate en barra.....	113
XVII.	Propuesta de formulación realizada a nivel laboratorio para la mejora de las propiedades del chocolate en barra.....	114
XVIII.	Determinación de las viscosidades y puntos de fusión de las diferentes formulaciones propuestas	114
XIX.	Determinación de los diferentes puntos de fusión entre la nueva formulación y la utilizada comúnmente.....	115
XX.	Comparación de las diferentes viscosidades entre la nueva formulación y la utilizada comúnmente.....	115
XXI.	Comparación de costos relacionados a materia prima en la formulación testigo y la formulación 2646	116
XXII.	Comparación de costos relacionados a materia prima en la formulación 2844 y la formulación 2545.....	117
XXIII.	Comparación de costos relacionados a materia prima en la formulación 2051 la formulación 2447.....	117
XXIV.	Resultados obtenidos de la prueba del colorímetro con el método <i>HunterLab</i> para las diferentes muestras de producto terminado.....	118
XXV.	Análisis de varianza para el punto de fusión de las diferentes formulaciones realizadas	119

XXVI.	Prueba de <i>Dunnett</i> para la comparación de los puntos de fusión de las formulaciones realizadas a nivel laboratorio con el estándar	119
XXVII.	Análisis de varianza para la viscosidad de las diferentes formulaciones realizadas	120
XXVIII.	Prueba de <i>Dunnett</i> para la comparación de la viscosidad de las formulaciones realizadas a nivel laboratorio con el estándar	121
XXIX.	Análisis de varianza para la viscosidad de las diferentes formulaciones realizadas.....	122
XXX.	Prueba de <i>Dunnett</i> para la comparación de los puntos de fusión de la nueva formulación con el estándar	122
XXXI.	Análisis de varianza para la viscosidad de las diferentes formulaciones realizadas	123
XXXII.	Prueba de <i>Dunnett</i> para la comparación de la viscosidad de la nueva formulación con el estándar	124
XXXIII.	Prueba t de <i>student</i> para el análisis sensorial entre la nueva formulación y la estándar.....	124

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cP	CentiPoises
ρ	Densidad en g/mL o g/cm ³
σ	Desviación estándar
ϵ_{ijk}	Error experimental
°C	Grados Celsius
G	Gramos
Hz	<i>Hertz</i>
H _i	Hipótesis alternativa
H _o	Hipótesis nula
kg	Kilogramos
l	Libras
t	Parámetro T de <i>student</i>

%	Porcentaje
Hp	Potencia en <i>horse-power</i>
Rf	Recorrido de frente
RPM	Revoluciones por minuto
F	Significancia
T	Temperatura

GLOSARIO

Alcalinizado	Tratamiento aplicado durante la confección de cacao en polvo para proporcionar a las partículas mejores propiedades de suspensión para su utilización en bebidas (se conoce corrientemente como Proceso holandés).
Almendra de cacao	Semilla de cacao desprovista de la cáscara.
Amorfo	Que no tiene forma cristalina perceptible.
Atemperadora	Máquina de enfriar/calentar chocolate para que se formen cristales estables de agua.
Aventado	Separación de material ligero de otro más denso mediante el soplado de aire. En el caso del cacao, la cáscara es arrastrada por la corriente dejando la almendra de cacao que se recoge separadamente.

Baño	Máquina para recubrir con chocolate centros de dulce, vertiendo encima chocolate fundido.
Cacao en polvo	Almendra de cacao desprovista de parte de la grasa y reducida a polvo.
Cáscara	Cubierta que rodea a la almendra.
Cobertura	Utilización legal, normalmente chocolate de alta calidad rico en grasa, (más de 31% de manteca de cacao). En el Reino Unido se utiliza corrientemente para el chocolate de bañar galletas, que suele contener otras grasas.
Concha	Máquina en la que se mantiene el chocolate en agitación para desarrollar el sabor y el licuado.
Conchado	Término utilizado en confitería. Operación unitaria en la cual se coloca la formulación del chocolate en una concha, para su constante agitación y calentamiento, usualmente de 24 a 48 horas, esto con el fin de desarrollar las formas moleculares estables del sabor.

Crumb	Material intermedio en la fabricación del chocolate con leche, compuesto por leche desecada, azúcar y pasta de cacao.
Eflorescencia	Grasa o azúcar sobre la superficie de la pieza de chocolate que produce un velo blanco o, a veces, lunares blancos aislados.
Equivalentes de la manteca de cacao	Grasas vegetales compatibles al 100% con la manteca de cacao por lo que se pueden mezclar en cualquier proporción
Fermentación	Proceso por el cual las habas de cacao tratadas sufren un cambio químico por acción enzimática. Usualmente implica separar las habas de los frutos y colocarlas en montones cubiertos durante tiempo prolongado.
Lecitina	Compuesto orgánico similar a las grasas y cuyas moléculas contienen nitrógeno y fósforo. Se utiliza en el chocolate como agente tensoactivo para mejorar las propiedades de fluición.
Licor de chocolate	Sinónimo de pasta de cacao.

Licor de cacao	Otro nombre de la pasta de cacao.
Lípido	Término genérico de los aceites, grasas u ceras.
Líquido No-Newtoniano	Líquido cuya viscosidad varía según la intensidad de agitación.
Manteca de cacao	Grasa extraída del interior de las semillas de cacao.
Pasta de cacao	Almendra de cacao finamente triturada y líquida por encima de 35° C (95 ° F).
Polimorfismo	Presencia de la misma sustancia en más de dos formas cristalinas diferentes.
Refinador	Molino de rodillos, suelen tener cinco rodillos, utilizados para moler los ingredientes sólidos del chocolate.
Sustitutivos de la manteca de cacao	Grasas vegetales que se pueden mezclar con la manteca de cacao, pero en proporciones limitadas.

RESUMEN

El objetivo principal del presente estudio consiste en evaluar la ingeniería que tienen las operaciones unitarias de tostado, limpieza, refinado, conchado, secado, quebrado, descascarillado y los procedimientos fisicoquímicos en la producción de chocolate en barra para su reformulación y mejoras de la calidad en una industria alimenticia, para ello se realizó un análisis de las materias primas utilizadas en el proceso y las variables del mismo. Además se generaron cinco nuevas formulaciones a nivel laboratorio de las cuales se eligió la que poseía mejor punto de fusión y viscosidad para realizarla a nivel industrial y comparar dichos parámetros con la formulación realizada habitualmente.

Al realizar el análisis de las variables utilizadas en las operaciones unitarias del proceso, éstas se encontraban dentro de los parámetros requeridos, a excepción del tiempo de permanencia del haba de cacao en el descascarillador y la carga utilizada en el tostador, los cuales deben encontrarse en un valor de 11,3 minutos y una capacidad de 26% respectivamente.

Al realizar el análisis estadístico, se determinó que existe diferencia significativa entre cada una de las formulaciones realizadas a nivel laboratorio. La formulación 2051 presentó la mejor viscosidad y punto de fusión por lo que la misma fue trasladada al proceso industrial. Al realizar un análisis de *Dunnnett*, la nueva formulación presentó una viscosidad de 2 009,48 cPy un punto de fusión de $33,18^{\circ}\text{C} \pm 0,74$, los cuales son los parámetros más cercanos a los requeridos. Además se realizó un análisis sensorial y según la prueba de T de *student* realizada la nueva formulación presenta mejores características organolépticas.

OBJETIVOS

General

Evaluar la ingeniería de las operaciones unitarias de tostado, limpieza, refino, conchado, secado, quebrado, descascarillado y los procesos fisicoquímicos involucrados en la producción de chocolate para su reformulación y mejoras de la calidad en el producto terminado.

Específicos

1. Realizar análisis fisicoquímicos de la materia prima para la determinación de su calidad y la estandarización de sus variables.
2. Comparar las variables de trabajo de las operaciones unitarias de tostado, limpieza, refino, conchado, secado, quebrado, descascarillado involucradas en el proceso de producción del chocolate actual con lo recomendado por la bibliografía.
3. Reformular la composición actual del chocolate en barra, tomando en cuenta las propiedades fisicoquímicas y organolépticas.
4. Evaluar las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de la nueva formulación de chocolate en barra para realizar una comparación tanto cualitativa como cuantitativa entre la nueva formulación y la anterior.

HIPÓTESIS

La calidad, propiedades fisicoquímicas y organolépticas del chocolate en barra, pueden ser mejoradas de una manera estadísticamente significativa, a un nivel de significancia del 0,05, utilizando la misma materia prima y únicamente variando las proporciones y variables del proceso productivo.

Hipótesis estadística

Ho: existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de cada una de las formulaciones realizadas para el chocolate en barra.

$$\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq 0$$

Hi: no existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de cada una de las formulaciones realizadas para el chocolate en barra.

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = 0$$

INTRODUCCIÓN

La elaboración de chocolate a nivel industrial requiere una gran cantidad de controles, en cada una de sus operaciones, para el desarrollo correcto del producto final, además se debe contar con formulaciones que permitan una estabilidad de la mezcla y un sabor placentero al paladar. Es por estas razones, que se hace necesaria una constante evaluación del proceso y de las formulaciones utilizadas para el mismo.

El consumo de chocolate en Guatemala, se ha incrementado en los últimos años, especialmente en las presentaciones de chocolate de leche y chocolate de taza, esto aumenta las exigencias de los consumidores en el mercado en cuanto a sabor, presentación y calidad. El reacondicionamiento de algunas variables de proceso, así como la reformulación de una presentación de chocolate de leche, permitirá aumentar la calidad del producto terminado, siendo éstas las principales razones por las que surge la necesidad de la presente investigación.

El objetivo principal de este estudio, es evaluar un proceso productivo de elaboración de chocolate en barra, incluyendo la formulación actual y las materias primas utilizadas, mediante evaluaciones fisicoquímicas de humedad, viscosidad, punto de fusión, granulometría y acidez. Esto con el fin de poder establecer, las variables que se encuentran fuera del rango recomendado por la bibliografía y generar una formulación, con la que se mejoren las propiedades organolépticas y fisicoquímicas del producto terminado.

1. ANTECEDENTES

El chocolate es un producto que representa en gran medida a la civilización maya. Hace más de 2 500 años los mayas preparaban la bebida de chocolate a partir de semillas de cacao. Hay evidencia que sugiere que aún antes, los olmecas de la costa del golfo de México habían descubierto el complejo proceso por medio del cual deben procesarse las semillas de cacao para hacer chocolate.

En el siglo XVIII, el botánico sueco *Carl von Linné* denominó *Theobroma Cacao* (*Theobroma* es la palabra griega para comida de los dioses, y cacao, de la palabra usada en toda Mesoamérica para el chocolate) al árbol de donde se obtienen las semillas.

El cacao sólo puede crecer en las tierras bajas tropicales, donde no llegan las heladas. En tiempos precolombinos, el cacao más fino venía del Soconusco, planicie costera de Chiapas y Guatemala. Cuando los aztecas establecieron su imperio, desarrollaron un gusto por el chocolate, que no podían cultivar en el altiplano, así que enviaron sus ejércitos a conquistar el Soconusco, pero el chocolate se cultivaba a todo lo largo de las tierras bajas mayas, incluyendo Petén y Yucatán.

Entre los mayas y aztecas, el chocolate era una bebida prestigiosa, de élite, reservada a la realeza, la nobleza, los mercaderes de larga distancia, y los guerreros de alto rango.

Hacia el año 450 DC, los mayas empezaron a colocar vasos magníficos, llenos de bebidas de chocolate, en las tumbas de los reyes. Estos vasos presentan textos jeroglíficos en los cuales se describe el sabor particular del chocolate servido. Además de su función como ofrendas funerarias, el chocolate servía como moneda en la antigua Mesoamérica.

Hay muchos mitos sobre la transmisión del chocolate al Viejo Mundo después de 1492, pero la mayoría son erróneos. Ni Cristóbal Colón, ni Hernán Cortés tuvieron nada que ver con ello. Más bien, fueron los miembros de una delegación de nobles mayas kekchíes de Alta Verapaz quienes introdujeron la bebida en la corte española. Los españoles y otros europeos no la consumieron, hasta que la endulzaron fuertemente con azúcar, que habían traído desde el Mediterráneo a Mesoamérica.

Hasta principios del siglo XIX, tanto en el Viejo como en el Nuevo Mundo, el chocolate fue una bebida de élite, demasiado cara para que la disfrutara la gente común, y frecuentemente prohibida para ella. El método para extraer la manteca de la pasta del cacao, inventado por un holandés, condujo a la transformación del chocolate, de una bebida a un producto sólido, que podía ser disfrutada por las masas. El chocolate se convirtió en un gran negocio, y el cultivo del árbol del cacao se difundió a través del globo.

A inicios del siglo XX la industria del chocolate es instalada en los países centroamericanos, debido al fácil acceso de materia prima en la región, por lo que el consumo de dichos productos creció de manera significativa, haciendo de esta industria un negocio bastante rentable.

En Guatemala el cacao se produce comercialmente en las regiones norte y en el sur occidente del país. Según el Programa Nacional de Competitividad -

PRONACOM-, se registran 9172 fincas cultivadas con cacao, con superficie total de 2 693 hectáreas. Los altos precios pagados, por el grano de cacao en el mercado internacional, en los últimos ocho años, han motivado a los gobiernos, productores, ONG´s y otros actores, a la reactivación del sector cacaotero de Guatemala.

En el 2004, Mynor Carcamo y Edgar González realizaron una investigación en el Centro Universitario de Mazatenango, Suchitepéquez denominada: determinación de temperatura óptima para caramelizar chocolate oscuro de cobertura, como factor incidente en las propiedades sensoriales, evaluando la caramelización del chocolate y su calidad en función de la temperatura. Realizando la prueba con 5 diferentes formulaciones de chocolate se concluyó que las propiedades organolépticas del chocolate amargo de cobertura procesado a 82° Celsius, se alcanzan en una manera óptima y que las características físicas son muy similares a la muestra patrón.

En el 2005, María de los Ángeles García De León, realizó su ejercicio profesional supervisado con el tema Elaboración de una propuesta de plan maestro HACCP en la línea de proceso de chocolate con leche en el Centro Universitario del Suroccidente, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

De dicho ejercicio profesional supervisado, se concluyó que los principales puntos críticos de control, determinados en el proceso de fabricación del chocolate con leche, se encuentran localizados en las fases; recepción de materia prima y moldeado.

Además, en el estudio referido se determinaron los equipos a utilizar para el control en los puntos críticos de control (por ejemplo: detector de metales), la

estandarización de las variables aceptadas del proceso y los peligros recurrentes en la planta de producción.

En el 2007 Claudia Arriaga realiza en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia su trabajo de graduación titulado Contenido de ácidos grasos de la manteca proveniente de mezclas, en distintas fracciones, de semillas de *Theobroma cacao* y *Theobroma bicolor* y su uso en la manufactura de chocolate. Dicho trabajo investigativo analizó principalmente ciertos aspectos de la composición química de distintas mezclas de semillas de las especies T, bicolor y T. cacao, así como la determinación del contenido de ácidos grasos de dichas mezclas de semillas mediante el uso de la técnica cromatografía de gases. Fueron realizadas 5 mezclas, utilizando en cada una proporciones distintas de las semillas de las especies mencionadas.

En dicho estudio, el análisis de contenido de cenizas, mostró una tendencia a aumentar, mientras se incrementaba en las mezclas de semillas, el porcentaje de T.bicolor. Obteniéndose para la mezcla 100% T. cacao un valor de 3,01% y para la mezcla 100% T. bicolor, 3,88%. Otro parámetro que reportó el mismo tipo de tendencia, fue el de proteína cruda, pues el contenido de proteína cruda, aumentó en la medida que hubo un porcentaje mayor de T. bicolor presente en las muestras. Para la mezcla 100% T.bicolor se obtuvo 20,38% y en el caso de la mezcla 100% T. cacao fue de 14,57%.

Para el contenido graso, se encontró un comportamiento inverso al explicado en el contenido de cenizas y proteína cruda, pues existió un incremento en el contenido graso, a medida que aumentó el porcentaje de T, cacao en las muestras. Encontrándose un valor mínimo de 40,91% para la mezcla de 100% T. bicolor y un valor máximo de 50,88% para la mezcla de 100% T.cacao.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Cacao

2.1.1. Descripción botánica

El árbol del cacao pertenece al género *Theobroma Cacao*, orden *Filiales* y familia *Sterculáceas*. El árbol presenta hojas sencillas, pecioladas, enteras, coriáceas, frágiles y brillantes. Las flores, que nacen en el tallo y en las ramas más viejas (lo que se denomina caulifloria) y que brotan a los tres o cuatro años. El fruto es una baya o mazorca ovoidea, grande y aguda hacia el ápice, de unos veinticinco a treinta centímetros, de largo y de diez a quince de grueso, las semillas son ovoides, blancas y pardas cuando están secas; la almendra es de unos dos centímetros, de sabor muy amargo. Cada mazorca contiene de veintiséis a treinta granos.

2.1.2. Habitat y cultivo

Las condiciones más propicias para el cultivo del *Theobroma cacao L.* se encuentran confinadas a las áreas de los bosques húmedos tropicales, concentrándose su producción en una banda estrecha no mayor de 20° al norte y al sur de la línea ecuatorial.

La temperatura debe mantenerse entre 21° C y 32° C y para tener una buena producción de cacao, se requiere una precipitación anual entre 1,150 y 2,500 mm. Además, los vientos no deben ser fuertes, ni constantes, porque pueden romper ramas y dañar la planta.

2.1.3. Agricultura

La planta de cacao inicia su producción aproximadamente a partir del tercero al quinto año de sembrado (dependiendo de la variedad), alcanzando el máximo rendimiento entre el octavo y el décimo año. Sin embargo, el cacaotero es productivo hasta los cuarenta y cinco años de edad, más aún si se emplea un manejo agronómico adecuado. Generalmente, se llevan a cabo dos cosechas en un año: la cosecha principal y la cosecha intermedia, siendo esta última, menor que la cosecha principal. Sin embargo, el tamaño relativo varía de acuerdo con el país.

Se requiere de cinco a seis meses entre la fertilización y la cosecha; esta última dura alrededor de cinco meses. La cosecha del cacao consiste en cortar los frutos maduros de los árboles, abrir las mazorcas y extraer las semillas de los frutos. El cacao es un cultivo exigente en mano de obra, especialmente en las épocas de cosecha y el procesamiento pos cosecha (fermentación y secado).

2.1.4. Clasificación botánica del cacao

Desde el punto de vista botánico o genético, la especie *Theobroma cacao L.* puede clasificarse como: criollo, forastero y trinitario.

2.1.4.1. Cacao criollo

Corresponde a una planta de poco vigor y bajo rendimiento, destacándose la alta calidad de sus semillas. Este tipo de cacao posee un cotiledón de color entre marfil pardusco y castaño muy claro, con un olor de cacao dulce unido a

un aroma delicado característico. Ejemplos de cacao Criollo son algunos tipos de cacao cultivados en Venezuela, en el Caribe y Nueva Guinea Papúa.

2.1.4.2. Cacao trinitario

Es más resistente y productivo que el cacao Criollo, pero de inferior calidad. Es el resultado del cruce entre el cacao Forastero y el Criollo. Es producido en Granada, Jamaica, Trinidad y Tobago, Colombia, Venezuela y América Central, ésta es la variedad que cultiva principalmente Guatemala.

2.1.4.3. Cacao forastero

Esta especie, se caracteriza por ser de mayor tolerancia a las enfermedades, que el cacao Criollo. Representa aproximadamente un 95% de la producción mundial, proveniente de los países de África Occidental y Brasil.

2.1.5. Clasificación comercial del cacao

Desde el punto de vista comercial e industrial, en el mercado mundial, generalmente se clasifican los granos de cacao en dos categorías.

2.1.5.1. Cacao ordinario

Son los granos producidos por los cacaos tipo Forastero; estos son utilizados en la fabricación de manteca de cacao y de productos que tengan una elevada proporción de chocolate.¹

2.1.5.2. Cacao fino o de aroma

En términos generales, los granos de cacaos Criollos y Trinitarios, corresponden a lo que en el mercado mundial se conoce como cacao fino o de aroma. Éste es utilizado usualmente en mezclas con granos ordinarios o Forastero, para producir sabores específicos en los productos terminados. Los granos correspondientes a esta categoría, dan características específicas de aroma o color en chocolates finos de revestimientos o capas de cobertura. También se usan (aunque cada vez menos) para producir cacao en polvo, que se emplea como aroma en algunas recetas y en la preparación de algunos alimentos y bebidas.

La oferta mundial de cacao fino o de aroma es relativamente reducida y representa aproximadamente el 5% del cacao producido en el mundo.

Figura 1. **Vainas de cacao sin cortar**



Fuente: www.educared.net. Consulta en 10/08/10.

2.1.6. Composición química

Tabla I. Composición química según el tipo de grano de cacao

Variables	TIPOS DE GRANOS		
	Criollo (%)	Forastero (%)	Trinitario (%)
Humedad	36,36	36,87	35,86
pH	6,39	6,36	6,35
Azúcares tot.	8,05	8,07	7,62
Proteínas	13,88	13,59	13,97
Cenizas	3,67	3,59	3,63
Grasas	50,99	49,52	52,24

Fuente: BECKETT, S.T. Fabricación y utilización industrial del chocolate. p. 25.

2.1.7. Clasificación científica

Tabla II. Clasificación científica del cacao

Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Tracheobionta</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase	<i>Dilleniidae</i>
Orden	<i>Malvales</i>
Familia	<i>Malvaceae</i>
Subfamilia	<i>Byttnerioideae</i>
Género	<i>Theobroma</i>
Especie	<i>T. cacao</i>

Fuente: BECKETT, S.T. Fabricación y utilización industrial del chocolate. p. 25.

2.2. Chocolate

El chocolate es el alimento que se obtiene mezclando azúcar con dos productos derivados de la manipulación de las semillas del cacao: una materia sólida (*la pasta de cacao*) y una materia grasa (*la manteca de cacao*). A partir de esta combinación básica, se elaboran los distintos tipos de chocolate, que dependen de la proporción entre estos elementos y de su mezcla o no con otros productos tales como leche y frutos secos.

2.2.1. Tipos de chocolate

2.2.1.1. Chocolate negro

Es el chocolate propiamente dicho, es el resultado de la mezcla de la pasta y manteca del cacao con azúcar, sin el añadido de ningún otro producto (exceptuando el aromatizante y el emulsionante). Las proporciones con que se elabora, dependen del fabricante. No obstante, se entiende que un chocolate negro, debe presentar una proporción de pasta de cacao superior, aproximadamente, al 50% del producto, es a partir de esa cantidad, cuando el amargor del cacao, empieza a ser perceptible. En cualquier caso, existen en el mercado tabletas de chocolate negro, con distintas proporciones de cacao, llegando incluso hasta el 99%.

2.2.1.2. Chocolate de cobertura

Es el chocolate que utilizan los chocolateros y los pasteleros como materia prima.

El chocolate de cobertura puede ser *negro* o *con leche*, pero en todo caso, se trata de un chocolate con una proporción de manteca de cacao de

alrededor del 30%, lo que supone el doble, que en los otros tipos de chocolate. La cobertura se usa para conseguir un alto brillo al templar el chocolate y porque se funde fácilmente y es muy moldeable.

2.2.1.3. Chocolate a la taza

Es el chocolate negro (normalmente, con una proporción de cacao inferior al 50%), al que se le ha añadido una pequeña cantidad de fécula (normalmente, harina de maíz) para que a la hora de cocerlo, aumente su viscosidad. Suele disolverse en leche. Hoy en día, es posible encontrar también este chocolate, en los comercios en forma ya líquida.²

2.2.1.4. Chocolate de leche

Es el derivado del cacao más popular. Se trata, básicamente, de un dulce, por lo que la proporción de pasta de cacao suele estar por debajo del 30%. Buena parte de las más importantes marcas de chocolate producen tabletas de chocolate con leche con proporciones de cacao inusuales, incluso arriba del 50%.

2.2.1.5. Chocolate blanco

Estrictamente, no se trata de chocolate como tal, pues carece en su composición, de la pasta de cacao, que es la materia que aporta las propiedades del cacao. Se elabora con manteca de cacao (por lo menos, el 20%), leche (en polvo o condensada) y azúcar.

Es un producto extremadamente energético y dulce (no posee regusto amargo). Visualmente muy atractivo, es un elemento decorativo muy usado en la repostería.

2.2.1.6. Chocolate relleno

Como indica la expresión, es una cubierta de chocolate (en cualquiera de sus variantes y con un peso superior al 25% del total) que recubre frutos secos (avellanas, almendras) licores, frutas, etc., así como galletas tipo *waffer*.

El chocolate que se analizará en el presente estudio es el chocolate de leche en barra o tableta.

Figura 2. **Diferentes chocolates en tableta**



Fuente: www.chocolat.net. Consulta en 10/08/2011.

2.3. Operaciones unitarias

Un método para organizar la materia de estudio, que abarca la ingeniería química, se basa en dos hechos: 1) Aunque el número de procesos individuales es grande, cada uno puede ser fragmentado, en una serie de etapas, denominadas operaciones, que se repiten a lo largo de los diferentes procesos;

2) Las operaciones individuales, tienen técnicas comunes y se basan en los mismos principios científicos.

El concepto de operación unitaria es el siguiente: mediante el estudio sistemático de estas operaciones en sí mismos - operaciones que evidentemente constituyen la trama de la industria y las líneas de producción – se unifica y simplifica el tratamiento de todos los procesos.

Las operaciones unitarias, se utilizan ampliamente, para realizar las etapas físicas fundamentales, de la preparación de reactantes, separación y purificación de productos, recirculación de los reactantes no convertidos, y para controlar la transferencia de energía hacia o desde el reactor químico.

Para el proceso de la producción de chocolate en barra, se aplican las siguientes operaciones unitarias: transporte de sólidos, limpieza de grano, tueste, reducción del tamaño de partículas, refinación, mezclado, molturación, conchado, atemperado y secado.

2.4. Materias primas

Se define como materia prima, todos los elementos que se incluyen en la elaboración de un producto. La materia prima, es todo aquel elemento, que se transforma e incorpora en un producto final. Un producto terminado tiene incluido una serie de elementos y subproductos, que mediante un proceso de transformación permitieron la confección del producto final.

La materia prima es utilizada principalmente en las empresas industriales que son las que fabrican un producto. Las empresas comerciales manejan

mercancías, son las encargadas de comercializar los productos que las empresas industriales fabrican.

La materia prima debe ser perfectamente identificable y medibles, para poder determinar tanto, el costo final de producto, como su composición.

2.4.1. Habas de cacao

2.4.1.1. Variedades botánicas

Hay dos tipos diferentes de cacao: el Forastero, que tiene los cotiledones de color púrpura, y el Criollo, que tiene cotiledones blancos. El color procede de las antocianinas, grupo de sustancias químicas que confieren la mayor parte de los colores azules y rojos a las flores. Estos pigmentos de los cotiledones, están confinados en células especiales pigmentarias, que constituyen el 10% de las células de almacenamiento. En el cacao Criollo, las antocianinas coloreadas están reemplazadas por formas leuco.

En la actualidad, una proporción muy elevada de la cosecha mundial de cacao, es Forastero y es difícil de conseguir el cacao Criollo puro. Hay un tercer tipo, generalmente descrito por Trinitario, que tiene dentro del mismo fruto, semillas con los cotiledones que, abarcan desde el color casi blanco, al totalmente púrpura. Parece ser que el cacao Trinitario se originó por hibridación entre los cacaos Forasteros y Criollo. En Guatemala se cosecha el cacao Trinitario y en menor proporción el Forastero.

2.4.1.2. Preparación de las habas de cacao

Las mazorcas de cacao se recogen, una vez maduras, cortando pedúnculo leñoso. Para liberar las semillas, se abren las mazorcas de pared gruesa, bien cortando con cuchillo o cascándolas con un simple mazo de madera. La cosecha no madura toda al mismo tiempo, por lo que la recolección se ha de realizar en un período generalmente de varios meses.

Cada mazorca de cacao contiene unas 30-40 semillas. El contenido de humedad, de las habas del fruto maduro, está en la región de 65% y están embebidas en una pulpa azucarada y mucilaginosas.

2.4.1.2.1. Fermentación

La fermentación se lleva a cabo de diversas formas, pero todas dependen de apilar, una cantidad de habas frescas, con la pulpa suficiente para que los microorganismos produzcan calor, elevando la temperatura a la vez que se permite un limitado acceso al aire entre las habas. Ésta se realiza en cajas, con las habas cubiertas con hojas de plátano o con agitación.

Las cajas deben estar preparadas para que la pulpa licuada, la sudoración, drene y para que pueda penetrar algo de aire, bien por medio de pequeños orificios en el fondo de la caja, o preferiblemente a través de un suelo de tablillas separadas (0,006m). Los montones pueden ser útiles para fermentar entre 200 hasta 3000 libras (90 – 1100 kg) de habas de cacao húmedas, aunque son de desear cantidades intermedias.

La fermentación se inicia con las levaduras, que convierten las azúcares de la pulpa en alcohol etílico y puede durar, desde cinco hasta seis días, en el

cacao Forastero. Se producen así, las condiciones iniciales anaerobias, pero luego las bacterias empiezan a oxidar el alcohol a ácido acético, y posteriormente a dióxido de carbono y agua produciendo más calor y la consiguiente elevación de la temperatura, en más de 18° F (10° C) durante las primeras 24 horas, hasta más de 104° F (40°C) en una buena fermentación activa.

Cuando la pulpa empieza a degradarse y drenarse, durante el segundo día, las bacterias van en aumento, se produce ácido láctico y las bacterias acéticas quedan en condiciones ligeramente más anaerobias, oxidando más activamente el alcohol a ácido acético. Para entonces la temperatura habrá alcanzado casi 122° F (50°C).

Las alteraciones químicas en el interior del haba de cacao, dependen de la muerte de las células del cotiledón, entonces las membranas celulares se degradan y permiten que se pongan en contacto los diferentes constituyentes, que estaban separados en el tejido vivo.

2.4.1.2.2. Desecación

Terminada la fermentación, se sacan las habas de la caja o se trasladan los montones para su desecación, entonces se encuentran éstas razonablemente libres de pulpa adherente, pero tienen todavía, cierto contenido de humedad y están algo blandas.

En los lugares en que el clima es relativamente seco en el momento de la recolección, se suelen secar las habas esparciéndolas durante el día en capas de unas cuantas pulgadas de espesor, sobre bandejas o camillas que se exponen al sol.

Generalmente el proceso se tarda aproximadamente una semana de tiempo soleado para secar a menos de 7%, el contenido de humedad necesario, para impedir que crezcan mohos, durante el almacenamiento.

2.4.2. Azúcar

El azúcar es el sacárido cristalizado, de sabor dulce, que se extrae de la caña de azúcar o de la remolacha azucarera. Tanto la remolacha como la caña, producen una misma sustancia, que es natural y que químicamente se denomina sacarosa. El azúcar es un disacárido, compuesto por los monosacáridos glucosa y fructosa enlazados químicamente.

Esta unión, no obstante, se puede deshacer hidrolíticamente por los ácidos o por el enzima invertasa (β -D-fructofuranosidasa).

La mezcla resultante, que se compone de glucosa y fructosa a partes iguales, se llama azúcar invertido.

Existen otros muchos azúcares, como los monosacáridos glucosa (dextrosa) y la fructosa, el disacárido lactosa, así como los alcoholes azúcares, como por ejemplo, el sorbitol y el xylitol. Sin embargo, para la producción de chocolate, el tipo de azúcar más importante es la sacarosa.

2.4.2.1. Calidades de azúcar

La industria azucarera suministra gran variedad de azúcares cristalizados y líquidos. El azúcar cristalizado se clasifica según su pureza y tamaño de cristal.

La pureza de todos los tipos de azúcar cristalizado blanco, es muy buena; generalmente, el contenido de sacarosa es mayor de 99,9% y sólo raras veces baja de 99,7%. Las diferencias de calidad proceden de pequeñísimas cantidades de sustancias no azucaradas, que están presentes, fundamentalmente en la capa de jarabe que rodea a los cristales de azúcar.

El azúcar blanco cristalizado, debe fluir libremente y tener los cristales de tamaño uniforme. No hay estipulaciones legales referentes al tamaño del grano o de partícula. No obstante, se puede realizar por tamizado la siguiente graduación, que es más o menos aceptada por regla general.

Tabla III. **Diferentes calidades de azúcar según su tamaño de grano**

Azúcar grueso	1,0 – 2,5 mm de tamaño de grano (0,04-0,1 pulgadas)
Azúcar medio fino	0,6 – 1,0 mm de tamaño de grano (0,02 – 0,04 pulgadas)
Azúcar fino	0,1 – 0,6mm de tamaño de grano (0,004 – 0,002 pulgadas)
Azúcar de glasear	0,005 – 0,1 mm de tamaño de grano ($0,2 \cdot 10^{-3}$ – 0,004 pulgadas)

Fuente: BECKETT, S.T. Fabricación y utilización industrial del chocolate.p. 53.

La fabricación de la pasta de chocolate, está basada predominantemente, en la utilización de azúcar de finura media, con la cantidad inevitable de grano fino $\leq 0,2$ mm (0,008 pulgadas), sin exceder el 2%.

2.4.3. Leche

El chocolate con leche se ha popularizado gracias a su particular mezcla de sabores de cacao y leche. Hoy día, el consumo de chocolate con leche supera con mucho, al de las variedades oscuras.

Figura 3. **Azúcar refinada**



Fuente: www.tucocinaytu.com. Consulta en 12/08/10.

Debido a los avances recientes, se pueden obtener ingredientes lácteos, con una serie muy amplia de composiciones. Se incluyen aquí los polvos especiales obtenidos de leche completa, descremada y suero y también varios componentes y mezclas de aquéllos, incluyendo proteínas de suero y leche. Se puede disponer ahora de una amplia gama de leches en polvo y grasas de leche, con propiedades y composiciones específicas.

2.4.3.1. Ingredientes lácteos

En la fabricación del chocolate se ha utilizado tradicionalmente leche completa en polvo, leche descremada en polvo y crema de leche en polvo, producido por diferentes técnicas.

El chocolate con leche ha de contener, entre 14 y 20% de sólidos totales de leche derivados de leche completa, parcialmente desnatada o desnatada totalmente y de grasa de leche.

En la actualidad, la leche completa en polvo, es el producto lácteo más utilizado en la producción de chocolate, en el continente americano.

Mediante la selección de los ingredientes correctos y métodos de transformación, es posible obtener un producto que tenga las mejores propiedades físicas y de transformación para la utilización para la que se va a destinar. La producción de chocolate con leche, constituye un buen ejemplo, ya que se mezclan, el cacao y los ingredientes lácteos fabricados a propósito, para conseguir un producto de calidad.

2.4.3.2. La leche en polvo en la producción de chocolate

Es importante que se utilice, para la producción de chocolate, únicamente polvo obtenido de leche de alta calidad. El proceso de fabricación del polvo, es el factor determinante de la idoneidad para el chocolate con leche. Sigue los pasos siguientes: precalentamiento, concentración y desecación.

2.4.3.3. Leche y chocolate *crumb*

Los llamados leche y chocolate *crumb*, son productos especiales utilizados en la fabricación del chocolate con leche. El *crumb* se fabrica con leche y azúcar, con o sin adición de pasta de cacao. La adición de pasta de cacao estabiliza el “*crumb*” en contra del enranciamiento oxidativo.

La parte esencial del proceso de formación de *crumb*, es la reacción de *Maillard*, la cual tiene lugar cuando se calientan en presencia de azúcares y de agua, las proteínas (leche). Las sustancias organolépticamente activas engendradas, añaden el sabor típico al producto final.

Los principales factores determinantes del desarrollo de sabor son:

- Contenido de grupos amino y azúcares reductores (lactosa)
- Contenido óptimo de humedad
- Relación temperatura/tiempo
- Nivel óptimo de pH, entre los límites de 5,5 a 7,5

Los dos métodos de fabricación de *crumb*, seguidos hoy día son: el método a vacío y el método atmosférico.

Figura 4. **Leche en polvo**



Fuente: www.tucocinaytu.com. Consulta en 12/08/10.

2.4.4. Agentes emulsificantes

También llamados emulsionantes, emulsivos o emulgentes, estabilizan las mezclas de los líquidos inmiscibles, como las emulsiones. Una emulsión, se define como una suspensión o dispersión, de un líquido en otro, siendo las moléculas de los dos líquidos, inmiscibles, o mutuamente antagónicas.

2.4.4.1. Fases de una emulsión

Una emulsión tiene tres fases. Una, la fase dispersa, consiste de gotitas suspendidas. En los alimentos generalmente éstas son de aceite, aunque no siempre. La segunda fase es la fase continua (también conocida como el “medio de las dispersiones”). En los alimentos, ésta es generalmente el agua. Si se mezclan agua y aceite, ambos se separan inmediatamente, con una línea divisoria bien definida.

Para mantener las gotitas de un líquido suspendidas en otro, en el cual no se puede mezclar, se requiere de una tercera sustancia, cuyas moléculas tengan cierta afinidad por ambos líquidos. La afinidad debe ser parcial y desigual. Dicha sustancia se denomina emulsificante. Los emulsificantes pertenecen a un grupo de compuestos denominados surfactantes.

2.4.2.2. Funciones de un emulsificante

Un emulsificante ayuda en la formación de una emulsión al (1) disminuir la tensión superficial de un líquido más que la de otro, y (2), evitar la coalescencia de las gotas del otro líquido.

El líquido con menor tensión superficial, se esparce más fácilmente y forma la fase continua. Al mismo tiempo, las moléculas del emulsificante se deben acumular en la interface aceite/ agua, para evitar la coalescencia de la fase dispersa.

Los emulsionantes son agentes anfifílicos (del griego *amphi* de ambos lados) constituidos por dos fracciones diferentes: una parte hidrófila que se solubiliza en agua, y otra hidrófoba o lipófila, que lo hace mejor en los lípidos.

La eficacia de los emulsionantes está ligada a su solubilidad en cada fase, y para ejercer una mejor acción, debe ser más soluble en la fase continua; por ejemplo, una emulsión de aceite en agua requiere un emulsionante más hidrosoluble. Sin embargo, esta regla se modifica por efecto de la temperatura; entonces, si un emulsionante se solubiliza fácilmente en agua fría, es probable que al aumentar la temperatura lo haga mejor en los lípidos.

2.4.4.3. Agentes emulsificantes naturales

Los emulsificantes naturales, incluyen los fosfolípidos, lecitina (fosfatidil colina), y fosfatidiletanolamina.

Los fosfolípidos son derivados de la grasa, en la cual, en lugar de un ácido graso, se esterifica el ácido fosfórico con glicerol en uno de los átomos de carbono terminales. Los radicales de los ácidos grasos particulares unidos a los otros dos átomos de carbono del glicerol, dependen de la fuente del fosfolípido.

Generalmente, uno de los dos ácidos grasos se encuentra insaturado. Unida a la molécula del fosfolípido, en uno de los grupos hidroxilos del residuo del ácido fosfórico, se encuentra la colina, que da lugar a la lecitina, o etanolamina, o serina, las cuales dan lugar a la fosfatiletanolamina o fosfatilserina, denominados estos dos últimos fosfolípidos, cefalinas.

2.4.4.3.1. Lecitina

La lecitina desempeña un papel muy importante, en las propiedades de textura de los alimentos, actúa como emulsionante, debido a que su molécula contiene una parte hidrófoba y otra hidrófila. El grupo fosfato y la base nitrogenada, interaccionan con la fase acuosa, mientras que las cadenas hidrocarbonadas, lo hacen con la lípida, con lo cual se logra un contacto físico más estrecho entre las dos fases inmiscibles.

Comercialmente, la lecitina se obtiene, como subproductos de la refinación de aceite de soya y es en realidad, una mezcla de aceite con diversos fosfátidos; como se observa en la tabla siguiente:

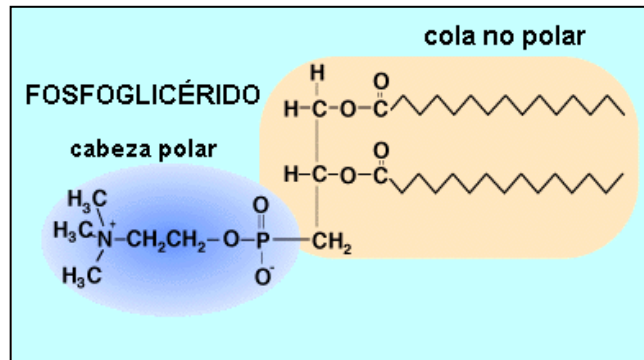
Tabla IV. **Composición aproximada de la lecitina comercial de soya**

Fracción	Porcentaje (%)
Aceite de Soya	36
Lecitina	17
Cefalina	15
Fosfatidilinositol	11
Fitoglucolípidos y otros fosfátidos	14
Hidratos de carbono	5
Humedad	2

Fuente: BECKETT, S.T. Fabricación y utilización industrial del chocolate.p.28.

Su uso más importante, es como emulsionante; sobre todo en productos infantiles y de confitería. El porcentaje recomendado para la formulación de un chocolate es de 0,1 a 0,4%.

Figura 5. Estructura de la lecitina



Fuente:www.scientificpsychic.com. Consulta en 10/08/10.

2.4.5. Reforzadores de sabor

En la fabricación de chocolate, se utilizan diversos productos estabilizadores y potenciadores de sabor. Los reforzadores de sabor más utilizados en la industria son: vainilla, sal y sabor artificial a cocoa.

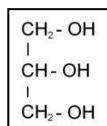
2.4.6. Grasas

Las grasas utilizadas en la preparación de alimentos, se obtienen de los animales y de algunos vegetales. Las grasas de especial interés, se clasifican de acuerdo a su estructura química, como fosfolípidos glucolípidos y lípidos neutros. Los fosfolípidos, importantes en la formación de emulsiones, se encuentran en la yema de huevo, la grasa de la leche y en las semillas de vegetales.

2.4.6.1. Química de las grasas

Las grasas pertenecen a la clase de compuestos orgánicos conocidos como ésteres, que se forman por la reacción de un alcohol con ácidos orgánicos. El alcohol que participa en la formación de cada molécula de grasa es el glicerol trihídrico soluble en agua.

Figura 6. Estructura del glicerol

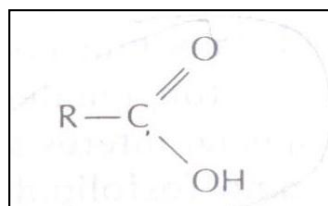


Fuente: www.educared.net. Consulta en 12/08/10.

2.4.6.1.1. Ácidos grasos

Los ácidos grasos, como todos los ácidos orgánicos, contienen característicamente un grupo carboxilo. Además, cada ácido graso contiene, un radical formado por una cadena de átomos de carbono. Los radicales se nombran con la abreviatura química del símbolo R.

Figura 7. Estructura de un ácido graso



Fuente: www.educared.net. Consulta en 12/08/10.

La figura 9 representa cualquier molécula de ácido graso. Lo que representa R es el aspecto que distingue a un ácido graso de otro. Los ácidos grasos específicos encontrados en las moléculas de una grasa, influyen en las propiedades químicas y físicas de la grasa y en sus propiedades funcionales, en la preparación de alimentos.

La mayoría de ácidos grasos, contienen un número par de átomos de carbono, de 4 a 24. Algunos son saturados, es decir, cada átomo de carbono con una valencia de 4, está único a otros dos átomos de carbono y a 2 átomos de hidrógeno.

Otras moléculas de grasa son insaturadas, o sea, uno o más átomos de carbono, están enlazados, a un segundo carbono, mediante un doble enlace. Los ácidos grasos insaturados, difieren en la cantidad y posición de los dobles enlaces.

En la siguiente tabla se enlistan algunos ácidos grasos y su estructura química:

Tabla V. Principales ácidos grasos

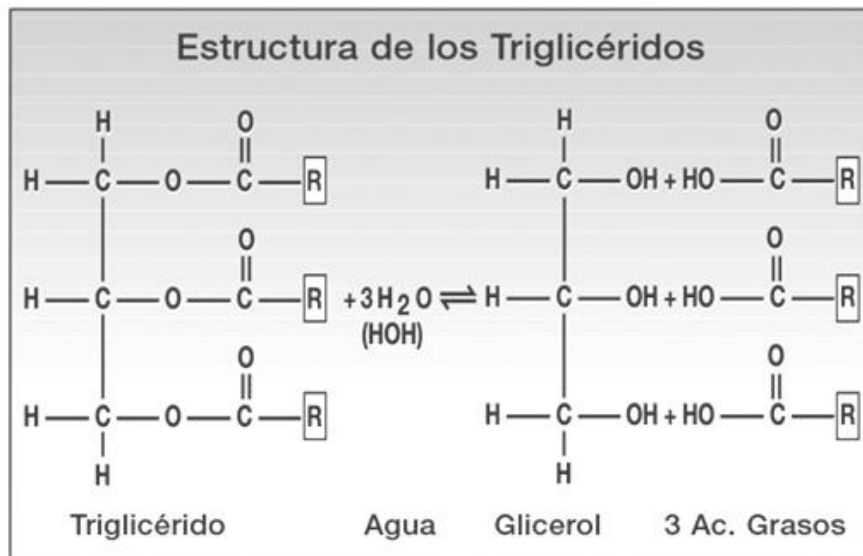
Nombre trivial	Átomos de carbono	Estructura	Punto de fusión (°C)
<i>Ácidos grasos saturados</i>			
Ácido láurico	12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	44,2
Mirístico	14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	54,0
Palmitico	16	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	63,0
Esteárico	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	69,6
Araquídico	20	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	76,5
Lignocérico	24	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$	86,0
<i>Ácidos grasos insaturados</i>			
Palmitoleico	16	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	- 0,5
Oleico	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	13,4
Linoleico	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	- 3
Linolénico	18	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-11

Fuente: www.scientificphisc.com. Consulta en 12/08/10.

2.4.6.1.2. Glicéridos

Los glicéridos, son ésteres de ácidos grasos y el alcohol polihídrico glicerol. Un ácido graso, unido a una molécula de glicerol, produce un monoglicérido. La parte no esterificada del glicerol, retiene su carácter soluble en el agua, mientras que el radical del ácido graso, confiere al monoglicérido la capacidad de unirse a la grasa. Cuando tres ácidos grasos, se han esterificado a la misma molécula de glicerol, resulta una molécula de grasa (un triglicérido) como se muestra en la figura 10.

Figura 8. Estructura de un triglicérido



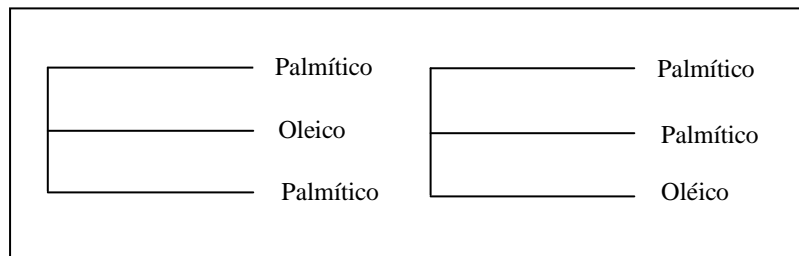
Fuente: www.educared.net. Consulta en 12/08/10.

Muchas moléculas de grasa son posibles, dependiendo de los ácidos grasos involucrados y de su posición de enlace con el glicerol.

Tomando en cuenta la estructura molecular, si los tres ácidos son semejantes (lo cual es raro) se origina un triglicérido simple. Todos pueden ser diferentes o dos pueden ser iguales y uno diferente; este último es el modelo usual.

En cualquiera de los dos últimos casos, la molécula de grasa es un triglicérido mixto. Con dos radicales de ácidos grasos semejantes, el impar puede unirse al carbono de en medio designado como 2 o beta (β), el que proporciona una molécula simétrica. O el radical impar de ácido graso puede unirse, ya sea al carbono alfa (α) o alfa prima (α') como se designan los carbonos terminales, lo cual da origen a una molécula asimétrica.

Figura 9. **Posibles representaciones de un triglicérido**



Fuente: www.educared.net. Consulta en 12/08/10.

La fórmula de una molécula de triglicérido, generalmente se escribe tal como se mostró arriba. Debido al impedimento estérico, cuando los tres radicales de ácido graso, se orientan en la misma dirección, se ha propuesto una disposición de diapason, con el ácido graso en el carbono intermedio, colocado en la dirección opuesta, a la de los ácidos grasos de los carbonos terminales.

Alternativamente, se ha sugerido una disposición en forma de silla con el ácido graso del carbón alfa, orientado en una dirección opuesta a los otros dos.

La estructura del ácido graso de los triglicéridos, de una grasa, influye en la forma cristalina en la que permanecerán estables. Entre más heterogénea la estructura de ácidos grasos de los triglicéridos particulares, más probable es que los cristales se estabilicen en la forma cristalina beta prima y la textura.

2.4.6.2. Manteca de cacao

La grasa del chocolate tiene una fusión única. Una alta proporción de las moléculas de triglicéridos en la cocoa son idénticas, o sea, que contienen radicales de ácido palmítico, oleico y esteárico, con el oleico situado en el carbono central del glicerol. La oleoildiestearina es otro componente principal. Estos dos triglicéridos en su forma cristalina estable, tienen puntos de fusión con diferencia de unos cuantos grados, entre uno y otro y apenas por debajo de la temperatura corporal. Esto le da al chocolate su agudo punto de fusión y el que no pueda masticarse.⁵

La manteca de cacao es “sólida” por debajo de los 31°C. Calentada arriba de 34°C se derrite fácilmente. El chocolate para recubrir primero se funde y luego se enfría y se agita para que se desarrollen muchos núcleos de cristal en la forma beta estable.

2.4.6.3. Alternativas de la manteca de cacao

Debido a los altos costos, que representa utilizar manteca de cacao en la producción de chocolate, se ha implementado la utilización de sustitutos de manteca de cacao, que poseen las mismas propiedades de ésta, pero a un costo mucho menor.

Estas alternativas de la manteca de cacao pueden ser divididas en tres grupos principales:

- Equivalentes de la manteca de cacao (CBE)
- Reemplazantes láuricos de la manteca de cacao (*Lauric* CBR)
- Reemplazantes no láuricos de la manteca de cacao

2.4.6.4. Equivalentes de la manteca de cacao (CBE)

Los equivalentes de manteca de cacao, (*cocoabutterequivalents*, por sus siglas en inglés) son grasas que pueden reemplazar la manteca de cacao, en todas sus proporciones, en formulaciones normales de chocolate, sin afectar sus propiedades.

2.4.6.4.1. Composición

Los equivalentes de manteca de cacao son grasas vegetales, no hidrogenadas y totalmente refinadas, producidas cuidadosamente con determinadas materias primas.

La composición de estas grasas se da por un proceso de cristalización, en el cual las fracciones requeridas, son seleccionadas en orden, para obtener un producto consistente de los mismos ácidos grasos y los mismos triglicéridos de la manteca de cacao.

2.4.6.4.2. Compatibilidad

Los equivalentes de manteca de cacao, son completamente compatibles con la manteca de cacao, gracias a su composición química similar. Esto implica que la manteca de cacao y los CBE poseen propiedades físicas iguales y que pueden ser procesadas, bajo las mismas condiciones que la manteca de cacao.

Cuando se cambia de un chocolate, hecho a base de manteca de cacao totalmente, a uno que contenga CBE, no se requiere especial atención en la limpieza previa del equipo.

2.4.6.4.3. Aplicaciones

Los equivalentes de manteca de cacao, pueden ser usados en todo tipo de chocolate, para reemplazar parte de la manteca de cacao añadida en recetas de coberturas de chocolate.

Una cobertura, es un producto de chocolate, en el cual toda la manteca de cacao añadida, es reemplazada por un producto CBE. En estos productos es posible reemplazar todas las partes de pasta de chocolate, por partes iguales de sabor a cocoa y CBE.

Las marcas más utilizadas en la fabricación de chocolate son:

- *COBERINE*: Para reemplazar la manteca de cacao en el chocolate de todos los tipos incluyendo las recetas ricas en grasa de leche.
- *CHOCLIN*: Para reemplazar la manteca de cacao en el chocolate con bajo contenido de grasa de leche, cerca del 10% del total de grasa recomendada.

2.4.6.5. Reemplazantes de la manteca de cacao (CBR)

Las CBR se pueden dividir en dos amplios grupos: el de tipo láurico (basados en aceites de coco y palma) y el no láurico (generalmente basado en aceite de algodón o soja. Habitualmente ambos grupos son fraccionados y el no láurico con frecuencia es hidrogenado.

Las CBR son las llamadas grasas no atemperables, ya que solidifican directamente desde su estado de fusión en la forma estable β' . Esta particularidad, evita el costo y complicaciones de las instalaciones de atemperado, necesarias para el chocolate y el chocolate que contiene CBE.

El mercado europeo desarrolló las grasas láuricas, tanto fraccionadas como hidrogenadas y puso en circulación los productos fraccionados.

Las grasas fraccionadas de palma, presentan muy baja compatibilidad con la manteca de cacao (4%) y, por lo tanto, todas las recetas deben estar basadas en polvo de cacao bajo en grasa. Las no láuricas fraccionadas, pretenden ser compatibles hasta el 95% con manteca de cacao, mientras que

las grasas de ácidos hidrogenados ricos en *trans* se dice que son compatibles al 20% con manteca de cacao. Las CBR de cualquier tipo cuando se utilizan en una receta correctamente equilibrada rendirán un producto con excelente moldeo, fusión, corte y contracción.

2.4.6.6. Reemplazantes láuricos de la manteca de cacao (LAURIC CBR)

2.4.6.6.1. Composición

Los reemplazantes de la manteca de cacao láuricos son grasas refinadas producidas de la palma y/o del aceite de coco por medio de cristalización (e hidrogenación si es necesario). Estas grasas contienen una gran extensión de pequeñas cadenas de ácidos grasos, y poseen una composición de triglicéridos completamente distinta que la de manteca de cacao.

Las propiedades físicas de las grasas son en su mayoría similares a los de manteca de cacao. Algunos poseen mejor resistencia al calor.⁶

2.4.6.6.2. Compatibilidad

Las propiedades físicas obtenidas de los reemplazantes láuricos, de la manteca de cacao, se pueden ver alterados por la mezcla con otras grasas, incluyendo la manteca de cacao. De cualquier manera, los reemplazantes láuricos de la manteca de cacao, pueden ser usadas en recetas basadas únicamente en manteca y licor de cacao. Esto corresponde con un máximo de 5% de manteca de cacao, calculado sobre la fase grasa de la receta.

Cuando la fase grasa de una cobertura basada en un CBR láurico contiene más manteca de cacao que 5%, los productos se hacen menos duros y menos resistentes al calor, y el riesgo de formación de eflorescencia (superficie gris sobre las capas) puede ser incrementado.

Con el fin de prevenir contaminación, en la cobertura con chocolate basado en la manteca de cacao., todo el equipo utilizado para el proceso, debe estar totalmente limpio y libre de chocolate.

Cuando se cambia de chocolate basado en manteca de cacao a maquinas de coberturas, hechas a base de grasas láuricas, las tuberías y bombas deben ser limpiadas a fondo. Los lugares inaccesibles deben ser lavados con alguna grasa láurica.

2.4.6.6.3. Aplicaciones

Coberturas basadas en CBR láuricas son usadas alrededor del mundo para la producción de artículos sólidos, bañando muchos tipos de galletas y biscochos. Se debe tener cuidado que los centros de los chocolates que entren en contacto con la cubierta, estén libre totalmente de humedad.

Las principales CBR usados para este fin son :

- *CroklaanSpecial 555 and 555/E*: para productos que serán vendidos en climas calurosos estos productos son resistentes al calor.
- *CroklaanSpecial 499, 499/E and 499/Hi*: Usada para productos que se venderán en países con clima moderado.

2.4.6.7. Reemplazantes no láuricos de la manteca de cacao (NON- LAURIC CBR)

2.4.6.7.1. Composición

Los reemplazantes no láuricos, de manteca de cacao, son grasas vegetales totalmente refinadas. Estas grasas contienen principalmente los mismos ácidos grasos que la manteca de cacao y la composición de triglicéridos es completamente diferente.

2.4.6.7.2. Compatibilidad

Los reemplazantes no láuricos de la manteca de cacao, son menos sensibles en combinación con la manteca de cacao.

Coberturas de chocolate basadas en estas grasas, generalmente contienen arriba del 20% de manteca de cacao y grasa de leche calculado en la fase grasa. Esto significa que estos productos, pueden estar basados en cantidades limitadas de licor de cacao (arriba del 9%), sabor a cocoa con cualquier contenido graso y leche entera.

2.4.6.7.3. Aplicaciones

Las coberturas y chocolates basados en reemplazantes no láuricos de la manteca de cacao, son más flexibles en carácter y fusión, que los chocolates basados en manteca de cacao pura. Estas características, los hacen mucho más favorables, para productos bañados, como pasteles, wafers, y otro tipo de centros crispy. Durante el proceso de masticación, el sabor a chocolate esta continuamente produciéndose.

2.4.6.8. Eflorescencia de la grasa en el chocolate

El principal problema al trabajar con grasas, en la producción de chocolate, es la eflorescencia o *fatbloom*.

La eflorescencia es un problema de estabilidad del chocolate y coberturas, que se manifiesta con la aparición de una fina capa blanca, sobre la superficie del producto, debido al crecimiento de cristales de grasa y que, está generalmente acompañado, por una reducción del brillo.

La eflorescencia puede ser el resultado de un mal atemperado. El atemperado es una etapa importante, en la que se selecciona la forma de cristal de manteca de cacao más estable posible. Si se realiza mal, con el paso del tiempo, la manteca de cacao tenderá a cristalizarse tomando una forma más estable.

Esta capa blanca, también puede deberse a un almacenamiento en malas condiciones de temperatura. Cuando se almacena el chocolate a temperaturas demasiado elevadas, y sobre todo muy fluctuantes, la manteca de cacao se funde parcialmente, cristalizando en la superficie. No obstante, aunque el atemperado se haya realizado correctamente y se respeten las condiciones de almacenamiento, con el tiempo el chocolate acabará presentando una eflorescencia grasa que, eso sí, tardará mucho más en aparecer.

La capa blanca desaparece cuando se calienta ligeramente el chocolate y no supone ningún problema para su utilización. Una vez que el chocolate se funde, puede volver a utilizarse para cualquier aplicación, siendo totalmente comestible.

La eflorescencia grasa, no debe confundirse con el *sugarbloom*, que es una eflorescencia menos frecuente y se debe a la exposición del chocolate a la humedad. El azúcar presenta mayor afinidad con el agua, que con la fase grasa formada por la manteca de cacao.

En presencia de humedad, el azúcar se disuelve volviendo a cristalizar en la superficie, lo que puede provocar la aparición de dicha capa blanca. Esta eflorescencia, no desaparece cuando se calienta el chocolate y hace que tenga un tacto granuloso en su superficie. Es más grave que la eflorescencia grasa, puesto que en este caso el chocolate ya no puede utilizarse y quizás ni siquiera fundirse.⁷

2.5. Fundamentos de formulación

El objetivo principal de la formulación, es producir un sabor a chocolate que brinde la máxima sensación placentera, cuando sea consumido como producto final, sin descuidar los costos de las materias primas involucradas en el proceso.

Se deben ajustar las ideas con los costos, para producir la mejor calidad de chocolate posible, a un costo accesible para el cliente.

Cronológicamente, la primera decisión que se debe tomar es el tipo de haba que se utilizará en todo el proceso, la calidad y cantidad del licor de chocolate utilizado. Luego se decidirá sobre los ingredientes a agregar en la mezcla, esto dependiendo del tipo de chocolate.

Los ingredientes principales agregados a la mezcla de licor de chocolate son: leche, azúcar, lecitina (como emulsificante), cocoa y usualmente algún sustituto de manteca de cacao.

2.5.1. Preferencia del chocolate según región

La definición de gustos en los diferentes países, obviamente se ha de dar en sentido amplio, ya que de ser muy definida, únicamente conduciría a discusiones. En general, el chocolate con leche sigue las líneas siguientes:

- Europa: generalmente, chocolate con predominio de buen sabor a leche y suave, pero limpio sabor a cacao (es decir, sabor a leche fresca, en oposición al sabor de la leche cocinada o calentada)
- Gran Bretaña (U.K.): el sabor predominante es el tradicional de leche caramelizada “crumb” saborizado con chocolate.
- América: tiende a sabor más fuerte y más limpio a cacao, que en Europa. Con fondo terroso por el contenido de leche y gusto algo más dulce, que el del chocolate europeo. La leche contribuye al sabor familiar a “granja” o sabor a queso del chocolate americano.
- Otros países: evidentemente, los fabricantes importantes o las compañías progenitoras han establecido el tono también en los otros países, con la introducción de importaciones y luego, quizás, con los propios centros de fabricación.

2.5.2. Obtención de variantes en el sabor del chocolate

Debe prevalecer el sentido común, basado en diversos factores tales como (1) el mercado importante; (2) el producto que se quiere vender y; (3) el coste del chocolate o “compuestos que se quiere hacer. *Chocolate* se define aquí como:

- Oscuro: azúcar, sólidos de cacao, manteca de cacao, agentes antieflorescencia, lecitina (emulsionantes) y saborizantes.
- Leche: azúcar, sólidos de leche, grasa láctea, sólidos de cacao, manteca de cacao, lecitina (emulsionantes) y saborizantes.

Se definen los compuestos como anteriormente, pero las partes de grasa no son de manteca de cacao o no todo es manteca de cacao.

Una consideración general podría ser, que la economía dictaba qué habas se utilizaban originalmente, en los diferentes países (aprovechando las fuentes de cacao más cercanas, y como la tradición es todavía extremadamente fuerte en la industria, ha habido y todavía hay mucha reluctancia al cambio y a la experimentación.

La calidad y cantidad de los tipos de las habas de cacao utilizadas, puede a veces ser afectadas por factores ajenos a la industria. El mercado también ha jugado un papel importante en el desarrollo de los tipos de chocolate disponibles corrientemente.

Se debe reconocer también la influencia de las autoridades reguladoras y de los grupos de consumo, los cuales, hoy día influyen en qué chocolate y que

productos de chocolate pueden o no pueden contener. Esta influencia es principalmente de hechos consumados, porque muchos productos han estado fabricándose durante un buen número de años. Generalmente es la industria y el gobierno en cooperación, quienes establecen y determinan los estándares, los cuales pueden, a su vez, afectar a los sabores de los productos.

Ante los ojos del consumidor, el gusto tiene cierta conexión con la textura, el chocolate europeo es apreciado como mucho más suave que el inglés o el norteamericano. En Norte América y en Gran Bretaña, los chocolates se refinan a un promedio de 20 – 30 μm (8 – 12 $\cdot 10^{-4}$ pulgadas), y el chocolate europeo entre 15 -22 μm (6 – 9 $\cdot 10^{-4}$ pulgadas). Esto no quiere decir que todos los chocolates se ajusten a estas medidas.

El chocolate refinado por encima de 35 μm (1,4 $\cdot 10^{-3}$ pulgadas) generalmente se nota como granoso y arenoso y no es muy bien aceptado. Puede haber excepciones en el chocolate de barras rellenas o bañadas en que la influencia de los centros en la textura influye más que el chocolate. A la inversa, el chocolate y coberturas inferiores a 15 μm ($6\cdot 10^{-4}$) se consideran grasos y pegajosos y generalmente no son tan aceptados como el buen chocolate comestible.

2.5.3. Proporciones de azúcar

Se admite por lo general, que el azúcar es un ingrediente inherente, en relación con las sutilezas del sabor y que contribuye solamente en el dulzor, pero en chocolatería no debe dejarse tan descuidado. La alteración del 1- 2% en el contenido de azúcar, tiene gran efecto en el costo; a veces los factores económicos aumentan el contenido hasta 5%, en cuyo caso se hacen muy evidentes grandes cambios de sabor.

El azúcar tiene gran influencia en el sabor del chocolate con leche acabado, particularmente los chocolates basados en *crumb* y en menor grado en el chocolate basado en leche en polvo y en los compuestos.

2.5.4. Proporciones de leche

La leche líquida, de la que todos los productos lácteos se derivan, tiene sabor familiar. Sin embargo, casi todo proceso que pueda ser aplicado a la leche, altera su sabor.

La leche líquida se agria rápidamente, especialmente si se deja sin refrigerar. La velocidad del procesamiento e higiene son factores capitales de su tecnología, y la esterilización es también contribuyente importante del cambio de sabor.

En cualquier caso, la leche y productos lácteos utilizados en la fabricación de chocolate, han de ser deshidratados antes de su utilización, y para hacerlo, se precisa de la aplicación de calor en el proceso.

La aplicación de calor a la leche, durante cualquiera de los procesos de deshidratación, afectará el sabor final de la leche.

Es importante que todos los fabricantes de chocolate tengan sus proveedores constantes y definidos.

Se pueden distinguir tres sabores de la leche en el chocolate con leche, según las amplias líneas siguientes: -leche fresca; - leche madurada; - leche cocinada.

La leche fresca tiene la ventaja de mantener el sabor de la leche fresca y conservarlo tan fresco como es posible, mediante un proceso rápido de vacío a baja temperatura y desecación por aspersión, pero puede tener todavía algún matiz de leche cocinada debido al proceso de desecación.

La leche madurada puede alterarse enzimática o bacteriológicamente, o dejarla madurar. Se ha descrito el sabor como a granja, a queso, etc. Según el tipo de enzimas o de proceso microbiológico empleado, se obtienen diferentes leches en polvo con sabor diferente. Esto se debe tener en consideración, si se quiere tener garantizada la continuidad, cuando se obtiene el polvo, bien en la propia industria o adquirirlo de proveedores.

La leche cocinada participa de los sabores obtenidos cuando se cocina la leche fresca en presencia de azúcar para obtener la leche condensada. Esta se puede utilizar como tal, para el proceso de obtención de chocolate, y desecando el total durante el procesamiento o más comúnmente durante la fabricación del *crumb*. El *crumb* blanco se puede obtener *sin la adición de manteca de cacao*. Es más corriente la fabricación de *crumb* de chocolate, que incorpora pasta de cacao en el proceso.

La cantidad de cualquier producto lácteo elegido entero que se va a utilizar en cualquier formulación de chocolate con leche debe ser de al menos 12% lo que puede variar en un rango muy pequeño dependiendo de la legislación nacional.

Dependiendo de la transformación, los otros ingredientes en la formulación y el grado de sabor de la leche que se desee, cantidades de hasta el 25% se han utilizado. Una gran mayoría de los chocolates de leche, sin embargo, se incluirán dentro del máximo del 20%, por supuesto, dicho chocolate es bastante lechoso. Existe también la consideración de que se eleva el contenido de grasa total, con los sólidos de leche entera, lo que hace el chocolate progresivamente más suave. Esto puede evitarse con la suspensión del consumo de leche entera hasta un 18%.

2.5.5. Proporciones de licor de chocolate

El chocolate de leche (objeto de estudio del presente proyecto), contiene legalmente como mínimo 9% de licor de cacao. Se pueden utilizar cantidades mayores de licor de cacao sin superar el 16% para prácticas comerciales.

2.5.6. Saborizantes

La adición de saborizante más común es la vainilla, en forma de la vaina de vainilla natural, o en la forma más comúnmente utilizada en la actualidad de sabor de vainilla artificial, la vainillina, bien en su forma metílica o etílica (el nivel general de adición está entre 0,06% y 0,09% de la tanda de chocolate con leche, y puede llegar hasta 0,1% en el chocolate oscuro y el dulce amargo). La sal es quizá la segunda adición más corriente.

Ambos se añaden para exaltar el sabor, más que para enmascararlo, la vainilla o vainillina produce acento de crema, mientras que la sal acentúa la particularidad de fractura limpia. Se han añadido muchas especias tales como nuez moscada, canela, etc. para producir o exaltar ciertos matices. Aquí de nuevo tiene un papel considerable la habilidad del artesano.

Durante mucho tiempo se han producido intentos de reemplazar la manteca de cacao, pasta de cacao y polvo de cacao en el chocolate, creando compuestos que tienen el mismo sabor que el chocolate, lo que condujo a una fiebre de actividad, entre los químicos del sabor, para producir sabores de chocolate, pero ninguno de éstos ha tenido un éxito total.

Se puede cometer un error con facilidad: debido a la eliminación de manteca de cacao en la formulación, no solamente cambiarán las características de solidificación y textura, sino también su característica de sabor.

Hay que tener en cuenta que la manteca de cacao añadida, solamente puede representar entre 4-25% del peso total, dependiendo de tipo de chocolate, inmediatamente que se quite esta adición de “sabor”, esta proporción ha de ser compensada de alguna otra forma. Esto implica, bien la adición de más pasta de cacao o de polvo de cacao y/o cambiar el grado de tostación, etc.

Cualquier aditivo saborizante debe ser aceptable por el país de consumo, y los sabores considerados como adulteraciones, deben ser comprobados antes de que el chocolate sea fabricado o enviado a otros países.

2.5.7. Proporciones de lecitina

La lecitina puede ser utilizada en pequeñas cantidades, aunque casi la mitad del poder de reducción de la viscosidad de la lecitina se pierde en el refinado. La misma pérdida de la lecitina, se observa si se añade en la fase de conchado. Ambas pérdidas pueden ser compensadas, por la adición de lecitina justo antes de la regulación de la densidad final. Así, si el efecto total de 0,25% de la lecitina es deseada en el acabado final y el 0,10% se ha utilizado en el

refinado y/o en conchado, el efecto de sólo el 0,05% se mantiene y 0,20% puede ser añadido.

El propósito principal en el chocolate, de la lecitina, es reducir la tensión interfacial entre la manteca de cacao y todas las partículas no grasas de azúcar, el licor y la leche. El efecto es reducir la cantidad de manteca de cacao para cubrir la enorme superficie de las partículas sólidas, por lo que libera más de la manteca de cacao para actuar como medio flotante y por lo tanto reducir la viscosidad.

Hay un límite al que la lecitina funcionará de esta manera. La primera onza por cada cien libras de chocolate reducirá la viscosidad más de los que la segunda onza, y así hasta que la lecitina está presente lo suficiente para formar una capa de una molécula de espesor en la totalidad de las interfaces entre la manteca y los sólidos. A partir de entonces las adiciones de la lecitina no sólo no hacen ningún bien, sino que además se espesará el chocolate, debido a la alta viscosidad de la lecitina en sí misma. Por ejemplo, se puede encontrar que dicho punto no se alcanza hasta el 0,5% de porcentaje en peso, pero usualmente los productores utilizan de 0,25% a 0,35% de porcentaje en peso.

Es obvio que este efecto de la lecitina, puede ser utilizada para reducir la manteca de cacao total necesaria, para llegar a cualquier viscosidad dada y así reducir el costo del chocolate. El máximo ahorro es considerable, aunque varía dependiendo del contenido total de grasa originalmente requerido.

En coberturas que, sin lecitina, contienen de un 35% a 40% de grasa total, la lecitina permitirá la reducción a un rango de 30% a 35% para la misma viscosidad. El ahorro se convierte en cada vez menor, según el aumento de grasa y la disminución de viscosidad, alcanzando una reducción de aproximadamente el 2% de la grasa en las coberturas para helados que originalmente contenían aproximadamente 62% de grasa. Esta es una consideración importante en la formulación, ya que, salvo alguna objeción primordial, puede subirse, este ahorro puede ser trasladado a las habas en el refinado, conchado, o cualquier otro factor de tal manera que contribuya a mejorar la calidad.

El efecto de reducir casi inmediatamente la viscosidad, ayuda a reducir en horas el tiempo de conchado de los productos deseados. Es más, en los productos donde (y solo donde) el conchado no se utiliza para el desarrollo del sabor, una buena mezcla de la lecitina para estabilizar la emulsión puede evitar el proceso del conchado.

Puesto que la viscosidad afecta a la cobertura que obtiene el productor y el radio del centro del chocolate influye en la formulación del propio chocolate, la viscosidad es un factor muy importante, que controla la uniformidad de la calidad de los dulces recubiertos de chocolate terminado. La única alternativa para el cambio de la viscosidad, suponiendo que la lecitina ha sido utilizada, es modificar el tamaño de las partículas.

Todo el fino de molienda en iguales condiciones, se traducirá en una mayor viscosidad, color más claro y sabor diferente. Molienda de grano más grueso reducirá la viscosidad, oscurecerá el color y alterará el sabor.

Al considerar los cambios en un proceso de formulación que implica la refinación, se debe recordar que el tamaño de las partículas altera el sabor.

El tamaño más pequeño de las partículas aumenta y "redondea" el sabor, el punto de rendimiento deseado que se alcance se encuentra entre las dimensiones de 0,0004' – 0,0006'. Algunos trabajadores afirman que la lengua humana es incapaz de detectar partículas de 0,0006' a 0,0008', ni siquiera tan grande como 0,00098' de tamaño.

Un punto a recordar es que, si el tamaño de las partículas de azúcar es tan pequeño como 0,0003', un efecto empalagoso se produce en la boca y la garganta que es rápidamente detectado y resulta desagradable.

Incluso recubrimientos relativamente gruesos de azúcar refinada, tendrán un porcentaje importante de esas partículas de azúcar puntiformes, y contendrá aún más un recubrimiento más suave.

2.6. Proceso productivo del chocolate de leche

El proceso productivo del chocolate de leche en la empresa Sharp, inicia desde la limpieza del haba de cacao ya fermentada hasta el empaque del producto final.

2.6.1. Limpieza inicial del haba de cacao

El haba de cacao, es introducida directamente, desde los costales, en una limpiadora de grano de cacao, la cual separa cualquier partícula indeseable que se haya introducido al proceso durante el fermentado o el desecado del haba de

cacao. La limpieza se realiza, con el principio de densidades por lo que las habas de cacao, se trasladan al fondo, mientras que cualquier tipo de polvo o impureza se traslada a un recipiente para su posterior desecho, (flotación por densidad).

El haba en el fondo es trasladada a un elevador de cangilones continuo el cual lo deposita en unos silos para su almacenamiento.

2.6.2. Tostado del haba de cacao

La primera necesidad del elaborador de chocolate es el tostado. La ciencia proporcionado controles automáticos de temperatura, tiempos y movimientos en el tostado, pero la experiencia en este paso es muy importante, ya que las condiciones varían según las condiciones del haba y de los objetivos del chocolate.

Existen tres problemas básicos que crearon la necesidad de que el artesano del chocolate realizará el tostado. El primero, es que el cacao no es una materia prima uniforme, probablemente menos uniforme que cualquier otra semilla que se desee tostar. Además, la falta de uniformidad no es sólo en el contenido de humedad, sino también se da en la fermentación y el curado.

El sabor que se conoce normalmente como chocolate, es impreciso y su análisis hasta ahora, ha evadido muchas evaluaciones científicas. Se sabe que los precursores del sabor del chocolate, son formados solo mediante la fermentación y el curado del grano y se sabe que el tostado es requerido, para convertir esos precursores del sabor, en el tipo e intensidad de sabor, que identifica al chocolate deseado. Antes del tueste, las habas pueden presentar un sabor astringente, amargo, ácido, mohoso, sucio o incluso avellanado.

Las temperaturas de tostado recomendadas son de 377 K (104°C) hasta 422,15 K (149 °C). La variación en las temperaturas se ve afectada en gran medida, por el equipo que se este utilizando en el proceso de tostado, el tipo de licor de cacao, la duración del tostado (se recomienda de 20 a 30 minutos máximo) y el volumen de aire dentro de la tostadora.

El segundo problema se debe a que, realizando diferentes tipos de tostado, se pueden obtener distintos tipos de chocolate para diferentes usos.

El tercer problema básico, es causado debido a que cada tipo de haba de cacao, requiere diferente tipo de especificaciones para su correcto tostado. Por ejemplo el tipo Forastero requiere temperaturas un poco menores, de 368 K (95°C) a 383 K (110 °C). En el caso del cacao nacional las especificaciones dictan una temperatura de tostado de 413 K (140 °C) a 463 K (190 °C).

Los granos de cacao sin fermentar, requieren una temperatura y tiempos relativamente menores, ya que el sabor a chocolate no será desarrollado durante este proceso. Temperaturas de tostado alto, crearán un pobre sabor, con tonalidades a café de mala calidad.

Los cambios más importantes desarrollados durante el tostado, se pueden resumir de la siguiente manera:

- Desarrollo del agradable complejo aromático, que brinda el sabor conocido como chocolate, obtenido de los granos fermentados de cacao que se estén utilizando. Este sabor se desarrolla en una pequeña cantidad, durante el tostado, pero su desarrollo continuara durante el posterior tratamiento térmico del licor de chocolate.

- Evaporación de los ácidos de sabor fuerte y otros astringentes orgánicos de naturaleza volátil.
- Modificación química de los taninos y otros compuestos no volátiles, con su correspondiente reducción de la amargura.
- Dextrinización del almidón y degradación de los hidratos de carbono similares.
- Obscurecimiento de los cotiledones a un atractivo y fuerte color café.
- Eliminación del exceso de humedad.
- Pérdida de la cascara de los cotiledones.

En la empresa analizada, se cuenta con una tostadora tipo *Batch*, la cual opera a 463 K (190 °C) por aproximadamente 20 minutos para cada lote. El haba de cacao se encuentra en los silos superiores, los cuales poseen una compuerta, que permite el paso del haba hacia la tostadora, la cual es manejada por un operador, quien posee el conocimiento empírico del punto de tostado exacto del haba de cacao.

2.6.2.1. Reacciones químicas durante el proceso de tostado

Una de las más importantes reacciones relacionadas con el sabor en el proceso de tostado, se llama pardeamiento de *Maillard* o reacción de carbonil-amina.

Figura 10. **Tostadora *Batch* de habas de cacao**



Fuente: Planta de procesamiento de cacao.

Las reacciones se pueden dividir convenientemente en tres etapas: iniciación, intermedia y final. Con la cantidad de etapas que interactúan en las reacciones de *Maillard*, es difícil separar todas las reacciones individuales incluso dentro de una etapa.

2.6.2.1.1. Reacciones químicas en la etapa inicial de tueste

La más sencilla, y por lo tanto, la etapa mejor comprendida es la inicial. Los azúcares reductores y aminoácidos forman compuestos de adición, los cuales a su vez, forman glucosilaminas o fructosilaminas según el azúcar reductor inicial. Una de las reacciones clave es la transformación de estas glucosilaminas en productos de isomerización. Si fuera glucosa el azúcar inicial de la reacción, se convertiría en fructosa aminada.

Aunque las sustancias transformadas no son detectables por alteraciones en el color o sabor y pueden ser reversibles en esta etapa, las reacciones iniciales son importantes porque la mayor parte de las últimas reacciones no pueden tener lugar, sin los productos finales reordenados.

2.6.2.1.2. Reacciones químicas en la etapa intermedia de tueste

Las reacciones intermedias implican las sustancias anteriores, así como la degradación de azúcar y aminoácidos (degradación de *Strecker*). Son esenciales para el sabor apropiado de cualquier producto de cacao e implican interacciones de numerosas sustancias.

Cuando se calientan, las mezclas de carbonilos y aminoácidos pueden producir una variedad de aromas, entre los que se incluye el del chocolate, caramelo, patata, queso y similar a pan. Son las últimas etapas de esta fase intermedia, lo que permite la generación e interacción de muchas sustancias que forman numerosos motivos saborizantes. Los aldehídos, cetonas y otros carbonilos reaccionan, para formar las pirazinas, furanos y otras sustancias que se encuentran en el chocolate.

La estructura real de la pirazina, viene dictada por los grupos laterales del compuesto dioxo. Si se parte del piruvaldehído y valina, los productos finales serán 2-metil-propanal y 2,5-dimetil-pirazina, cuyo sabor ha sido descrito como avellanado. Las altas concentraciones de precursores, hacen de los productos de chocolate una abundante fuente de pirazinas. La concentración de pirazinas en las habas tostadas es dependiente de las variedades.

Aunque las reacciones carbonil-amina son tan importantes, hay que darse cuenta que, con excepción de los sistemas formados como modelo, es difícil que un sistema de alimentos consista solamente de aminoácidos y azúcares. Otras sustancias tales como péptidos, proteínas, vitaminas, grasas, sus productos de oxidación y otros derivados, pueden entrar en las reacciones e influir en el producto final. Con la cantidad de sustancias encontradas en el chocolate, es virtualmente imposible identificar todas las reacciones y los caminos seguidos para producir chocolate.

La producción de aldehídos, a partir de aminoácidos, juega un papel importante en el equilibrio de sabores en el chocolate acabado. Como ya se mencionó, se transforman por la degradación de aminoácidos de *Strecker*, lo que también produce pirazinas. La estructura del aminoácido determina el aldehído resultante y también la amina y el ácido que podrían ser producidos por la degradación del aminoácido.

Se ha sugerido un método para evaluar la calidad de haba de cacao por comparación de volátiles de cabeza. Las habas de cacao se colocan en un *Erlenmeyer* con tapón y *septum*. Se calienta el matraz durante el tiempo y temperatura preestablecidos en el horno y se analizan los volátiles de cabeza por cromatografía de gas-líquido.

A medida que el tiempo y/o temperatura aumenta, crecen dos picos importantes. Las sustancias son isovaleraldehído (de la valina) e isobutiraldehído (de la leucina) y si se compara la concentración con el tiempo de tostado, se puede correlacionar la concentración con la evaluación subjetiva de calidad de sabor. Las habas consideradas de buena calidad, poseen una alta concentración de isovaleraldehído e isobutiraldehído. Resulta así, que los

aldehídos son también muy importantes en el desarrollo del sabor total del chocolate.

Otra reacción, que tiene importancia como generadora de carbonilos, cuando la humedad en el haba es alta, es la degradación de lípidos, fundamentalmente por la oxidación originada por los mohos.

Las habas mohosas han presentado aumentos en 2-enaes y 2-4-enaes, en comparación con las habas no mohosas. Los umbrales de actividad de los aldehídos no saturados formados son muy bajos y son poderosos componentes saborizantes.

En esta etapa, no solamente es el sabor o el aroma lo que se genera, sino que empieza a aparecer una coloración amarilla en las habas, este estado es estable e irreversible.

2.6.2.1.3. Reacciones químicas en la etapa final de tueste

Es en la etapa final, en la cual son producidos los pigmentos insolubles pardo-oscuros, llamados melanoidinas. Se comprende fácilmente por qué se sabe menos sobre esta etapa, ya que muchos, o quizás todos, de los compuestos precedentes pueden condensarse y polimerizarse en compuestos muy grandes.

A diferencia de las moléculas más grandes, los pigmentos de melanoidina están formados por muchas sustancias que pueden interactuar en cualquier orden y disposición.

Aunque las sustancias identificadas en los productos de cacao se cuentan por centenares, entre las cuales se incluyen hidrocarburos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, aminas, oxazoles, compuestos sulfurados, etc. Es probable que a medida que el equipo analítico continúe mejorando, otros análisis podrán indicar que hay millares de compuesto o aún más.

2.6.3. Reducción de tamaño y limpieza (quebrado del haba)

El proceso de reducción de tamaño se realiza mediante los siguientes pasos:

- Las habas son quebradas mediante rodillos dentados ajustables para permitir que los cotiledones y las cáscaras se separen.
- Todas las piezas que varían de tamaño, desde partículas de polvo hasta segmentos de grano de una pulgada de largo, son separados por pantallas giratorias perforadas, con tamaños de agujeros graduados de una forma uniforme.
- Estos flujos separados, son descargados individualmente en rampas de descargas, las cuales poseen un flujo de aire con velocidad suficiente, para llevarse la cascara, pero no lo suficientemente fuerte como para arrastrar los cotiledones.
- La corriente de partículas muy finas, o polvo, es descartada o sometida a procesos para la recuperación de manteca de cacao.
- Los diferentes tamaños de haba son recombinados y pasados a la siguiente operación.

La principal dificultad que se posee con el germen, es que es muy amargo, duro y por consiguiente difícil de moler.

Figura 11. **Quebradora de haba de cacao**



Fuente: Planta de procesamiento de cacao.

Figura 12. **Rampas de descarga de la Quebradora de cacao**



Fuente: Planta de procesamiento de cacao.

2.6.4. Mezcla de habas de cacao

Es muy raro que los productos de chocolate se produzcan solamente a partir de una clase de habas de cacao. Comúnmente se realiza la mezcla de

varios tipos de grano con el fin de obtener un costo relativamente menor y en ocasiones las mezclas se realizan para obtener un sabor peculiar.

Los granos de cacao no deben mezclarse antes de la etapa de tostado, esto debido a todos los problemas vistos con anterioridad en dicha etapa, Cada tipo de haba de cacao posee su punto de tueste, su grosor de cotiledón, su fragilidad y tamaño de cascara, por lo que su mezcla no se recomienda.

2.6.5. Producción de licor de molienda (licor de cacao)

El contenido de la Manteca de cacao en el haba de cacao varia mientras mejor tostadas y limpias estén las habas, dicho contenido varía entre 50% a 56%, con una media muy cercana y aceptable del 53%. Cuando las habas son molidas, a una masa impalpable arriba del punto de fusión de la manteca de cacao, la masa fluye libremente en una capa líquida bastante delgada. Este producto resultante se llama licor de cacao.

No existe pérdida en el uso de la semilla de cacao para la extracción de licor. Los resultados de contenido de manteca de la molienda gruesa y fría de licor pueden ser utilizados para recubrimientos de alta calidad, ya que estos últimos son siempre muy suavemente refinados de todos modos. Si aún existen partículas de manteca de cacao, en el licor, sin extraer, estas serán extraídas durante el refinado de la pasta de cacao y el conchado.

El licor de molienda destinado para otros propósitos es llevado a un tamaño de partícula diferente o a una viscosidad determinada para los requerimientos de un uso específico.

Si, por ejemplo, se desea realizar un chocolate relativamente más grueso, el licor de chocolate se refina cuidadosamente, con el fin de liberar toda la costosa manteca de cacao, por lo que se contribuirá a la reducción de la viscosidad. El costo del licor de molienda es menor, que el de la manteca de cacao liberada.

Otro ejemplo, es el requisito de fineza requerido en el licor, para la producción de cacao en polvo. Si el líquido es demasiado fino, la dificultad se experimenta en la operación de prensado. Por el contrario, al presionar no se libera toda la manteca de cacao que el licor de molienda gruesa pueda poseer atrapado en las células. Por lo tanto, para producir económicamente cacao en polvo, es necesario moler finamente el licor, lo suficiente, para liberar toda la manteca de cacao disponible y al menos igualarla a la consistencia deseada del cacao en polvo terminado, tomando en cuenta que no debe de ser más fino. Una textura típica para este fin es del 99,5% a 99,9% a través de un tamiz de No. 200.

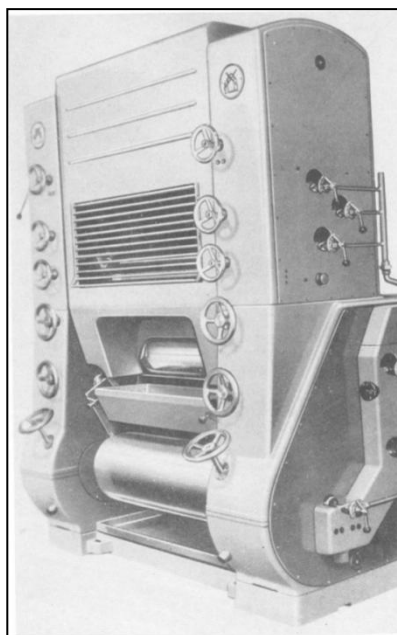
Muchos tipos de molinos, para moler el licor, se han desarrollado a lo largo de los años. De los que han sobrevivido, cada uno tiene sus propias ventajas individuales sobre los demás: menos caballos de fuerza por libra producida, menos espacio, un control más fácil y exacto de la finura y la distribución de tamaños de las partículas, menos generación de calor, menos contaminación por metales debido a la abrasión por fricción, entre otros.

Un diseño muy frecuente en las fábricas de chocolate es el de tipo rodillos, construido igual que la refinadora de pasta de cinco rodillos. En esta máquina, las habas son pre-trituradas bien en un primer plano o por los rodillos acanalados que forman la primera pareja de la serie.

El hueco de acero dentro de los rodillos cilíndricos refrigerados individualmente por agua, de modo que todo el calor de fricción excesivo puede ser removido de manera eficaz y continuo.

Mantener la uniformidad en el ajuste de presión, en toda la superficie del rodillo, depende en gran medida de la atención y la habilidad del operador, con lo que regulará también la uniformidad en el tamaño de partícula logrado.

Figura 13. **Refinador de licor de molienda**



Fuente: BECKETT, S.T. Fabricación y utilización industrial del chocolate.p. 245.

Aparte de la dificultad de mantener la configuración correcta y uniforme en el rodillo, dos objeciones hechas a la utilización de estos molinos de rodillos han sido: la relativa falta de capacidad en esta etapa a disipar aún más la humedad o compuestos volátiles indeseables, y la presencia de pequeñas cantidades de polvo de acero desarrollado a través del desgaste gradual de los rodillos.

La primera crítica es válida, pero puede ser respondida por la transformación interior con calor y aireación. La segunda objeción es válida también, pero en un grado menos importante desde el punto de vista de contaminación, sobre todo porque los imanes pueden quitar la mayor parte de las minúsculas cantidades que penetran en el líquido. La crítica surge debido a los efectos sobre el sabor del licor. Hay momentos en que un sabor metálico puede ser débilmente detectado en algunos productos. La cuestión es, sin duda discutible, ya que hay muchas otras oportunidades durante el proceso en las cuales el leve sabor metálico puede ser obtenido.

2.6.6. Mezcla de ingredientes

Luego de la extracción del licor de chocolate, el mismo se almacena en grandes ollas o silos que lo mantengan a una temperatura que evite su solidificación. La mezcla de los diferentes tipos de granos o habas de cacao ya se ha realizado en algún paso anterior, o los licores de chocolates diferentes serán mezclados en este paso.

En esta etapa el licor de chocolate, la azúcar refinada, la manteca de cacao, la leche y cualquier otro material saborizante no volátil, serán mezclados juntos en las cantidades establecidas por la fórmula particular determinada.

Sólo la cantidad suficiente de manteca de cacao, se agrega en esta etapa para producir una etapa pesada. La cantidad suficiente de manteca de cacao, depende del grado de reducción del tamaño de las partículas. El contenido total de grasa de la pasta de chocolate, en esta etapa, se extenderá para la mayoría de los productos del 25% al 30%. En el rango inferior se encuentran los chocolates y las capas relativamente gruesas para confitería, revestimientos blancos y pastel, pinturas de aceite para helados y el chocolate dulce.

En la parte superior del rango están los productos muy suaves y aquellos con licor alto en contenido de cacao o sólidos.

También en esta etapa, se manejan combinaciones de licor y cacao en polvo, que se mezclan en forma de pasta pesada para su posible utilización como saborizantes, en productos tales como el helado de chocolate. El objetivo puede ser llegar a un contenido de manteca de cacao total demasiado alto para el prensado directo, o para lograr resultados específicos de sabor a los que no se puede llegar con el licor de chocolate solo. Este tipo de chocolate sin azúcar, puede pasar a través de la operación de refinación, pero por lo general, ya es de textura fina suficiente para pasar a la siguiente fundición o etapa del proceso.

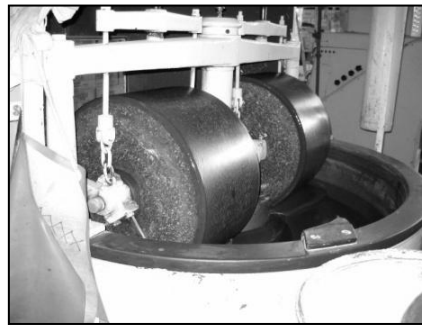
El equipo utilizado para la mezcla puede ser escogido entre muchos tipos diferentes. El mezclador antiguo, raramente se encuentra en las plantas modernas. Más habitual es la gran mezcladora pesada que se encarga de pasta espesa en lotes de 10 000 a 20000 libras.

Una alternativa es un tipo de mezcladoras de alta velocidad que maneja lotes más pequeños de unas 2 500 libras, pero la mezcla se completa en sólo 4 minutos o 5 en comparación con los 15-20 minutos requeridos por las ollas o mezcladoras lentas de gran tamaño.

El mezclador que esta cobrando auge últimamente, es el mezclador continuo, que en efecto se puede comparar a un transportador de gran desplazamiento, en el que un flujo continuo dosifica los ingredientes en las cantidades formuladas previamente.

El licor de chocolate y la manteca de cacao son extraídos de sus respectivos tanques de almacenamiento y depositados en medidores, que son pre-establecidos y que se apagan automáticamente, cuando los requisitos de formulación se cumplan. El azúcar y leche poseen un procedimiento semejante.¹

Figura 14. **Mezcladora industrial de chocolate**



Fuente: Planta de procesamiento de cacao.

2.6.7. Refinación

El único propósito de la refinación es reducir el tamaño de las partículas de los ingredientes a las dimensiones que sean exigidas por las especificaciones del producto en cuestión.

Este proceso se realiza en 4 etapas sucesivas, durante el paso por un refinador de 5-rodillos, en la que esta reducción es el resultado tanto del aplastamiento, como del cizallamiento. Esta máquina se compone de 5 cilindros convexos de aleación de acero especial, que trabajan uno encima del otro y girando en secuencia alternante. Los rodillos son huecos y cada uno es individualmente enfriado, por un flujo de agua controlado en su interior, que sirve para extraer el calor de fricción desarrollado.

La pasta de la mezcladora se alimenta entre los dos rodillos inferiores, que se encuentran a un ángulo de 45 ° C. Los restantes 3 rodillos se colocan uno encima del otro.

Dado que los rodillos giran en secuencia alternante, la pasta es introducida en la abertura entre los rodillos No. 1 y No. 2. Este último está girando más rápido que el No. 1. Así que la pasta se traslada del No.1 al No. 2 y viaja por el No. 2 a su punto de contacto con el tercero de los rodillos. Este último esta a su vez, girando en sentido opuesto y a una velocidad de revoluciones por minuto superior al No. 2, de modo que la pasta entra en la abertura entre los rodillos y se transfiere al No. 3.

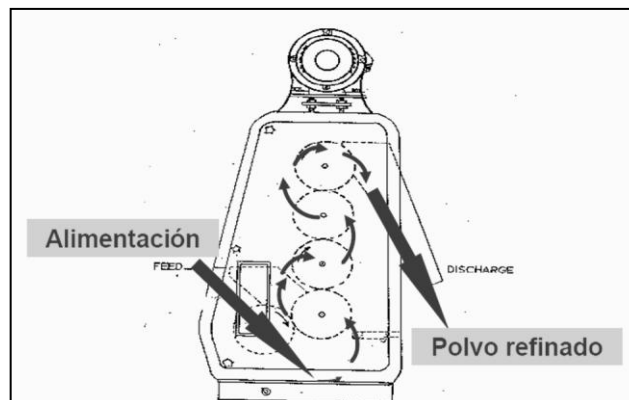
El proceso anterior se repite sucesivamente por los rodillos No. 4 y No. 5, la pasta de haber sido definitivamente raspado rodillo limpio aumentando la velocidad del número 1 al N ° 5, la pasta totalmente refinada es raspada del rodillo No. 5 antes que se vuelva a poner en contacto con el rodillo No. 4. La velocidad de los rodillos se incrementa poco a poco del número 1 al número 5 llegando a un máximo fijado por el fabricante del equipo. Hubo un tiempo en el que la velocidad del rodillo superior fue de alrededor de 135 rpm. En la actualidad las refinerías de alta velocidad operan con los rodillos superiores a velocidades de 260 a 300 rpm.

Figura 15. **Molino refinador de 5 rodillos**



Fuente: Planta de procesamiento de cacao.

Figura 16. **Principio de funcionamiento del molino refinador de 5 rodillos.**



Fuente: www.taringa.net. Consulta en 14/08/10.

El tamaño de la abertura o la presión entre cada par de rodillos es ajustable por el operador que controla así la dimensión de las partículas en el chocolate. Gran destreza y cuidado son necesarios para establecer un mantenimiento de los rodillos de manera uniforme en su longitud, esto es una condición necesaria para que la cobertura uniforme y de refinación puedan alcanzarse. La más mínima desviación de la presión en un par de rodillos no solo resulta en una textura variable de la refinación final, adherencia de capas de pasta de cacao en la superficie de los rodillos, sino que además causa puntos calientes que alteran el producto final y dañan el equipo.

Un refinador moderno de velocidad alta refinará de 350 libras a 2 000 libras de pasta por hora, dependiendo de la configuración, y con una sola pasada por el refinador, puede reducir a un tamaño de partículas en el que la dimensión más grande, sea de 0,0003 de pulgada.

La lengua humana promedio, no puede distinguir las partículas separadas de este tamaño, y sólo unas pocas personas pueden percibir a partir de 0,0005 de pulgada. Este volumen de producción y la considerable reducción de tamaño de partículas, esta muy lejos de las capacidades de los tipos más antiguos de las refinerías. Lo que hoy llamamos suavizar el chocolate no era solicitado hasta este siglo.

Si la pasta de chocolate que se alimenta al refinador, es muy delgada, el exceso de manteca de cacao llevará muy poco de los sólidos, viajará a través de los rodillos en primer lugar, dejando una pasta muy pesada. Sólo cuando la pasta se vuelve lo suficientemente consistente como para viajar a través de las aberturas de los rodillos, ésta lo hará. Es por esta razón, que la consistencia apropiada de la pasta mezclada es importante.

Por lo menos cuatro factores, están involucrados en el cambio de sabores fácilmente detectables, que se lleva a cabo en la pasta de chocolate, ya sea durante la refinación real o como consecuencia tardía. Ellos son: la evaporación, el efecto del tamaño de partículas sobre una apreciación sensorial, la oxidación y la interacción química entre los cuerpos de sabor.

- Obviamente, desde que el chocolate es expuesto a la atmósfera, en una forma de una capa extremadamente delgada, la evaporación de las sustancias volátiles y humedad ocurrirá durante el tiempo de exposición. La pérdida de sustancias volátiles, puede ser buena o mala, dependiendo de la identidad de estas sustancias; y será gobernada por el grado de humedad y temperatura, existentes en la sala de refinado.
- La forma en que los sentidos del gusto y del olfato perciben, se traduce en una sensación compuesta de sabor, que se ve afectada por el tamaño de partícula. Para ilustrar la afirmación, el sabor en la boca de dos porciones distintas de azúcar y licor de chocolate, no es lo mismo que la sensación experimentada por la premezcla de los mismos materiales. La homogeneidad de la mezcla, y por lo tanto la separación de partículas de gran tamaño, no se dará de la misma manera que con partículas pequeñas.

Por ello la capacidad de las terminaciones nerviosas de combinar dulzura y amargura, en una sola sensación de sabor bien definido, depende al menos en parte del tamaño de partícula de los diferentes ingredientes.

- El grado de oxidación, que puede tener lugar en el poco tiempo requerido por el refino, es tan pequeño, que probablemente no podría medirse analíticamente. Se puede suponer que la oxidación se lleva a cabo, por la

sencilla razón de que sería imposible detenerla, bajo las condiciones existentes durante la refinación. Incluso una cantidad pequeña de oxidación inconmensurablemente afectará el sabor, y por lo tanto se incluye aquí como un factor.

- El término cuerpos de sabor se utiliza para cubrir todos los materiales orgánicos, tanto conocidos como desconocidos, que contribuyen al sabor. Lo que sí se sabe, es que muchas de estas sustancias reaccionan entre sí para formar compuestos alterados o totalmente nuevos. Como en cualquier reacción química, una mayor actividad se ve acompañada por un contacto más íntimo entre las moléculas, y este es progresivamente mayor a medida que se reduce el tamaño de partícula.

2.6.8. Conchado (maduración del chocolate)

2.6.8.1. Fundamento del conchado

La operación de conchar, es de capital importancia en la producción del chocolate. Durante esta operación, se están teniendo lugar procesos físicos y químicos concurrentemente, que no deben ser considerados por separado. Se cuentan entre ellos, el desarrollo del deseado sabor a chocolate y también la conversión del producto refinado pulverulento arenoso en una suspensión fluente de azúcar, cacao (y otras grasas si fuera conveniente).

El desarrollo de la cromatografía de gases y las mejoras en la interpretación de los datos suministrados por ella, nos permitió comprender alguna de las reacciones químicas y de las alteraciones que se producen.

Es importante que el conchado no se estudie aisladamente. Los procesos que se iniciaron durante la fermentación y la tostación, se completan en la concha. Si, debido a un procesamiento incorrecto o al mal estado de las habas, se produjo ya algún perjuicio en el sabor, esto se puede arreglar en la concha.

La temperatura más elevada de la tostación, sin embargo, permite que estas reacciones se produzcan con mayor rapidez en este proceso, que las que tienen lugar a la baja temperatura del conchado. Algunos componentes saborizantes, como las pirazinas, requieren la temperatura más alta suministrada por la torrefacción, mientras que otras sustancias saborizantes se desarrollan más lentamente en la concha.

Esto indica que se deberá tener cuidado durante el proceso de tostación, para asegurar que el ácido acético, los aldehídos de punto de ebullición más bajo y las pirazinastermosensibles no se desprendan totalmente. En otras palabras, el contenido de humedad de las habas tostadas no debe ser inferior de 2-2,5%.

Se debe evitar la aplicación de vacío, ya que se volatilizan sustancias, que tienen punto de ebullición semejante y que son perjudiciales unas y beneficiosas otras para el sabor. El conchado es necesario para completar el desarrollo de sabor, que se inició en la tostación y/o en el procesamiento en capa fina.

En la concha, el contenido de agua de la masa de chocolate desciende desde 1,6% a 0,6% - 0,8%. Al irse eliminando la humedad, se lleva consigo muchas sustancias de sabor no deseado. De esta forma, se volatiliza aproximadamente el 30% de ácido acético y hasta el 50% de aldehídos de bajo punto de ebullición. Esta volatilización es favorecida considerablemente por medio del llamado conchado seco de la masa de chocolate con contenido graso relativamente bajo.

Es necesaria la eliminación parcial de estas sustancias ácidas volatilizadas, para dar al chocolate acabado el sabor pleno redondo. Se puede ayudar a la eliminación de humedad, mediante la ventilación adicional en la concha, pero esto no introduce alteraciones químicas adicionales. Hubo un tiempo en el que se creía incorrectamente, que esto oxidaría los taninos e intervendría en el desarrollo del sabor.

La teoría desarrollada por *Strecker* de la liberación de aminoácidos, después de la tostación, parece muy probable. Esto sugiere que durante el conchado, tiene lugar una formación significativa de aminoácidos libres, la cual está conectada con el desarrollo de sabor en el chocolate. De hecho, la cantidad de aminoácidos producida, durante el conchado, corresponde aproximadamente a una tercera parte o la mitad de la que se forma durante la tostación.

Los aminoácidos libres, junto con los azúcares reductores, son los precursores del sabor de los cuales se deriva la variedad de sabores durante el calentamiento, por medio de las reacciones de *Maillard*. Durante la tostación, aproximadamente el 50% de los aminoácidos libres que se han creado, son también destruidos. El resto queda disponible en la concha como precursores del sabor.

La liberación posterior de aminoácidos es lenta, debido a las relativamente bajas temperaturas de la concha. Se ha demostrado que las fuerzas de cizalladura de la concha, no solamente atienden al propósito de licuar la masa, sino que también influyen positivamente y aceleran los procesos de desarrollo de sabor.

2.6.8.2. Licuación y fuerzas de cizalladura

Durante el ciclo de conchado se ejercen las fuerzas de compresión y de cizalladura, con el fin de separar los glomérulos formados durante la trituración, para recubrir las partículas unitarias con grasa y dispersar la fase de manteca de cacao por todo el chocolate. El trabajo físico de la concha es el de dispersar, desecar, eliminar sustancias volátiles y homogenizar, con el fin de mejorar la viscosidad, aumentar la afluencia, mejorar la textura y producir chocolate con buenas características de fusión. La eficacia de la concha, por lo tanto, depende mucho de la buena disposición de los brazos para cortar y amasar y de la precisión de los controles térmicos.

La consistencia apropiada del material de alimentación de la concha ha de ser pulverulenta y blanda, pero que no fluya bajo la acción de la gravedad. La viscosidad efectiva desciende a medida que se eleva la temperatura y también depende de la intensidad de la fuerza aplicada, es decir, de la velocidad y frecuencia de los elementos de amasado. Se necesita la acción continuada de amasado que aporte alto esfuerzo cortante, plegado repetido, utilización de flujos de retroceso, subdivisiones mecánicas de flujo y la reordenación de partículas permanente.

La reducción de material deformable entre planos paralelos se reduce a una acción de cizallamiento lineal. Si el material está estacionario en un plano, por ejemplo en la pared de la máquina, queda sometido a un régimen variable de cizalladura, generalmente distribuido parabólicamente. Dado un comportamiento sin turbulencias, la cizalladura laminar de este tipo hace que las partículas en suspensión se recubran con la fase líquida; las partículas, sean sólidas o elásticas, también tienden a girar y emigrar a las líneas vecinas de corriente.

Por esta acción también se deshacen las aglomeraciones de partículas. Generalmente, la intensidad de la acción dispersante se expresa como una acción de cizalladura, la cual se expresa a su vez como la velocidad relativa de cualquiera de los dos planos dividida por la distancia que los separa.

Cuando los planos de movimiento relativo no son puramente paralelos, se establecen fuerzas combinadas de cizalladura y de compresión (provocando un flujo en forma de cuña).

Las combinaciones convenientes de las fuerzas y movimiento producen flujos efectivos de retroceso y movimiento circulares de mezcla. Estos principios teóricos se han aplicado con éxito en el diseño de los elementos de amasado y cizallamiento de las conchas. Por medio de recirculación continua y variaciones en las direcciones de las corrientes, se producen las fuerzas de cizallamiento, localizándose el efecto de cizallamiento principalmente en la pared y en las rasquetas. En estos lugares es posible medir la acción de cizallamiento por la velocidad relativa de los dos planos dividida entre la distancia que los separa.

La potencia requerida para esta reducción depende de las propiedades reológicas del producto. El tamaño de partícula, el contenido de grasa y

especialmente el de agua, afectan al calor desarrollado por fricción durante el proceso del cizallamiento. La masa se va suavizando a medida que se funde la grasa, lo cual a su vez, provoca el recubrimiento más rápido de las partículas. A medida que progresa el tratamiento, decaen las necesidades de energía de la concha.

Si la pared estacionaria (pared de la concha) se enfría en lugar de calentarse, pronto o tarde, la masa se vuelve pastosa, lo cual afecta fuertemente a la utilización de la fuerza motriz.

Al comienzo del proceso, durante el período de desecación del conchado, es deseable comunicar a la masa toda la energía posible con el fin de producir las fuerzas de cizalladura tan grandes como sea factible.

Se necesita que la elevación de la temperatura sea lenta, con el fin de evaporar satisfactoriamente la humedad de la masa (se arrastran así también muchos volátiles orgánicos). A primera vista, parece contradictorio, pero si la elevación de temperatura tiene lugar demasiado rápidamente, las partículas sólidas se recubren con grasa antes de que escape la humedad. Esto tiene dos efectos muy perjudiciales.

En primer lugar, los componentes hidrosolubles volátiles, componentes indeseables del sabor, se eliminan a velocidad muy reducida.

En segundo lugar, el agua espesa el chocolate por sus reacciones con el material hidrófilo que contiene este. No se produce ya reducción de las partículas en la concha, aunque algunas superficies cristalinas pueden estar sometidas a suavizamiento y acabado.

2.6.8.3. Fases de la operación de conchado

Hay tres fases en la operación de conchado, cada una de las cuales exige más o menos el mismo tiempo.

- Fase seca:cizalladura, evaporación de humedad, eliminación de otras sustancias volátiles.
- Fase pastosa:desarrollo de sabor por medio de cizalladura y calentamiento, eliminación de humedad, homogenización.
- Fase líquida:homogenización por medio de agitación intensa, cizalladura.

En la operación bien realizada, la temperatura ha de elevarse lentamente hasta el nivel correspondiente al sabor deseado de chocolate. Durante la fase pastosa, es necesario mantener permanentemente la temperatura en el conchado con el fin de obtener resultados reproducibles de sabor. Para esto es ventajoso utilizar una camisa de agua termostática en la concha, capaz de reaccionar espontáneamente a las alteraciones de temperatura.

A medida que progresa el conchado, mejoran las propiedades de fluencia. Esto se debe principalmente a la disminución de agua contenida, junto con el recubrimiento de manteca de cacao por entre las superficies de las partículas. Se considera que esta formación de película grasa estable, entre y por encima de las partículas, es particularmente influyente. Quizá merece la pena mencionar que los contenidos de humedad inferiores a 0,6% no han mostrado mejoría posterior en las propiedades de flujo del chocolate. Sin embargo, la reducción de un 0,15% de humedad, conseguida por conchado intenso de desecación, es equivalente a un ahorro de grasa de 1,5%.

La reducción final de viscosidad se consigue en o cerca del final del conchado, mediante la adición de un agente emulsionante como la lecitina. Esta adición debe hacerse a temperatura moderada y lo más tarde posible. Está generalmente aceptado que una parte de lecitina comercial puede sustituir a 9 o 10 partes de manteca de cacao, de modo que, comercialmente, la lecitina es un constituyente muy importante del chocolate.

No todos los países permiten la utilización de otros agentes tensoactivos tales como los fosfátidos amónicos (YN) y el polirricinoleato de poliglicerol (PGPR). El fosfátido amónico (YN) del chocolate oscuro, no reduce el valor mínimo tanto como la lecitina (126% del valor para la lecitina), pero tiene el mismo efecto sobre la viscosidad plástica.

En el chocolate con leche, la viscosidad plástica aumenta. Sin embargo, el valor mínimo cae a la mitad del valor para la lecitina. El polirricinoleato de poliglicerol (PGPR) tiene efecto dramático sobre los valores mínimos. En comparación con la lecitina son posibles valores de cero.

Se pueden añadir combinaciones de diferentes agentes tensoactivos, produciendo efectos diversos según las proporciones utilizadas. Si se solidifica y vuelve a fundir varias veces el chocolate, se produce aumento, tanto de su viscosidad plástica como del valor mínimo.

2.6.8.4. Tipos de concha

Se puede considerar que los precursores de las conchas actuales fueron las piedras de molino mexicanas. Ya en 1878, Rudi Lindt observó el efecto enriquecedor del sabor producido por el movimiento continuado durante largos períodos del chocolate. Así empezó el desarrollo de la concha longitudinal. Aun cuando se desarrollaron nuevos tipos de concha, muchos productores de chocolate de alta calidad prefirieron mantener el tipo longitudinal a causa de sus excepcionales propiedades para desarrollar buen sabor.

Las conchas longitudinales tenían varias desventajas importantes, notablemente su alto consumo de energía, pequeña capacidad, pobre control de temperatura y especialmente su incapacidad para la fase de desecación en la concha, lo que traía como consecuencia largos tiempos de conchado. A causa de esto, las conchas rotatorias han ido reemplazando a las longitudinales.

Además de estos dos tipos de concha, se han desarrollado procedimientos en los que el desarrollo de sabor se realiza principalmente conchado de la pasta de cacao sola (o con pequeña proporción de otros ingredientes). La operación tradicional de conchado se reduce entonces principalmente a licuar el producto.

Históricamente no ha habido gran número de fabricantes de conchas. A diferencia de otros fabricantes, *Bauermeister* y Co. Construyeron una concha redonda hacia 1960. Su eje estaba inclinado a 45° y la artesa era giratoria (concha rotatoria). En el interior estaba dotada de una rasqueta que podía funcionar independientemente del movimiento rotatorio de la artesa. El eje

central estaba dotado de un sinfín helicoidal para asegurarse el transporte de la masa en la dirección axial.

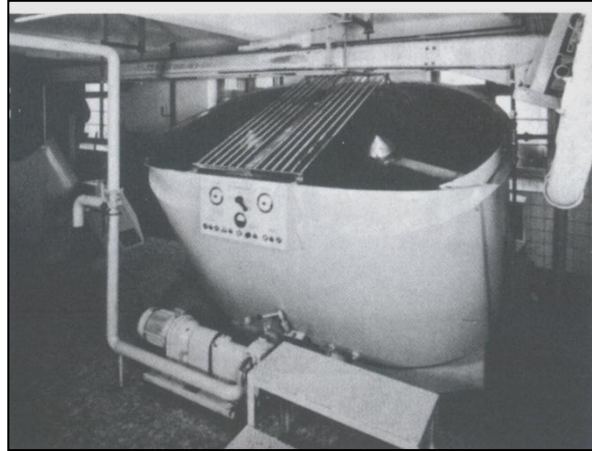
El calentamiento estaba encomendado a la fricción, o adicionalmente gracias a una lámpara de infrarrojos. Se podía disponer de enfriamiento por aire. La capacidad de cada tanda era de 2-3 toneladas. La concha rotatoria podía operar con material seco grumoso y, por lo tanto, se podía realizar el conchado seco.

A causa de su pequeña capacidad, deficiente control de temperatura y construcción muy complicada, este tipo de concha se utilizó durante un período de tiempo muy corto antes de ser reemplazado por la *Bauermeister Dry Round Conche* TRC con la que se consiguió mayor capacidad (hasta 6 toneladas). La posición inclinada y disposición en forma de arado de los elementos activos, aumenta la velocidad de transformación de la superficie del producto y la aireación intensiva y amasado en la fase seca.

La transmisión de energía se realiza con dos velocidades: el conchado seco se realiza a velocidad inferior y la fase líquida a la superior. El recipiente está dotado de camisa para la refrigeración o calefacción.

La temperatura se eleva durante la fase seca, debido al calor de fricción. Esta acción de amasado y diseño de la concha produce gran superficie del producto donde las sustancias volátiles pueden escapar.

Figura 17. **Concha *Bauermeister* giratoria**



Fuente: Planta de procesamiento de cacao.

2.6.9. Moldeo del chocolate

El moldeo es un método de producir piezas con tamaños precisos. Como su nombre sugiere, los moldes son la parte principal de la instalación. Estos pueden estar acoplados a estructuras portadoras a las cadenas del circuito.

Otro método es el sistema de moldes sueltos en el cual, unas prolongaciones de las cadenas portadoras se acoplan en alojamientos especialmente diseñados en el molde.

La limpieza es una exigencia necesaria, ya que los moldes acumulan muy rápidamente exceso de chocolate en los bordes de entrada y salida del molde que rodea el dulce. Esto puede producir graves problemas de infestación cuando algo de este material cae a los enfriadores principales.

Los moldes se hacían inicialmente de metal, con impresiones estampadas que representaban la réplica hembra de la forma elegida para el dulce. Estas impresiones se producían en planchas planas estampadas con una fecha para la localización y ensamblaje final. Los dos se forjaban juntas utilizando estaño de soldar puro, de calidad alimentaria y el necesario pulimento de muy alta calidad. Los moldes metálicos eran muy pesados y hoy se han reemplazado en la mayoría de las instalaciones por moldes de plástico inyectado. Estos últimos presentan la ventaja de sus buenas características de desmoldeo.

Figura 18. **Moldeo del chocolate**



Fuente: www.cocinaytu.com. Consulta en 14/08/10.

2.6.10. Solidificación (túneles de enfriamiento)

Luego del moldeo del chocolate, se realiza el enfriamiento del mismo. En enfriamiento es una combinación de conducción, convección y radiación. Los enfriadores para chocolate han tomado muchas formas y se han basado en numerosos principios, que incorporaban varios aspectos y prácticas tradicionales, no todas de las cuales eran correctas.

En todos los enfriadores, una vez que se ha bañado el centro, la cristalización avanzada debe proceder sin otro tratamiento a medida que el

chocolate se va solidificando. Solamente se necesita la temperatura ligeramente inferior para completar la transición desde el estado plástico al sólido. A pesar del hecho de que el chocolate se solidificará rápidamente en aire libre frío, necesitamos enfriadores. Estos enfriadores suministran ambiente estándar y pueden dar refrigeración eficiente a los regímenes de producción de fábrica cuando las puestas a punto son correctas.

Para enfriar y solidificar apropiadamente el chocolate, se debe dejar en primer lugar que se enfríe suavemente, en condiciones de, bien radiación, o de aire en movimiento ligero. Se acepta que el chocolate que abandona el baño no debe ser sometido a un enfriamiento fuerte, ya que esto tiene el efecto de segregar la manteca de cacao hacia la superficie del producto conduciendo rápidamente a la producción de la eflorescencia grasa.

La segunda etapa del enfriamiento debe ser un enfriamiento forzado a temperaturas suaves (13°C , 55°F), o por convección/radiación. Se encuentra ventajoso el enfriamiento zonal cuando las cargas de enfriamiento son altas.

La parte más fría del refrigerador puede estar situada para contrarrestar en el punto de liberación de calor latente del ciclo de enfriamiento del chocolate.

Obsérvese que el calor específico es inferior al calor latente, por lo tanto, se libera repentinamente grandes cantidades de energía después del enfriamiento inicial. Las temperaturas de un enfriador de chorro con turbulencia pueden ser tan bajas como 10°C , lo que produce un enfriamiento eficaz.

Existe una controversia sobre el mejor método para enfriar el chocolate, ya que funcionan tanto el método de radiación como el de convección. Aunque según estudios el enfriamiento por radiación elimina sólo aproximadamente el

7% de la carga de enfriamiento (la radiación es eficaz solamente cuando existen diferencias enormes de temperatura, en este caso, entre el producto y la placa). Se reconoce que el más eficaz es el enfriamiento por conducción o contacto, ya que está casi en contacto íntimo con el producto.

El cálculo demuestra que el área de la base del artículo suministra superficie muy grande para el contacto de la refrigeración que juega un papel importante en el enfriamiento total. En algunos productos de perfil bajo, puede llevar el 50% de la carga de enfriamiento.

El enfriamiento por convección forzada es la forma que sigue en eficacia, ya que están expuestos a la corriente de aire la parte superior y los laterales. Esto es análogo al factor tiempo, es decir, la rápida eliminación del calor debida a la velocidad del viento.

El aire en movimiento rápido e incluso las corrientes de convección lentas son más eficaces que el enfriamiento por radiación, permitiendo la operación a temperaturas más altas, y pudiendo evitar por completo los problemas de condensación.

El tiempo para enfriar está limitado por el atemperado, el tipo y espesor de la capa de chocolate y también esta determinado por la calidad deseada en la base. Las formulaciones en algunos países son tan variadas que puede ser necesario hacer algunos tanteos. El enfriamiento por contacto, aunque excelente, puede ser decepcionante; puede haberse producido solamente enfriamiento superficial en el enfriamiento por contacto y el problema sobreviene al separar el producto de la cinta transportadora. Incluso aunque el enfriamiento superficial proporcione un aspecto aparente de dureza y brillantez

al principio en el ciclo de enfriamiento, la condición de la base no se ve y la solidificación total es muy lenta.

Cuando se siguen tiempos de enfriamiento de 6 a 10 minutos en lugar de los 20 a 30 necesarios, se producen acabados en la base inferior con brillo y zonas con manchas mate. Los estándares en la industria confitera sin embargo, por lo general se han relajado y la calidad de la base se ha reducido.

2.6.11. Empaquetado

Las exigencias básicas del empaquetado del chocolate son relativamente sencillas. Necesita protección contra el manejo, suciedad, manchas e infestación por insectos, así como también contra la humedad.

Figura 19. Túnel de enfriamiento del chocolate



Fuente: BECKETT, S.T. Fabricación y utilización industrial del chocolate. p. 312.

Durante muchos años, la protección ha estado a cargo de la hoja de aluminio (o de su antecesor “papel de estaño”), con una faja de papel o funda encargada de la atracción y de expresar la, cada vez más voluminosa, información legalmente exigida del producto.

Parece poco probable que los bloques de chocolate de forma regular se aparten de este empaquetado tradicional. Las reducciones en el espesor de la hoja, en la superficie de la hoja utilizada y economías semejantes en el papel usado, dan por resultado la alta economía de este estilo de empaquetado. No se produce aumento de espacio cuando se apilan juntos los paquetes individuales en cajas o cajones, con lo que los costos de distribución se minimizan.

Lo más importante, la investigación amplia del mercado continúa indicando que el consumidor asocia este estilo de empaquetado con el producto, incluyendo las tradicionales tabletas planas rellenas con crema.

Generalmente se empaquetan juntas en una caja un cierto número de tabletas del orden de dos a seis docenas, esta caja suele ser de cartulina dura, pero es frecuente utilizar cartón corrugado cuando se necesita reforzar la resistencia. Si esta caja se ha de utilizar para exposición, se suelen disponer las tabletas de plano, pero si se trata solamente de transporte, viajarán mejor permaneciendo de canto. Si se necesita aumentar la conservación, se puede envolver con película termosellante. Esto impermeabiliza ante prácticamente todos los peligros de la distribución pero es caro.

Se puede aportar protección, aunque en menor grado, pero perfectamente adecuada para climas moderados, envolviendo la caja con polietileno o con una película impermeable.

Para la mayoría de los mercados, se coloca en un embalaje de cartón corrugado, un determinado número de cajas y este embalaje se puede encolar. De otra forma, se pueden colocar varias cajas unas junto a las otras y

envolverlas en película transparente contráctil, para facilitar el manejo, aunque la unidad acabada es menos resistente que el embalaje anteriormente descrito.

Muchos clientes insisten en que se les facilite la disminución de mano de obra, el mínimo de materiales de empaquetado a desechar y el máximo de presentación de producto.

Estas exigencias se pueden cumplir, usando grandes bandejas que pueden pasar directamente a las estanterías y un cierto número de estas bandejas se pueden incluir en cajas o envolver juntas.

Un paso, todavía mayor, para el transporte y exposición, es la caja *pallet* en la cual, un contenedor grande, generalmente de cartón corrugado, con su propia base integral de pallet, se llena con el producto. Todo lo que ha de hacer el encargado de la tienda es quitar el precinto y dejar caer la parte frontal para que instantáneamente resulte la exposición.

2.7. Principales propiedades del chocolate

2.7.1. Punto de fusión

La principal propiedad fisicoquímica del chocolate reconocida inconscientemente por los consumidores es el punto de fusión que el mismo posee, ya que este punto se encuentra muy cerca de la temperatura corporal, por lo que, al entrar el chocolate en contacto con el paladar, el mismo se funde, lo que genera la sensación característica al consumir el mismo.

El punto de fusión es la temperatura a la cual la materia pasa de estado sólido a estado líquido es decir se funde. A diferencia del punto de ebullición, el punto de fusión es relativamente insensible a la presión y, por tanto, pueden ser utilizados para caracterizar compuestos orgánicos y para comprobar la pureza.

El punto de fusión de una sustancia pura es siempre más alto y tiene una gama más pequeña que el punto de fusión de una sustancia impura. Cuanto más impuro sea, más bajo es el punto de fusión y más amplia es la gama. Eventualmente, se alcanza un punto de fusión mínimo. El cociente de la mezcla que da lugar al punto de fusión posible más bajo se conoce como el punto eutéctico, perteneciente a cada átomo de temperatura de la sustancia a la cual se someta a la fusión.

El principal responsable de las características del punto de fusión del chocolate es la manteca de cacao o el reemplazante de la misma. Por lo que es importante que la curva de sólidos totales del reemplazante de manteca de cacao sea muy similar al de la manteca de cacao para no influir ni cambiar en dicha propiedad el producto final.

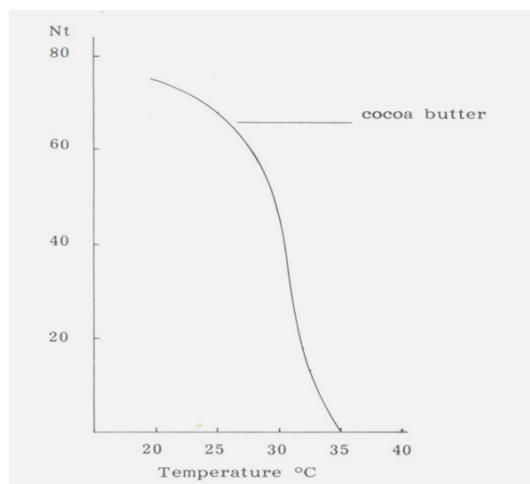
Como se muestra en la siguiente figura por encima de los 25°C la cantidad de sólidos totales en la mezcla de chocolate se reduce drásticamente.

La ausencia de sólidos a la temperatura corporal en combinación con el rango de fusión dado por la grasa brinda una agradable sensación en la boca.

2.7.2. Viscosidad

La viscosidad es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal. En realidad todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad, siendo el modelo de viscosidad nula una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones.

Figura 20. **Gráfica de los sólidos totales en la manteca de cacao según la temperatura**



Fuente: BECKETT, S.T. Fabricación y utilización industrial del chocolate. p. 58.

La viscosidad es una propiedad de los fluidos que es de gran importancia en múltiples procesos industriales, además de ser una variable de gran influencia en las mediciones de flujo de fluidos, el valor de viscosidad se usa como punto de referencia en la formulación de nuevos productos, facilitando la reproducción de la consistencia de un lote a otro.

La viscosidad de un fluido puede medirse por un parámetro dependiente de la temperatura llamado coeficiente de viscosidad o simplemente viscosidad:

- Coeficiente de viscosidad dinámico, designado como η o μ . En unidades en el SI: $[\mu] = [\text{Pa}\cdot\text{s}] = [\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}]$; otras unidades: $1 \text{ Poise} = 1 [\text{P}] = 10^{-1} [\text{Pa}\cdot\text{s}] = [10^{-1} \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}]$
- Coeficiente de viscosidad cinemático, designado como ν , y que resulta ser igual al cociente del coeficiente de viscosidad dinámica entre la densidad $\nu = \mu/\rho$. (En unidades en el SI: $[\nu] = [\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}]$. En el sistema cegesimal es el *Stoke*(St).

La viscosidad del licor de chocolate siempre es menor que la del chocolate procesado, además las mediciones de viscosidad del licor de molienda así como del chocolate deben realizarse a una temperatura superior a los 40°C.

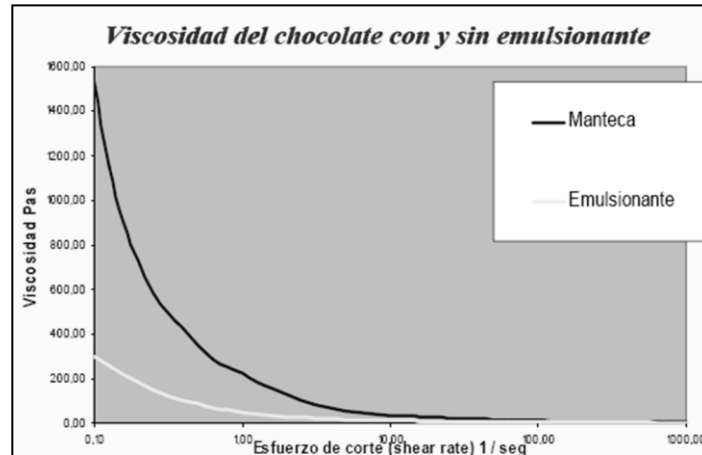
La viscosidad es afectada de manera directa por el emulsionante utilizado, en el caso del chocolate de leche, por la lecitina.

2.7.3. Densidad

La densidad de una sustancia, simbolizada habitualmente por la letra griega ρ , es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen.

La densidad puede obtenerse de forma indirecta y de forma directa. Para la obtención indirecta de la densidad, se miden la masa y el volumen por separado y posteriormente se calcula la densidad.

Figura 21. **Viscosidad del chocolate con y sin emulsionante.**



Fuente: www.educared.net. Consulta en 16/08/10.

La masa se mide habitualmente con una balanza, mientras que el volumen puede medirse determinando la forma del objeto y midiendo las dimensiones apropiadas o mediante el desplazamiento de un líquido, entre otros métodos.

Entre los instrumentos más comunes para la medida de densidades se tienen:

- El densímetro, que permite la medida directa de la densidad de un líquido
- El picnómetro, es un aparato que permite la medida precisa de la densidad de sólidos, líquidos y gases picnómetro de gas.
- La balanza de Mohr es una variante de balanza hidrostática que permite la medida precisa de la densidad de líquidos.

Otra posibilidad para determinar las densidades de líquidos y gases es utilizar un instrumento digital basado en el principio del tubo en U oscilante.

2.7.4. Brillo

El brillo es el resultado de la reflexión y la refracción de la luz en la superficie de un material. En general, el brillo es función del índice de refracción de la superficie, del grado de absorción de la luz incidente y de otros factores, como las características concretas de la superficie observada.

Se puede definir el brillo como una relación entre la cantidad de luz que incide en la superficie del mineral y la cantidad de luz que se refleja.

Uno de los factores más importantes en la producción de chocolate es la presentación final y el brillo del mismo es un aspecto que determina totalmente su calidad. El brillo en el chocolate se alcanza al realizar un correcto proceso de templado y de enfriamiento. Si en caso no se realizará un templado de chocolate, es de suma importancia los emulsionantes, como la lecitina, en adecuadas concentraciones, que permitirán darle un acabado final agradable y brillante siempre y cuando se realice un correcto proceso de enfriamiento. Cabe resaltar que un proceso sin templado el brillo es más complicado de controlar.

3. METODOLOGÍA

3.1. Variables

3.1.1. Variables

Como resultado de la revisión bibliográfica, sobre los factores que influyen en las características fisicoquímicas de la producción de chocolate, se determinaron las variables de entrada a modificar, para medir el efecto sobre los resultados; además se determinaron que factores se mantendrían constantes, tanto para las operaciones unitarias, como para la realización de las formulaciones.

Tabla VI. **Variables de monitoreo en operaciones unitarias**

Operación unitaria	Variabes independientes	Variabes dependientes
Limpieza	Rpm	% Perdido de haba
Tostado	Rpm	Temperatura
	% Llenado	Tiempo
Descascarillado	Caudal de llenado	Longitud
		% Cascarilla
Quebrado	Rpm	% Haba
Secado	Temperatura	% Humedad
		Peso
Refino	Presión de rodillos	Granulometría de refino
Conchado	Temperatura	Viscosidad
		Consistencia

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Variables para la formulación del chocolate en barra**

No.	Variable	Factor potencial de diseño		Factores perturbadores	
		Constante	Variable	Controlables	No Controlables
1	Licor de chocolate		X	X	
2	Reemplazante de manteca de cacao		X	X	
3	Azúcar		X	X	
4	Leche en polvo		X	X	
5	Lecitina		X	X	
6	Cocoa		X	X	
7	Sal		X	X	
8	Reforzante de Sabor		X	X	
9	Volumen total	X		X	

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Método que se utilizará

- Análisis bibliográfico, método inductivo-deductivo, análisis de documentos, variación de concentraciones, análisis sensorial y método del tubo de *thiele* para medir punto de fusión.

3.1.3. Tamaño de partícula

Según granulometría obtenida en el refinado del polvo de cacao. (aproximadamente $180\mu\text{m} < \text{tamaño de partícula} \leq 149\mu\text{m}$).

3.2. Delimitación de campo de estudio

3.2.1. Diseño de tratamientos

La materia prima fue proporcionada por la empresa alimentaria. Dicha materia prima fue almacenada en recipientes color ambar, para evitar cualquier contaminación externa y cambio en sus propiedades iniciales. El licor de cacao fue tomado directamente del proceso a una temperatura de 45 °C.

Se llevará a cabo el método del tubo de *thiele* para determinar punto de fusión y un análisis sensorial, utilizando cinco formulaciones distintas, se realizarán cinco tratamientos para cada formulación del chocolate.

3.2.2. Manejo experimental

Se realizará un monitoreo constante, de las diferentes variables involucradas, en el proceso productivo, esto con el fin de realizar un análisis comparativo y estandarizar las variables de operación. Se obtendrán cinco formulaciones, que se realizarán con las materias primas a nivel laboratorio, emulando las condiciones del proceso industrial.

Es necesario comparar la estabilidad y propiedades organolépticas del producto terminado, por lo que se realizará un panel sensorial, con las diferentes formulaciones, para seleccionar una de las mismas y trasladarla al proceso industrial. De la misma manera con el producto terminado del proceso industrial, se realizará un panel sensorial, para comparar la formulación anterior con la nueva propuesta. El punto de fusión y la viscosidad serán analizadas mediante la utilización de un viscosímetro *Brookfield* y el método del tubo de *thiele*.

3.3. Recurso humano disponible

- Investigador: Edwin Arnoldo Ramírez Toledo
- Asesor: Ing. Qco. Cesar Alfonso García
- Co-Asesor: Ing. Qco. Adrian Soberanis

3.4. Recurso material disponible

3.4.1. Materia Prima

- Habas de cacao (*Theobroma Cacao*)
- Leche entera
- Azúcar refinada
- Lecitina de soja
- Sal
- Reforzador de sabor
- Vainilla
- Cocoa en polvo
- Reemplazante de manteca de cacao

3.4.2. Cristalería

- Tubos de *Thiele*
- *Beackers*
- Probeta
- Crisol
- Mortero

- Varillas de agitación
- Vidrios de reloj
- Recipientes herméticos

3.4.3. Equipo

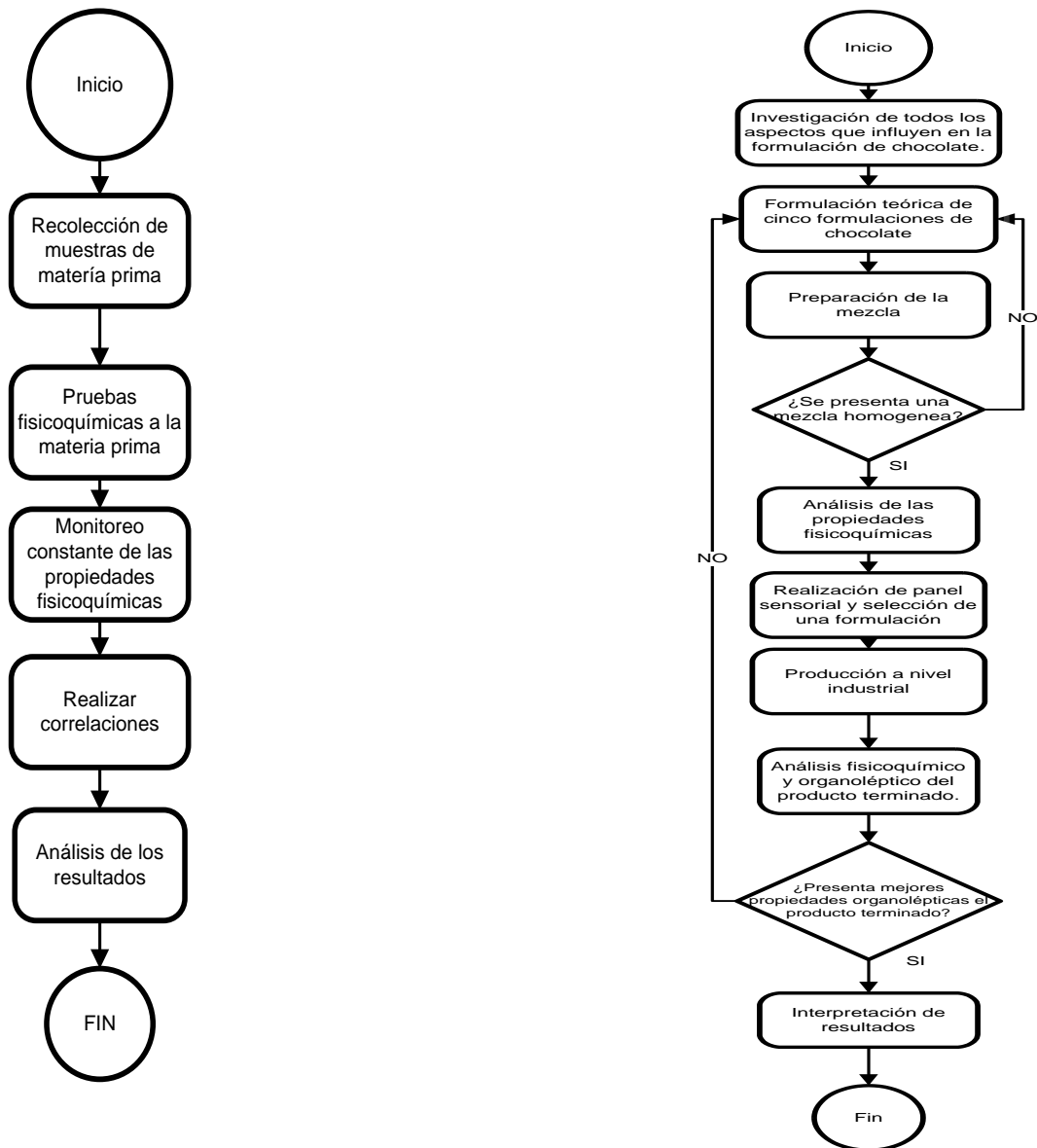
- Plancha de calentamiento-agitación, Marca: *CORNING*, modelo: PC-620, voltaje: 120 - 100 V, frecuencia: 60 Hz. Rango de temperatura: 0-480°C, revoluciones: 0-1100 rpm.
- Balanza, marca: Triple *Beam*, serie: 700/800 *OHAUS*, voltaje: no aplica, manual, máxima Capacidad: 2610 g, lectura Mínima: 0,1 g.
- Balanza analítica, marca: Tecnipesa, serie: SW-1/5, voltaje:110 W, máxima capacidad: 1,5 kg
- Horno, marca: *Precisión Científ Co.* Modelo: 18, voltaje: 120 V, frecuencia: 50/60 hz, temperatura máxima: 200°C.
- Agitador de cribas, marca: ROTAP, voltaje: 110 V, potencia: 900 W.
- Equipo industrial de chocolate.

3.5. Técnica cuantitativa o cualitativa

La técnica a utilizar en el presente trabajo es principalmente una técnica cualitativa ya que se realizarán paneles sensoriales para analizar las propiedades organolépticas. Cabe mencionar que se realizarán mediciones cuantitativas pero las mismas se harán únicamente a las propiedades fisicoquímicas , variables de proceso y concentraciones utilizadas.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Figura 22. Procedimientos para recolección de información



Fuente: elaboración propia.

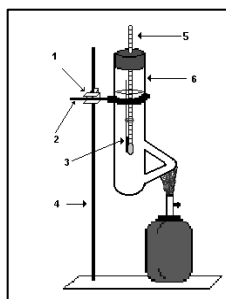
3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

3.7.1. Métodos para determinar las propiedades fisicoquímicas

Punto de fusión

- Introducir el termómetro en un tapón horadado que se ajuste a la boca del tubo de *Thiele*.
- Sujetar el capilar preparado previamente al termómetro, de modo que el extremo cerrado quede a la altura del bulbo.
- Sujetar el tubo de *Thiele* con una pinza a un soporte, agregar agua y colocar el tapón (con el termómetro y el capilar).
- Calentar, lentamente, el brazo lateral, para que el calor se propague por convección.
- Anotar la temperatura a la que se funde el sólido.

Figura 23. Sistema para utilización del tubo de *Thiele*



Fuente:www.educared.net. Consulta en 16/08/10.

3.7.2. Métodos para determinar las propiedades organolépticas

Análisis por medio de un panel sensorial: El análisis sensorial se realiza a través de los sentidos. Para este caso, es importante que los sentidos se encuentren bien desarrollados para emitir un resultado objetivo y no subjetivo.

La herramienta básica o principal para llevar a cabo el análisis sensorial son las personas, en lugar de utilizar una maquina, el instrumento de medición es el ser humano, ya que el ser humano es un ser sensitivo, sensible, y una maquina no puede dar los resultados que se necesitan para realizar un evaluación efectiva.

Para llevar a cabo el análisis sensorial de los alimentos, es necesario que se den las condiciones adecuadas (tiempo, espacio, entorno) para que éstas no influyan de forma negativa en los resultados, los catadores deben estar bien entrenados, lo que significa que deben de desarrollar cada vez más todos sus sentidos para que los resultados sean objetivos y no subjetivos.

En general el análisis se realiza con el fin de encontrar la fórmula adecuada que le agrade al consumidor, buscando también la calidad, e higiene del alimento para que tenga éxito en el mercado.

La comparación será la herramienta básica utilizada en el panel sensorial, para evaluar color, olor, brillo, textura y por supuesto sabor.

Se realizarán pruebas de preferencia:

- Cada persona poseerá una muestra de cada una de las formulaciones realizadas. Dichas formulaciones serán identificadas según un número correlativo.
- Se indicará el orden de degustación de las muestras.
- En la degustación final, deben probar primero la muestra bajo estudio y luego la muestra con la cual se compara.
- Cada persona deberá llenar una hoja de respuestas en la que indique cual fue su preferencia según cada aspecto y un breve comentario.

3.7. Análisis estadístico

Los cálculos que se realizarán durante el análisis de varianza en una dirección son los siguientes y también se ilustra el área de rechazo y aceptación en cada caso.

Tabla VIII. Organización de datos de ANDEVA

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculada
Tratamientos	SSA	k-1	$S_1^2 = \frac{SSA}{k-1}$	$\frac{S_1^2}{S^2}$
Error	SSE	k(n-1)	$S^2 = \frac{SSE}{k(n-1)}$	
Total	SST	nk-1		

Fuente: análisis estadístico bidireccional.

Tabla IX. **Significado y forma de calcular las sumas de cuadrados**

Suma deCuadrados	Forma deCalcular
SSA	$SST = \sum Y^2 - \frac{Y_t^2}{n}$
SSE	$SSA = \sum \frac{Y^2}{k} - \frac{Y_t^2}{n}$
SST	$SST - SSA = SSE$

Fuente: análisis estadístico bidireccional.

- Este análisis presenta el siguiente modelo:

$$y_{ij} = \mu + T_i + \Sigma_{ij}$$

En donde:

- y_{ij} = son las repeticiones de las corridas a evaluar
- μ = es una constante
- Σ_{ij} = es un término aleatorio
- T_i = es el comportamiento de la propiedad química

4. RESULTADOS

Tabla X. **Tamaño del haba de cacao utilizada en el proceso productivo**

Muestra	Tamaño (cm)	Media (cm)	Desviación Estándar (cm)	Especificación (cm)*
1	2,54	2,53	± 0,44	3 ± 0,5
2	2,10			
3	4,00			
4	3,00			
5	2,14			
6	2,00			
7	2,34			
8	2,29			
9	2,38			
10	2,49			
11	2,52			
12	2,51			
13	2,35			
14	2,22			
15	2,64			
16	2,55			
17	2,44			
18	2,38			
19	2,44			
20	2,64			
21	2,30			
22	2,32			
23	2,40			
24	2,51			
25	2,45			

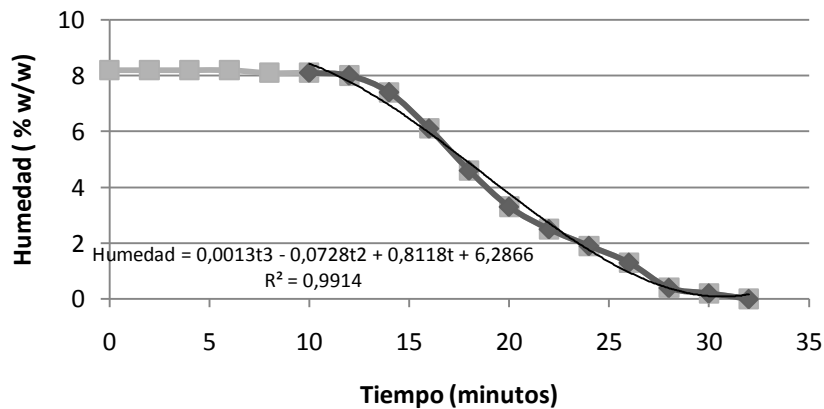
Fuente: sección datos calculados.

Tabla XI. **Porcentaje de humedad relativa del haba de cacao utilizada en el proceso productivo de elaboración de chocolate en barra**

LOTE	% Humedad	Media (%)	Desviación Estándar (%)	Especificación* (%)
1	8,65	7,80	±0,4821	8,0 ± 0,5
2	7,46			
3	7,62			
4	7,76			
5	7,55			

Fuente: sección datos calculados.

Figura 24. **Curva de tostado experimental para el haba de cacao utilizada en el proceso productivo de elaboración de chocolate en barra, a una temperatura de 140 °C, una carga de 20lbs y 45rpm, en un tostador marca *BülherMarth***



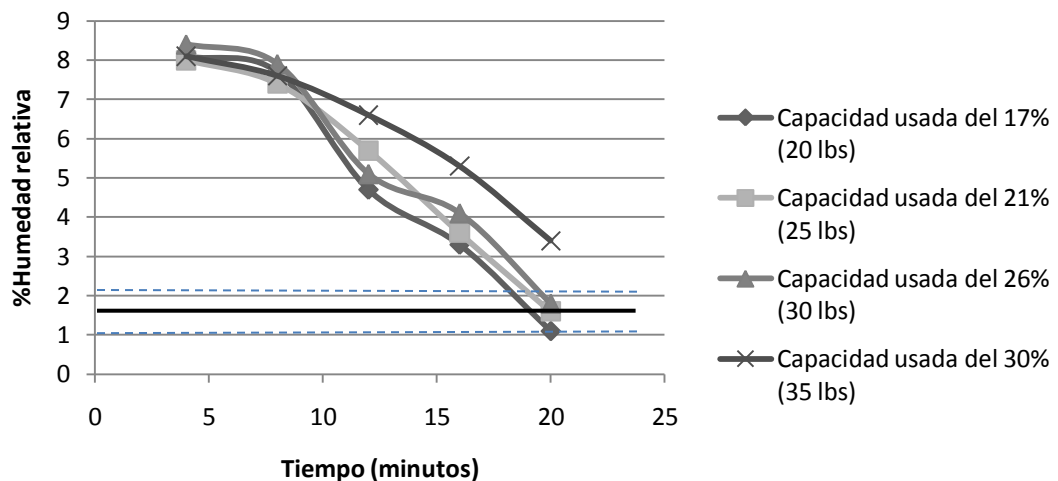
Fuente: sección datos calculados.

Tabla XII. **Porcentaje de peso perdido en la limpieza del haba de cacao utilizada en el proceso productivo de elaboración de chocolate en barra**

LOTE	% Peso perdido	Media de lotes	Desviación Estándar	Especificación
1	0,50	0,83	±0,237	1,0 ± 0,5 %
2	0,98			
3	1,08			
4	0,75			
5	1,01			

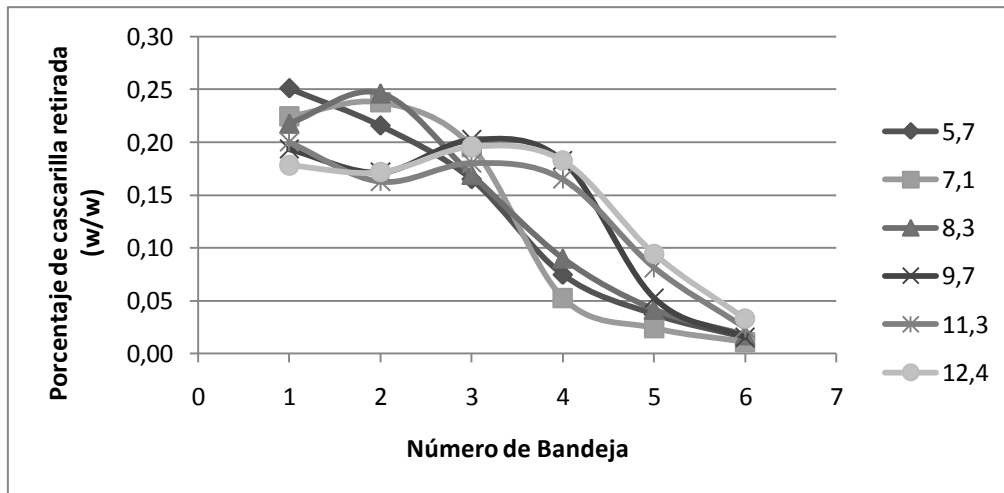
Fuente: sección datos calculados.

Figura25. **Influencia de la capacidad utilizada en el bombo de tostado (marca *Bülher*) en relación con el tiempo de tostado, para una temperatura de 140°C y 45 rpm**



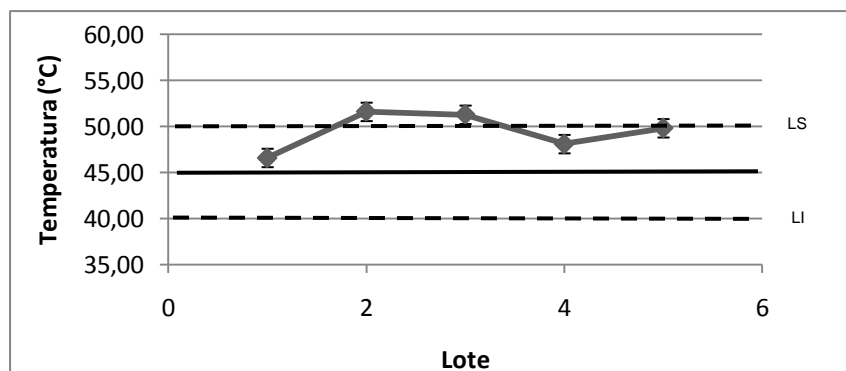
Fuente: sección datos calculados.

Figura26. **Influencia del tiempo de permanencia en descascarillador con el porcentaje de pérdida de cascarilla en cada bandeja con una carga de 100 libras**



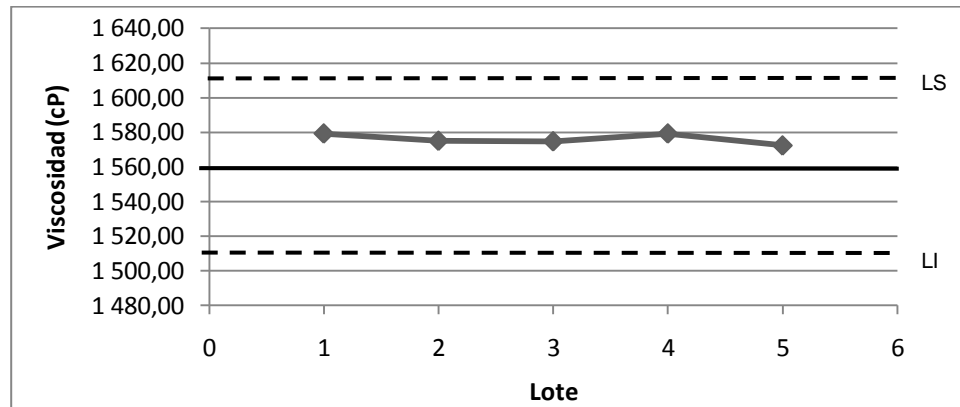
Fuente: sección datos calculados.

Figura 27. **Diagrama de *Schewart* de temperatura de operación del licor de cacao en el tanque homogenizador para mantener su fluidización**



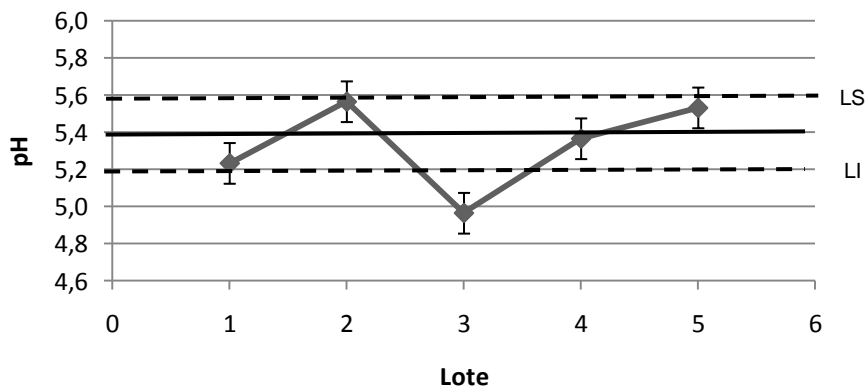
Fuente: sección datos calculados.

Figura 28. Diagrama de *Schewart* de la viscosidad de operación del licor de cacao en el proceso productivo de elaboración de chocolate en barra a una temperatura de 48,4°C



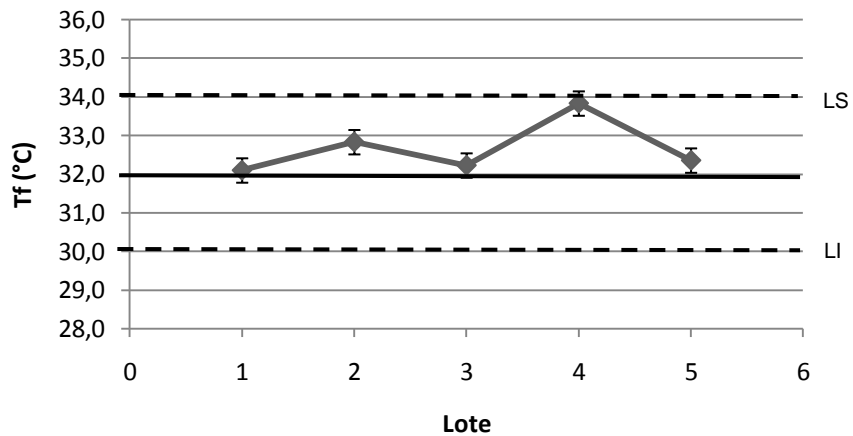
Fuente: sección datos calculados.

Figura 29. Diagrama de *Schewart* de la acidez de operación del licor de cacao en el proceso productivo de elaboración de chocolate en barra a una temperatura de 45°C



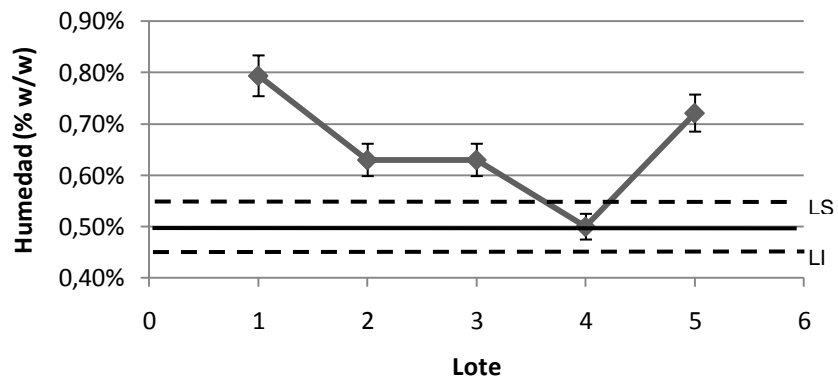
Fuente: sección datos calculados.

Figura 30. **Diagrama de *Schewart* para la temperatura de fusión del licor de cacao en el proceso productivo de elaboración de chocolate en barra**



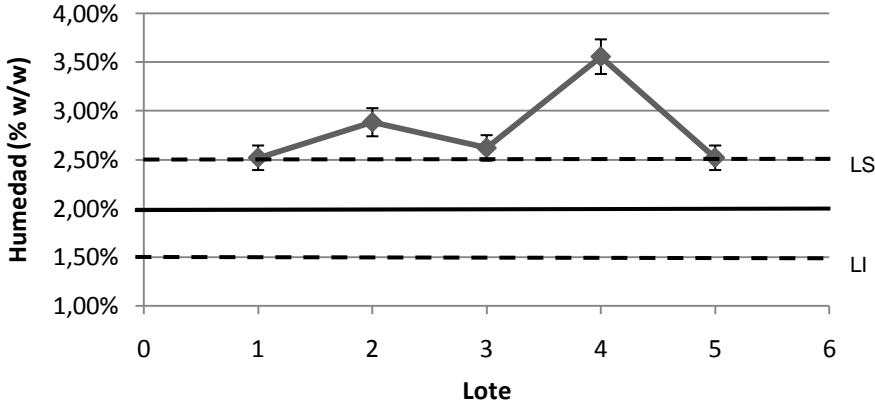
Fuente: sección datos calculados.

Figura 31. **Diagrama de *Schewart* para la humedad relativa del azúcar utilizado en el proceso productivo de elaboración de chocolate en barra**



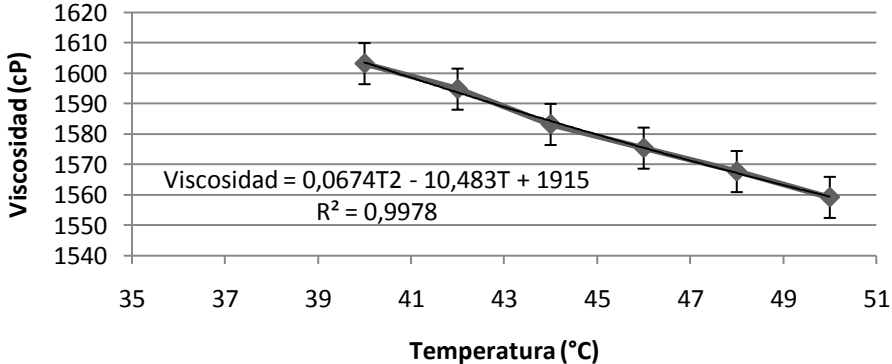
Fuente: sección datos calculados.

Figura 32. **Diagrama de Schewart para la humedad relativa de la leche utilizada en el proceso productivo de elaboración de chocolate en barra**



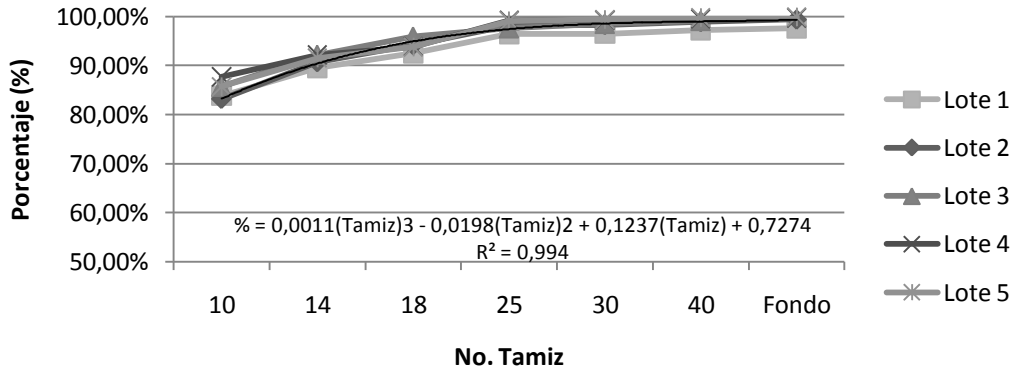
Fuente: sección datos calculados

Figura 33. **Determinación de la viscosidad del licor de chocolate a diferentes temperaturas**



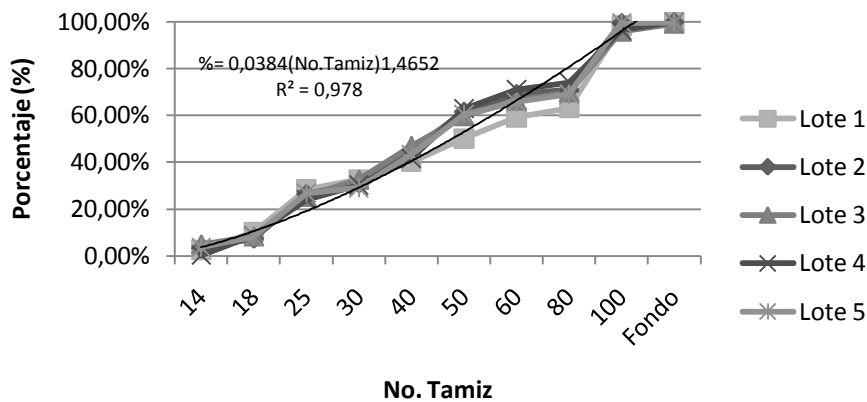
Fuente: sección datos calculados.

Figura 34. **Análisis de la granulometría acumulativa de refino de grano tostado y quebrado utilizado para la producción industrial de chocolate en barra**



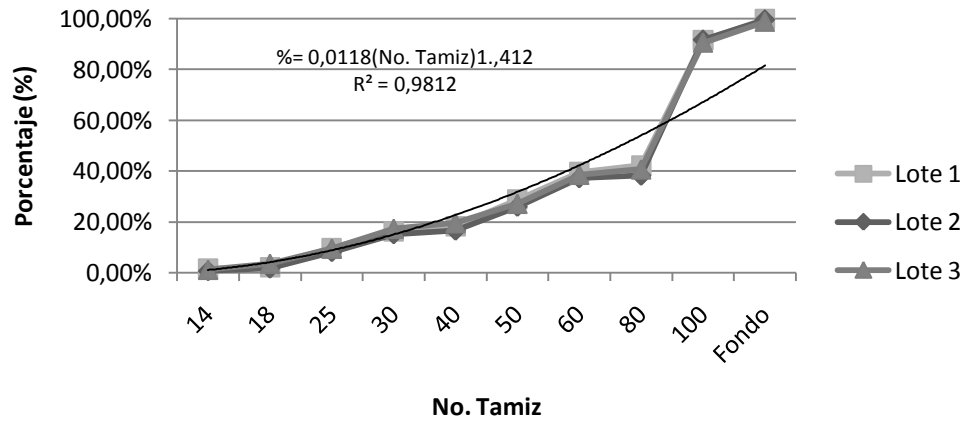
Fuente: sección datos calculados.

Figura 35. **Análisis de la granulometría acumulativa de refino de la pasta de cacao utilizada para la producción industrial de chocolate en barra**



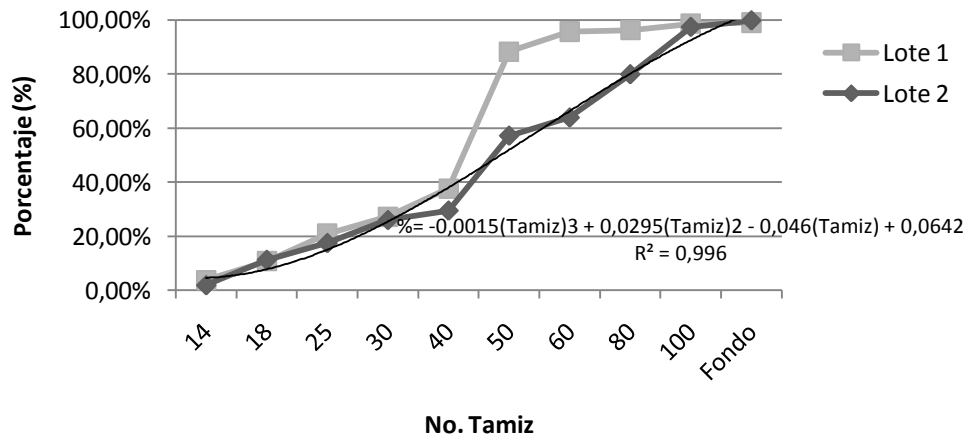
Fuente: sección datos calculados.

Figura 36. **Análisis de la granulometría acumulativa de refinado de la leche utilizada para la producción industrial de chocolate en barra**



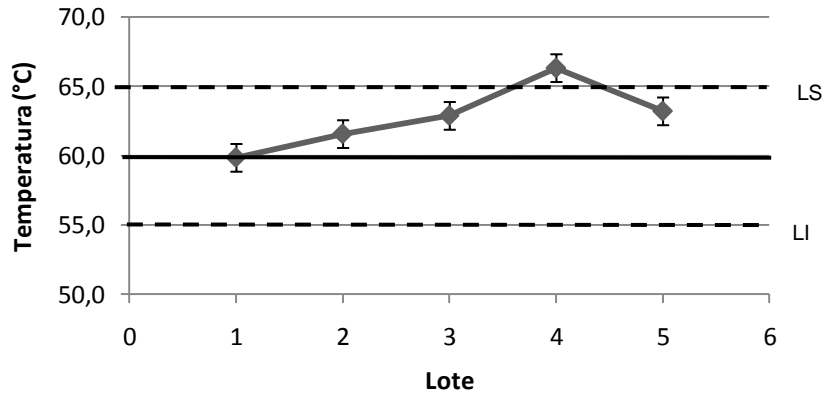
Fuente: sección datos calculados.

Figura 37. **Análisis de la granulometría de refinado del azúcar utilizado para la producción industrial de chocolate en barra**



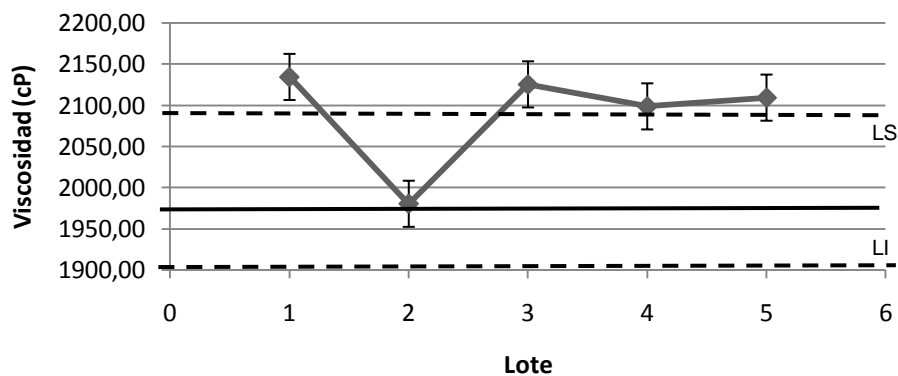
Fuente: sección datos calculados.

Figura 38. **Diagrama de *Schewart* de la temperatura de operación del chocolate en la fase de conchado en el proceso productivo de elaboración de chocolate en barra**



Fuente: sección datos calculados.

Figura 39. **Diagrama de *Schewart* de la viscosidad de operación del chocolate luego del proceso de conchado en el proceso productivo a una temperatura media de 62,5 (°C)**



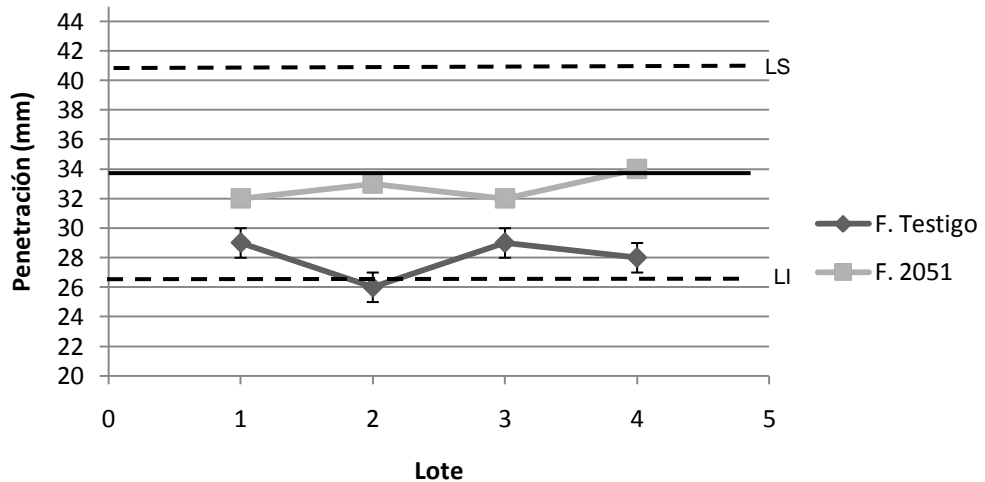
Fuente: sección datos calculados.

Tabla XIII. **Determinación de consistencia del licor de chocolate utilizado en el proceso productivo por medio de la prueba del penetrómetro a 24 °C**

Corrida	Penetración (mm)	Media	Desviación Estándar
1	74	73,23	±1,707
2	75		
3	71		
4	73		

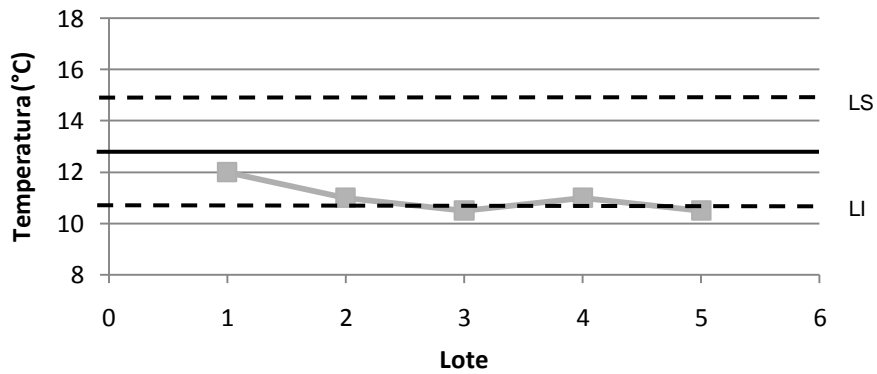
Fuente: sección datos calculados.

Figura 40. **Diagrama de *Schewart* para la determinación de la consistencia del chocolate por medio de la prueba del penetrómetro a 24 °C**



Fuente: sección datos calculados.

Figura 41. Diagrama de *Schewart* para la temperatura del túnel de enfriamiento utilizado en el proceso productivo de elaboración de chocolate en barra



Fuente: sección datos calculados.

Tabla XIV. Comparación de las formulaciones utilizadas en la producción de chocolate en barra

	Formulación original		Formulación normal	
	Peso (l)	Concentración (%w)	Peso (l)	Concentración (%w)
Licor de cacao	260	10,11%	250	9,72%
Manteca	672	26,12%	450	17,49%
Azúcglass	1200	46,65%	1000	38,88%
Leche en polvo	330	12,83%	250	9,72%
Lecitina	8,5	0,33%	6,9	0,27%
Cocoa	96	3,73%	50	1,94%
Sal	3,75	0,15%	3	0,12%
Vainilla	1,38	0,05%	3	0,12%
Reforzante	0,66	0,03%	0,6	0,02%
	2572,29	100,00%	2013,5	78,28%

Fuente: sección datos calculados.

Tabla XV. **Propuestas de formulaciones realizadas a nivel laboratorio para la mejora de las propiedades del chocolate en barra**

Ingredientes	Formulación 2646		Formulación 2844	
	Peso (l)	Concentración (%w)	Peso (l)	Concentración (%w)
Licor de cacao	232	9,00%	232	9,00%
Manteca	669	26,00%	720	28,00%
Azúcglass	1196	46,50%	1132	44,00%
Leche en polvo	360	14,00%	386	15,00%
Lecitina	7,72	0,30%	7,72	0,30%
Cocoa	103	4,00%	90	3,50%
Sal	2,57	0,10%	2,57	0,10%
Vainilla	1,29	0,05%	1,29	0,05%
Reforzante	1,29	0,05%	1,29	0,05%
	2572,29	100,00%	2572,29	100,00%

Fuente: sección datos calculados.

Tabla XVI. **Propuestas de formulaciones realizadas a nivel laboratorio para la mejora de las propiedades del chocolate en barra**

Ingrediente	Formulación 2 545		Formulación 2 051	
	Peso (l)	Concentración (%w)	Peso (l)	Concentración (%w)
Licor de cacao	257	10,00%	220	8,98%
Manteca	643	25,00%	500	20,40%
Azúcglass	1170	45,50%	1270	51,82%
Leche en polvo	399	15,50%	370	15,10%
Lecitina	8,49	0,33%	17,88	0,73%
Cocoa	90	3,50%	66,2	2,70%
Sal	2,57	0,10%	3,7	0,15%
Vainilla	1,29	0,05%	1,96	0,08%
Reforzante	0,77	0,03%	1,23	0,05%
	2572,29	100,01%	2450,97	100,00%

Fuente: sección datos calculados.

Tabla XVII. **Propuesta de formulación realizada a nivel laboratorio para la mejora de las propiedades del chocolate en barra**

Ingrediente	Formulación 2447	
	Peso (l)	Concentración (%w)
Licor de cacao	250	9,41%
Manteca	640	24,09%
Azúccarglass	1250	47,05%
Leche en polvo	400	15,06%
Lecitina	7,9	0,30%
Cocoa	100	3,76%
Sal	4	0,15%
Vainilla	4	0,15%
Reforzante	0,6	0,02%
	2656,5	100,00%

Fuente: sección datos calculados.

Tabla XVIII. **Determinación de las viscosidades y puntos de fusión de las diferentes formulaciones propuestas**

Formulación	Viscosidad (cP)	Pto, De fusión (°C)	Penetración (mm)
2046	2271,08	35,42	28,22
2844	2307,04	36,34	27,28
2545	1922,19	30,73	33,80
2051	1989,38	33,18	32,74
2447	2179,02	34,72	30,41

Fuente: sección datos calculados.

Tabla XIX. **Determinación de los diferentes puntos de fusión entre la nueva formulación y la utilizada comúnmente**

Formulación	Corrida	Pto, De fusión	Media	Desviación estándar
TESTIGO	1	34,3	34,16	0,592
	2	34,7		
	3	33,9		
	4	34,2		
	5	33,7		
NUEVA	1	33,5	33,18	0,748
	2	33,2		
	3	32,7		
	4	33,7		
	5	32,8		

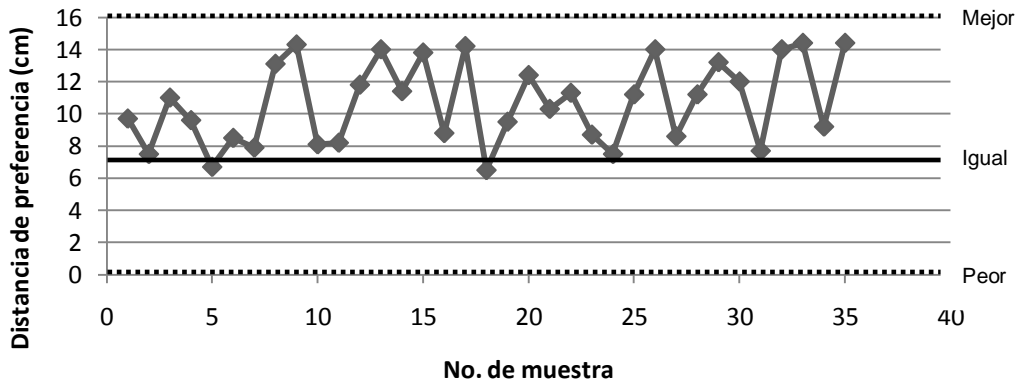
Fuente: sección datos calculados

Tabla XX. **Comparación de las diferentes viscosidades entre la nueva formulación y la utilizada comúnmente**

Formulación	Corrida	Temperatura Promedio	Viscosidad promedio(cP)	Media	Desviación Estándar
Testigo	1	60,30	2134,30	2088,8	65,574
	2	61,40	1980,40		
	3	59,40	2125,30		
	4	62,70	2098,60		
	5	60,70	2109,20		
Nuevo	1	61,70	2007,30	2009,5	20,419
	2	62,40	1985,40		
	3	60,30	2019,40		
	4	59,70	1997,30		
	5	61,30	2038,40		

Fuente: sección datos calculados

Figura 42. Resultados de las mediciones realizadas en el análisis sensorial para la nueva formulación



Fuente: sección datos calculados.

Tabla XXI. Comparación de costos relacionados a materia prima en la formulación testigo y la formulación 2646

Ingredientes	Formulación testigo			Formulación 2646		
	Peso (l)	Costo por libra (Q)	Costo Total (Q)	Peso (l)	Costo por libra (Q)	Costo Total (Q)
Licor de cacao	260	18,00	4680,00	232	18,00	4167,11
Manteca	672	11,00	7392,00	669	11,00	7356,75
Azúcar glass	1200	4,00	4800,00	1196	4,00	4784,46
Leche en polvo	330	8,00	2640,00	360	8,00	2880,96
Lecitina	8,5	7,35	62,48	7,72	7,35	56,72
Cocoa	96	30,80	2956,80	103	30,80	3169,06
Sal	3,75	0,75	2,81	2,57	0,75	1,93
Vainilla	1,38	30,00	41,40	1,29	30,00	38,58
Reforzante de sabor	0,66	40,00	26,40	1,29	40,00	51,45
Total	2572,29	Costo total	22601,89	2572,29	Costo total	22507,02
		Costo por libra	8,79		Costo por libra	8,75

Fuente: sección datos calculados.

Tabla XXII. **Comparación de costos relacionados a materia prima en la formulación 2844 y la formulación 2545**

Ingredientes	Formulación 2844			Formulación 2545		
	Peso (l)	Costo por libra (Q)	Costo Total (Q)	Peso (l)	Costo por libra (Q)	Costo Total (Q)
Licor de cacao	232	18,00	4167,11	257	18,00	4630,12
Manteca	720	11,00	7922,65	643	11,00	7073,80
Azúccarglass	1132	4,00	4527,23	1170,39	4,00	4681,57
Leche en polvo	386	8,00	3086,75	398,70	8,00	3189,64
Lecitina	7,72	7,35	56,72	8,49	7,35	62,39
Cocoa	90	30,80	2772,93	90,03	30,80	2772,93
Sal	2,57	0,75	1,93	2,57	0,75	1,93
Vainilla	1,29	30,00	38,58	1,29	30,00	38,58
Reforzante de sabor	1,29	40,00	51,45	0,77	40,00	30,87
Total	2572,29	Costo total	22625,35	2572,29	Costo Total	22481,83
	Costo por libra		8,80	Costo por libra		8,74

Fuente: sección datos calculados.

Tabla XXIII. **Comparación de costos relacionados a materia prima en la formulación 2051 y la formulación 2 447**

Ingredientes	Formulación 2051			Formulación 2447		
	Peso (l)	Costo por libra (Q)	Costo Total (Q)	Peso (l)	Costo por libra (Q)	Costo Total (Q)
Licor de cacao	220	18,00	3960,00	250	18,00	4500,00
Manteca	500	11,00	5500,00	640	11,00	7040,00
Azúccarglass	1270	4,00	5080,00	1250	4,00	5000,00
Leche en polvo	370	8,00	2960,00	400	8,00	3200,00
Lecitina	17,88	7,35	131,42	8	7,35	58,07
Cocoa	66,20	30,80	2038,96	100	30,80	3080,00
Sal	3,70	0,75	2,78	4	0,75	3,00
Vainilla	1,96	30,00	58,80	4	30,00	120,00
Reforzante	1,23	40,00	49,20	0,60	40,00	24,00
Total	2450,97	Costo Total	19781,15	2656,50	Costo Total	23025,07
	Costo por libra		8,07	Costo por libra		8,67

Fuente: sección datos calculados.

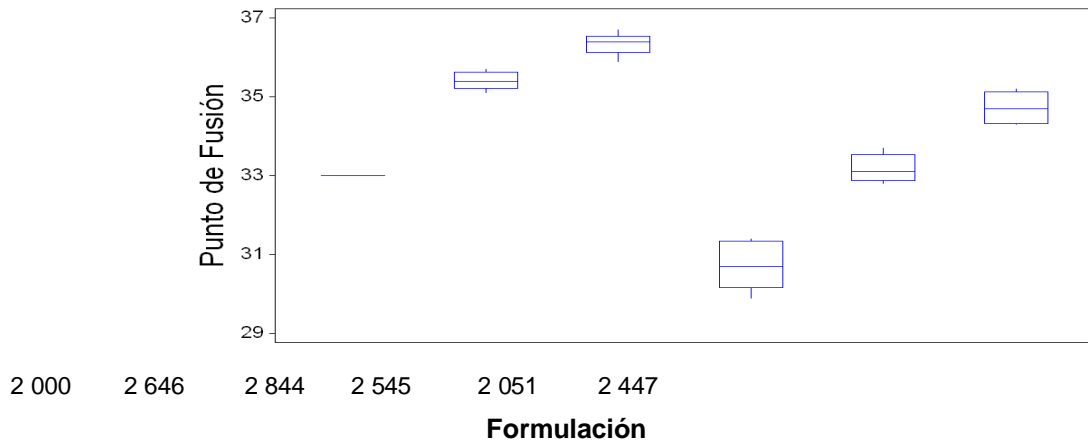
Tabla XXIV. **Resultados obtenidos de la prueba del colorímetro con el método *HunterLab* para las diferentes muestras de producto terminado**

Muestra	Parámetros obtenidos			Diferencia entre muestra patrón y otras muestras		
	L	a	b	L	a	b
Patrón	26.23	7.62	4.5	0	0	0
Normal	25.16	5.54	1.77	-1.07	-2.08	-2.73
2051	38.91	5.14	1.9	12.68	-2.48	-2.6
Competencia	30.28	7.89	5.13	4.05	0.27	0.63

Fuente: sección datos calculados.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Figura 43. **Distribución de los resultados experimentales del punto de fusión en función de las diferentes formulaciones**



Fuente: análisis estadístico bifactorial.

Tabla XXV. **Análisis de varianza para el punto de fusión de las diferentes formulaciones realizadas**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Significancia
Formulación	101,252	5	20,2504	142,61	0,000
Error	3,408	24	0,1420		
Corrección Total	104,660	29			

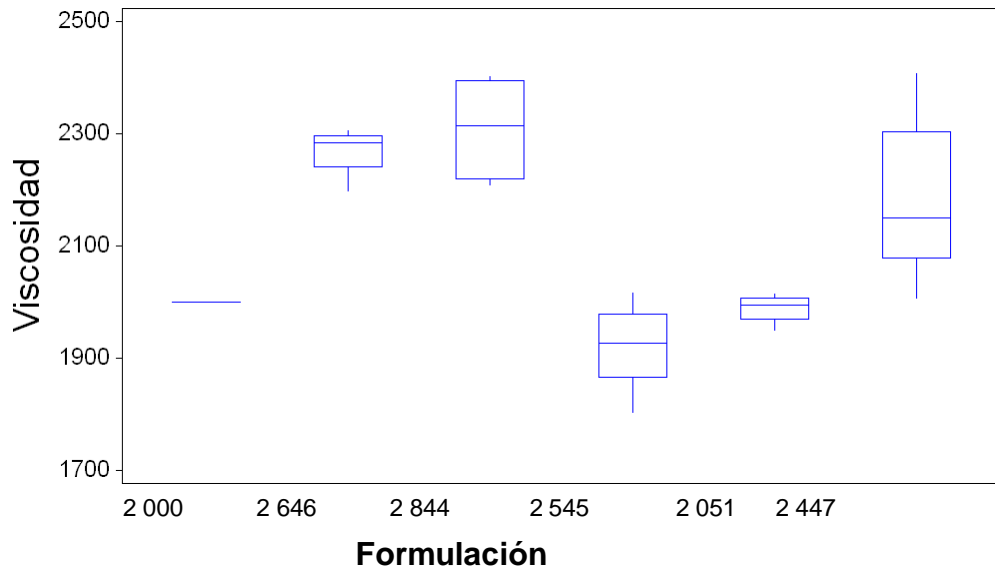
Fuente: análisis estadístico bifactorial.

Tabla XXVI. **Prueba de *Dunnnett* para la comparación de los puntos de fusión de las formulaciones realizadas a nivel laboratorio con el estándar**

Formulación	Media	Limite inferior	Diferencia	Limite Superior
Estándar (2000)	33,000			
2646	35,420	1,778	2,42	3,062
2844	36,340	2,698	3,34	3,982
2545	30,740	-2,902	-2,26	-1,618
2051	33,180	-0,462	0,18	0,822
2447	34,720	1,078	1,72	2,362

Fuente: análisis estadístico bifactorial.

Figura 44. **Distribución de los resultados experimentales de la viscosidad de las diferentes formulaciones**



Fuente: análisis estadístico bifactorial.

Tabla XXVII. **Análisis de varianza para la viscosidad de las diferentes formulaciones realizadas**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Significancia
Formulación	660587	5	132117	21,35	0,000
Error	148513	24	6188		
Corrección Total	809100	29			

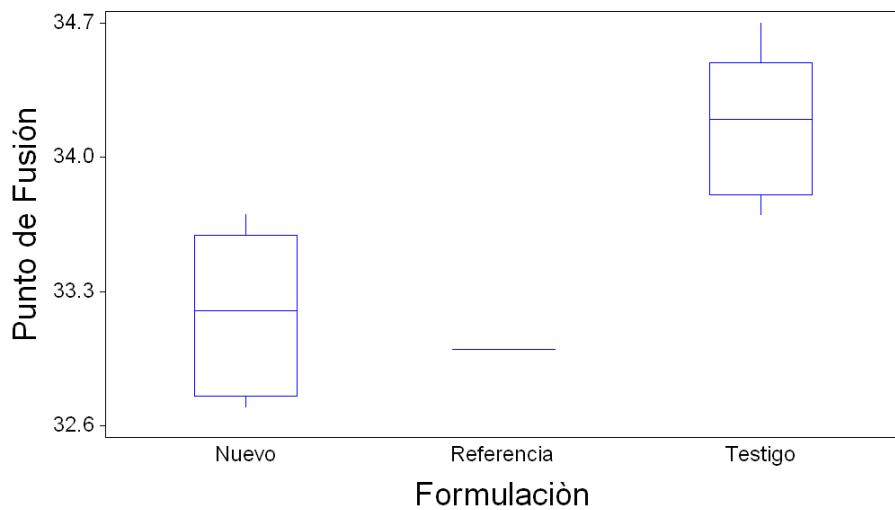
Fuente: análisis estadístico bifactorial.

Tabla XXVIII. Prueba de *Dunnett* para la comparación de la viscosidad de las formulaciones realizadas a nivel laboratorio con el estándar

Formulación	Media	Limite inferior	Diferencia	Limite Superior
Estándar (2000)	2000,0			
2646	2271,4	137,3	271,4	405,5
2844	2308,4	174,3	308,4	442,5
2545	1923,4	-210,7	-76,6	57,5
2051	1989,5	-144,6	-10,5	123,6
2447	2182,8	48,7	182,8	316,9

Fuente: análisis estadístico bifactorial.

Figura 45. Distribución de los resultados experimentales del punto de fusión de la nueva formulación y la formulación testigo



Fuente: análisis estadístico bifactorial.

Tabla XXIX. **Análisis de varianza para la viscosidad de las diferentes formulaciones realizadas**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Significancia
Formulación	3,89733	2	1,94867	17,45	0,0003
Error	1,34000	12	0,11167		
Corrección Total	5,23733	14			

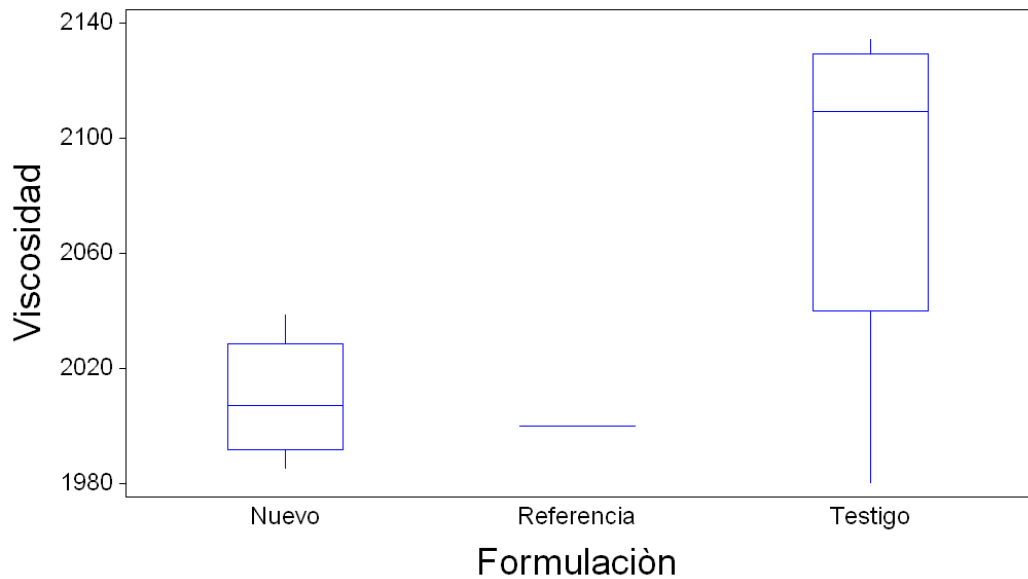
Fuente: análisis estadístico bifactorial.

Tabla XXX. **Prueba de *Dunnett* para la comparación de los puntos de fusión de la nueva formulación con el estándar**

Formulación	Media	Limite inferior	Diferencia	Limite Superior
Nuevo	33,180	-0,349	0,180	0,709
Referencia	33,000			
Testigo	34,160	0,631	1,160	1,689

Fuente: análisis estadístico bifactorial.

Figura 46. **Distribución de los resultados experimentales de la viscosidad de la nueva formulación y la formulación testigo**



Fuente: análisis estadístico bifactorial.

Tabla XXXI. **Análisis de varianza para la viscosidad de las diferentes formulaciones realizadas**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Significancia
Formulación	3,89733	2	1,94867	17,45	0,0003
Error	1,34000	12	0,11167		
Corrección Total	5,23733	14			

Fuente: análisis estadístico bifactorial.

Tabla XXXII. Prueba de *Dunnett* para la comparación de la viscosidad de la nueva formulación con el estándar

Formulación	Media	Límite inferior	Diferencia	Límite Superior
Nuevo	2009,6	-50,6	9,6	69,7
Referencia	2000,0			
Testigo	2089,6	29,4	89,6	149,7

Fuente: análisis estadístico bifactorial.

Tabla XXXIII. Prueba *t* de *student* para el análisis sensorial entre la nueva formulación y la estándar

Número de muestras	Media	Desviación estándar	t	GI	Significancia	Diferencia de medias
35	10,706	2,5495	7,439	34	2,3084 E -10	3,2057

Fuente: análisis estadístico, desviación de medias.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente trabajo de graduación se llevó a cabo un análisis de las operaciones unitarias realizadas en el proceso productivo de chocolate en barra con la finalidad de evaluar si el proceso trabajaba con las variables referenciadas. Así mismo se realizaron cinco nuevas formulaciones, de las cuales se eligió la formulación que presentara mejor punto de fusión y viscosidad para realizar una producción a nivel industrial y compararla con la utilizada habitualmente.

5.1. En relación al análisis fisicoquímico de la materia prima para la determinación de su calidad

Las figuras 30 y 31 muestran las humedades del azúcar y la leche respectivamente. Dichas humedades no coinciden con sus certificados de calidad ya que el azúcar dicta una humedad del 0,5% máximo y los resultados muestran una humedad media del $0,65\% \pm 1,10 \text{ E } -3\%$, al igual que la leche con un certificado que indica un 2% máximo de humedad y la presentada por las muestras es de $2,80\% \pm 4,37 \text{ E } -3\%$. Esto se debe a la forma de almacenar dichas materias, ya que usualmente se encuentran en sacos abiertos a la intemperie por lo que absorben humedad del ambiente.

La gráfica 34 muestra la granulometría de refinado de la pasta de cacao ya formulada en los cinco lotes analizados, se puede apreciar que la tendencia es similar y que las partículas refinadas poseen en su mayoría un tamaño de

partícula aproximado de 149 μm , aunque también existe una alta presencia de partículas con tamaños de 710 μm y 300 μm .

El análisis de la granulometría de la leche y el azúcar presentan un tamaño de partícula aproximadamente de 149 μm y 300 μm respectivamente, lo que coincide con sus certificados de calidad.

La determinación de la viscosidad y la temperatura de operación del chocolate conchado brindaron datos que se encuentran dentro de los parámetros requeridos.

La humedad de la semilla de cacao y su tiempo de secado fueron otros parámetros a analizar dentro del proceso, para este fin se analizaron cinco lotes de semillas y se determinó la humedad media de las mismas, la cual se encontraba en 7,80% con una desviación de 0,48%, lo que coincide aproximadamente con la humedad requerida para un proceso de elaboración de chocolate (8,0% en peso).

5.2. En relación a la comparación de variables entre lo referenciado por la bibliografía y el proceso productivo de chocolate en barra

El tiempo de secado se corroboró realizando una curva de secado para las habas de cacao a una temperatura estandarizada de 140°C.

La grafica 23 presenta variaciones de humedad significativas hasta el minuto 20, luego presenta pequeños cambios en la misma pero para fines industriales estos cambios pueden ser despreciables, por lo que el tiempo de

secado utilizado empíricamente en la empresa (18 a 20 minutos) si coincide con el tiempo necesario para que el haba alcance un tostado óptimo.

El sifón utilizado para la limpieza del haba de cacao no presenta un porcentaje de pérdida de peso superior al 1%, que es el límite superior de pérdida aceptado. El porcentaje de pérdida obtenido de 0.83% se determinó realizando pesajes de cinco lotes de habas antes y después del paso por el sifón. Además se examinaron los lotes luego del paso por el mismo para verificar que en los mismos aún no existiera presencia de algún tipo de suciedad (piedras, palos, etc.) que el sifón no haya podido arrastrar y se comprobó que dicho sifón está funcionando de manera correcta.

En la fase de tostado del haba de cacao se analizó el efecto causado en el tiempo de secado debido a la carga del bombo. Para este análisis se realizó el cálculo de la densidad aparente de la semilla de cacao (465 kg/m^3) y del volumen del bombo ($0,1131 \text{ m}^3$) para determinar la capacidad utilizada al introducir las diferentes cargas al bombo de tostado. Además se calibró la temperatura del bombo a 140°C , un factor determinante para no destruir las cadenas de sabor con un secado abrasivo.

El análisis en el bombo de tostado se inició con la carga del 17% que se maneja usualmente en la empresa, se fue agregando más carga y en cada una se monitoreó la humedad.

En la figura 24 se puede apreciar que la humedad final deseada del 2% en el haba de cacao se puede obtener utilizando un 26% de la capacidad del bombo sin aumentar el tiempo de tueste, algo que no ocurre al utilizar el 30% de la capacidad, por lo que se puede aumentar la carga en el bombo hasta dicha cantidad.

La producción de chocolate requiere de un buen proceso de descascarillado y quebrado, ya que son aspectos que influirán en el sabor final del chocolate, es por esta razón que se analizó la manera de operar del descascarillador utilizado y la pérdida de cáscara por bandejas, para esto se dejó operar el descascarillador a diferentes velocidades por lo que los tiempos de permanencia del haba de cacao dentro del mismo fueron variando. Se analizó el porcentaje de pérdida por bandeja ya que debe ser proporcional al menos en las primeras cuatro bandejas, para no obtener pérdida de grano.

Los resultados del análisis con los diferentes tiempos de permanencia del descascarillador muestran, según la gráfica 25, una proporcionalidad en la pérdida de cáscara en los tiempos 11,3 y 12,4, pero cuando el tiempo de permanencia en el descascarillador es 12,4 empieza a existir presencia de grano en la cascarilla por lo que dicho tiempo se descarta y se cambia el tiempo de permanencia de 5,7 a 11,3 minutos. El tamaño de partícula del haba de cacao luego del paso por el descascarillador es de 2000 μm según la figura 29, con lo que se puede interpretar que la mayor permanencia no genera un corte desproporcionado en el haba de cacao.

Luego de la producción del licor de cacao se monitorearon las propiedades fisicoquímicas de cinco diferentes lotes de producción. La figura 26 muestra la temperatura media obtenida que es de 49,46 °C con una desviación del 2,127°C, lo cual indica que dicha temperatura se encuentra aún dentro del rango permitido de operación (45 °C \pm 5°C).

La viscosidad del licor de cacao fue monitoreada a la temperatura aproximada de 49 °C en un viscosímetro brookfield, como se puede apreciar en la figura 27, obteniendo un dato de 1 576,2 cP con una desviación de 36,828 cP, esto también coincide con la literatura. Asimismo las figuras 28 y

29muestran la acidez y punto de fusión respectivamente los cuales se encuentran de la misma manera dentro de los parámetros requeridos para un buen desarrollo del proceso productivo.

La gráfica 40 presenta el análisis de la temperatura del túnel de enfriamiento con una media de 10,98°C y una desviación estándar de 0,957°C, por lo que la temperatura del mismo fue ajustada a 13 °C, ya que este es un parámetro sumamente importante para la apariencia final del chocolate.

5.3. En relación a la reformulación de la composición actual del chocolate en barra y su evaluación cualitativa y cuantitativa

Luego del monitoreo de variables, se procedió a la realización de formulaciones a nivel laboratorio que mejorarían las propiedades fisicoquímicas y organolépticas del chocolate en barra, tomando como parámetros críticos la viscosidad y el punto de fusión.

Además para las formulaciones se tomó en cuenta que al agregar más lecitina de soja la viscosidad aumenta y que el reemplazante de manteca de cacao y el licor de cacao son factores que influyen de manera directa en el punto de fusión.

Se realizaron cinco formulaciones a nivel laboratorio y se midieron sus diferentes puntos de fusión y viscosidades. Al realizar un análisis de varianzas entre las diferentes formulaciones, tanto en el punto de fusión como en la viscosidad, el nivel de significancia es menor al 0,05 por lo que debe rechazarse la hipótesis nula, es decir que la viscosidad y el punto de fusión del chocolate varía significativamente entre las formulaciones evaluadas y el estándar.

Se realizó la prueba de comparación de *Dunnnett* entre las diferentes formulaciones para analizar cual de las mismas poseía la viscosidad y el punto de fusión estadísticamente más cercano al estándar. Con esta prueba se determinó que las formulaciones identificadas como 2645 y 2051 tienen el mismo valor promedio que el estándar de la viscosidad, que en este caso posee un valor de 2000 cP, pero la formulación 2051 es la única formulación que satisface el valor estándar del punto de fusión, por lo que dicha formulación fue seleccionada para realizarla a nivel industrial.

La formulación 2051 se realizó a nivel industrial con los parámetros ya fijados y se comparó con la formulación con la que se trabajaba habitualmente con los mismos parámetros.

Al realizar el análisis de varianza para la viscosidad y el punto de fusión la significancia nuevamente fue mucho menor al 0,05 establecido por lo que se rechazó la hipótesis nula y se concluye que ambos parámetros presentan una diferencia significativa respecto a la formulación usual.

Como se aprecia en el análisis estadístico, se realizó nuevamente una comparación de *Dunnnett* entre ambas formulaciones para analizar que formulación presentaba los parámetros más cercanos a los requeridos.

La nueva formulación cumple con el valor deseado de viscosidad mientras que la formulación que usualmente se elabora tiene significativamente mayor viscosidad que el estándar deseado.

Además la formulación con la que usualmente se trabaja también presenta significativamente mayor punto de fusión, mientras que la nueva formulación cumple con el valor deseado. Estos aspectos demuestran que la nueva

formulación mejora las características del chocolate realizado normalmente en la empresa. Asimismo el análisis de costos de materia prima que se realiza en la tabla XIX demuestra un ahorro aproximado de Q.0,72 por libra de chocolate formulado.

La tabla XXIV muestra la medición de color mediante el método *HunterLab* de un chocolate fino, el chocolate de la competencia y la formulación normal y nueva de la empresa. Además muestra las diferencias tomando el chocolate fino como patrón. La nueva formulación presenta un cambio en el parámetro L lo que representa un color más claro, alejado en cierta manera del patrón. Aún los colores de la competencia están más cercanos a la muestra patrón.

Se realizó un análisis sensorial de la nueva formulación. Se compararon ambas muestras numeradas y se realizó un diagrama (VeaséApendice D. Figura 52.) En base a las distancias que las personas marcaron en las hojas de comparación se realizó un análisis de t de *student* de los datos, con lo que se obtuvo un nivel de significancia mucho menor que el 0,05 establecido, por lo que se puede concluir que la formulación también posee mejores propiedades organolépticas.

CONCLUSIONES

1. La materia prima utilizada en el proceso productivo, cumple con los parámetros fisicoquímicos requeridos para dicho proceso.
2. El azúcar refinada y la leche utilizadas en el proceso, presentan humedades superiores a las indicadas en sus certificados de calidad.
3. El tiempo de secado adecuado del haba de cacao es de 20 minutos a 140 °C.
4. La humedad deseada del haba de cacao, para la fase de tostado se puede obtener utilizando el bombo a un 26% de su capacidad sin aumentar el tiempo de tostado.
5. La variación en el uso de lecitina de soja como emulsificante en la formulación de chocolate, tiene un impacto alto en la viscosidad final de las formulaciones.
6. El tiempo de permanencia del haba de cacao en el descascarillador debe ser de 11,3 minutos.
7. Existe una diferencia significativa entre los puntos de fusión y viscosidades de las diferentes formulaciones realizadas a nivel laboratorio.

8. La formulación identificada como 2051 fue la que presentó valores de viscosidad y punto de fusión, a nivel laboratorio, más cercanos a los deseados según la prueba de *Dunnnett*, por lo que fue la que se realizó a nivel industrial.
9. Según la prueba de *Dunnnett* realizada a la formulación 2051 realizada a nivel industrial y la utilizada habitualmente, la formulación 2051 presenta mejor viscosidad y punto de fusión.
10. El análisis sensorial entre la nueva formulación realizada a nivel industrial y la habitual muestra una diferencia significativa, por lo que la nueva formulación mejora las propiedades organolépticas del chocolate en barra.

RECOMENDACIONES

1. Continuar los monitoreos de las variables sugeridas en el presente estudio del chocolate en barra para controlar su calidad e iniciar la implementación de un plan HACCP.
2. Implementar mejores condiciones de almacenamiento de las materias primas para evitar la absorción de humedad del ambiente en el azúcar y leche.
3. Instalar tolvas de pesaje en el área de formulación para una mayor velocidad y exactitud en la misma.
4. Implementar la fase de atemperado de chocolate para mejorar la presentación final del chocolate en barra y su vida de anaquel.
5. Implementar un panel sensorial entrenado, permanente que analice muestras de los lotes de producción para su aprobación y rechazo.
6. Realizar un estudio sobre mezclas de reemplazantes de cacao con manteca de cacao para mejorar la calidad del chocolate en barra.
7. Utilizar código de cuatro dígitos para la identificación de lotes, en la que los dos primeros dígitos representen el porcentaje de manteca y los siguientes el porcentaje de azúcar.

BIBLIOGRAFÍA

1. BECKETT, S.T. *Fabricación y utilización industrial del chocolate*. Zaragoza, España: Acribia. 1994. 432 p.
2. BYWATERS, H.W. *Modern methods of cocoa and chocolate manufacture*. Filadelfia, Estados Unidos: Magazines Industry, 1960. 320 p.
3. GEANKOPLIS, Christie J. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Eroles, Antonio (trad.). 5a. ed. México: Continental, 1991. 760 p. ISBN: 968-26-0300-5.
4. PERRY, Robert H. *Manual del Ingeniero Químico*. 7a. ed. Filadelfia, Estados Unidos: McGraw-Hill. 2001. p. 18-1 a 18-165; 19-1 a 19-79.
5. RUSSELL COOK, L. *Chocolate production and use*. Nueva York, Estados Unidos: Magazines Industry, 1970. 461 p.
6. STROUD JORDAN, M.S. *Chocolate evaluation*. Nueva York: Applied Sugar, 1954. 250 p.

APÉNDICE

APÉNDICE A

Muestra de cálculo

Cálculo de la capacidad utilizada en el bombo de tostado

Para determinar la capacidad utilizada en el bombo es necesario tomar los datos de radio del bombo, y densidad aparente de la semilla de cacao. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{3 * \text{Carga ingresada} * \text{densidad aparente}}{4 * \pi * (\text{radiobombo})^3} * 100 = \% \text{Capacidad usada del bombo}$$

[Ecuación 1]

Ejemplo:

Datos obtenidos para la carga de haba de cacao utilizada habitualmente en la empresa.

Radio bombo= 0,3 m

Densidad aparente haba de cacao= $465 \frac{kg}{m^3}$

Carga agregada= 9,091 kg

Utilizando la ecuación 1:

$$\frac{3 * 9,091 * 465}{4 * \pi * (0,3)^3} * 100 = 17,29\% \text{ Capacidad usada del bombo}$$

Cálculo de la humedad relativa.

$$\frac{\text{Peso inicial de muestra} - \text{Peso final de muestra}}{\text{Peso inicial de muestra}} * 100 = \% \text{ Humedad relativa}$$

[Ecuación 2]

Ejemplo:

Datos obtenidos para el haba de cacao en la primer corrida del primer lote.

Peso inicial muestra= 100 gramos

Peso final muestra= 97 gramos

Utilizando la ecuación 1:

$$\frac{100 - 97}{100} * 100 = 7\% \text{ Humedad relativa}$$

APÉNDICE B

Datos calculados

Humedad relativa de la semilla de cacao

No, Lote	Muestra	Muestra peso inicial (gramos)	Muestra peso Final (gramos)	Humedad (%)	Media
1	L11	100	93	7	8,64788664
	L12	100	91,4	8,6	
	L13	100	87,9	12,1	
	L14	100	92	8	
	L15	100	91,7	8,3	
2	L21	100	90,3	9,7	7,46261132
	L22	100	93,2	6,8	
	L23	100	92,4	7,6	
	L24	100	94,3	5,7	
	L25	100	91,9	8,1	
3	L31	100	93,7	6,3	7,61723291
	L32	100	92	8	
	L33	100	92,7	7,3	
	L34	100	91,5	8,5	
	L35	100	91,8	8,2	
4	L41	100	92	8	7,76460874
	L42	100	86	14	
	L43	100	93,4	6,6	
	L44	100	95,4	4,6	
	L45	100	91,7	8,3	
5	L51	100	88	12	7,54959385
	L52	100	94	6	
	L53	100	92,4	7,6	
	L54	100	91,7	8,3	
	L55	100	94,6	5,4	

Fuente: muestra de cálculo. Apéndice A.

Cálculos realizados para la curva de secado del haba de cacao

Tiempo	Peso	Humedad relativa
0	100	0
2	99,8	0,2
4	99,6	0,4
6	98,7	1,3
8	98,1	1,9
10	97,5	2,5
12	96,7	3,3
14	95,4	4,6
16	93,9	6,1
18	92,6	7,4
20	92	8
22	91,9	8,1
24	91,9	8,1
26	91,8	8,2
28	91,8	8,2
30	91,8	8,2
32	91,8	8,2

Fuente: muestra de cálculo. Apéndice A.

Cálculos realizados para el análisis del efecto de la carga en el bombo de tostado

Tiempo (minutos)	Carga 20 libras			Carga 25 libras		
	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	% Humedad	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	% Humedad
4	0,1	0,0919	8,1	0,1	0,092	8
8	0,1	0,0923	7,7	0,1	0,0926	7,4
12	0,1	0,0953	4,7	0,1	0,0943	5,7
16	0,1	0,0967	3,3	0,1	0,0964	3,6
20	0,1	0,0989	1,1	0,1	0,0984	1,6

Fuente: muestra de cálculo. Apéndice A.

**Cálculos realizados para el análisis del efecto de la carga en el
bombo de tostado**

Tiempo (minutos)	Carga 30 libras			Carga 35 libras		
	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	% Humedad	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	% Humedad
4	0,1	0,0916	8,4	0,1	0,0919	8,1
8	0,1	0,0921	7,9	0,1	0,0924	7,6
12	0,1	0,0949	5,1	0,1	0,0934	6,6
16	0,1	0,0959	4,1	0,1	0,0947	5,3
20	0,1	0,0982	1,8	0,1	0,0966	3,4

Fuente: muestra de cálculo. Apéndice A.

Pérdida de cascarilla en el descascarillado por bandeja

Tiempo (minutos)	B 1 (Kg)	% Pérdida B1	B2 (Kg)	% Pérdida B2	B3 (Kg)	% Pérdida B3	B4 (Kg)	% Pérdida B4	B5 (Kg)	% Pérdida B5	B6 (Kg)	% Pérdida B6	% Pérdida Total
5,7	0,114	0,25	0,098	0,22	0,075	0,17	0,034	0,07	0,017	0,04	0,007	0,02	0,78
7,1	0,102	0,22	0,108	0,24	0,089	0,20	0,024	0,05	0,011	0,02	0,005	0,01	0,73
8,3	0,099	0,22	0,112	0,25	0,077	0,17	0,041	0,09	0,019	0,04	0,008	0,02	0,77
9,7	0,088	0,19	0,078	0,17	0,092	0,20	0,083	0,18	0,024	0,05	0,007	0,02	0,80
11,3	0,091	0,20	0,074	0,16	0,082	0,18	0,075	0,17	0,037	0,08	0,011	0,02	0,79
12,4	0,081	0,18	0,078	0,17	0,089	0,20	0,083	0,18	0,043	0,09	0,015	0,03	0,82

Fuente: muestra de cálculo. Apéndice A.

Pérdida de peso en limpieza del haba de cacao

LOTE	Muestra	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	Peso inicial (lb)	Peso final (lb)	% Perdida	Media (%)
1	L1C1	45,36	45,05	100,00	99,1	0,69	0,50
	L1C2	45,36	45,11	100,00	99,3	0,54	
	L1C3	45,36	45,14	100,00	99,3	0,49	
	L1C4	45,36	45,32	100,00	99,7	0,09	
	L1C5	45,36	44,55	100,00	98,0	1,80	
2	L2C1	45,36	45,20	100,00	99,5	0,34	0,98
	L2C2	45,36	44,09	100,00	97,0	2,80	
	L2C3	45,36	44,68	100,00	98,3	1,50	
	L2C4	45,36	45,00	100,00	99,0	0,79	
	L2C5	45,36	45,00	100,00	99,0	0,79	
3	L3C1	45,36	42,14	100,00	92,7	7,11	1,08
	L3C2	45,36	45,00	100,00	99,0	0,79	
	L3C3	45,36	44,86	100,00	98,7	1,09	
	L3C4	45,36	45,18	100,00	99,4	0,39	
	L3C5	45,36	45,09	100,00	99,2	0,59	
4	L4C1	45,36	45,00	100,00	99,0	0,79	0,75
	L4C2	45,36	44,73	100,00	98,4	1,39	
	L4C3	45,36	45,14	100,00	99,3	0,49	
	L4C4	45,36	43,18	100,00	95,0	4,80	
	L4C5	45,36	45,32	100,00	99,7	0,09	
5	L5C1	45,36	45,14	100,00	99,3	0,49	1,01
	L5C2	45,36	45,18	100,00	99,4	0,39	
	L5C3	45,36	44,55	100,00	98,0	1,80	
	L5C4	45,36	44,45	100,00	97,8	2,00	
	L5C5	45,36	44,68	100,00	98,3	1,50	

Fuente: muestra de cálculo. Apéndice A.

Monitoreo de las temperaturas de licor de chocolate

Lote	Corrida	Temperatura (°C)	Media	Desviación estándar
1	1	50	46,61	2,887
	2	45		
	3	45		
2	1	55	51,61	2,887
	2	50		
	3	50		
3	1	50	51,30	7,638
	2	45		
	3	60		
4	1	45	48,11	5,773
	2	55		
	3	45		
5	1	45	49,83	5
	2	50		
	3	55		

Fuente: muestra de cálculo. Apéndice A.

Monitoreo del punto de fusión del licor de chocolate

Lote	Corrida	Pto.de fusión	Media	Desviación estándar
1	1	31,3	32,1	0,721
	2	32,7		
	3	32,3		
2	1	33	32,8	0,289
	2	32,5		
	3	33		
3	1	32	32,2	0,681
	2	31,7		
	3	33		
4	1	34,3	33,8	0,416
	2	33,7		
	3	33,5		
5	1	31,4	32,4	1,002
	2	32,3		
	3	33,4		

Fuente: muestra de cálculo. Apéndice A.

**Monitoreo de la temperatura de conchado en el proceso
productivo de chocolate en barra**

Lote	Corrida	Temperatura (°C)	Media	Desviación Estándar
1	1	65	59,86	5
	2	60		
	3	55		
2	1	57	61,57	4,163
	2	63		
	3	65		
3	1	58	62,89	4,583
	2	64		
	3	67		
4	1	65	66,33	1,155
	2	67		
	3	67		
5	1	58	63,21	4,725
	2	65		
	3	67		

Fuente: muestra de cálculo. Apéndice A.

Determinación de los puntos de fusión de las diferentes formulaciones

Formulación	Corrida	Pto.de fusión (°C)	Media	Desviación Estándar
2607	1	35,7	35,42	0,228
	2	35,1		
	3	35,3		
	4	35,4		
	5	35,6		
2608	1	35,9	36,34	0,288
	2	36,7		
	3	36,4		
	4	36,3		
	5	36,4		
2609	1	29,9	30,73	0,626
	2	31,3		
	3	30,7		
	4	31,4		
	5	30,4		
2610	1	33,7	33,18	0,370
	2	32,9		
	3	33,1		
	4	33,4		
	5	32,8		
2611	1	34,7	34,72	0,427
	2	34,3		
	3	35,2		
	4	34,3		
	5	35,1		

Fuente: muestra de cálculo. Apéndice A.

**Determinación de la viscosidad de las diferentes
formulaciones a 60 °C**

Formulación	Corrida	Viscosidad (cP)	Media	Desviación Estándar
2607	1	2305,2	2271,08	42,036
	2	2284,3		
	3	2198,3		
	4	2278,8		
	5	2290,4		
2608	1	2402,0	2307,04	89,774
	2	2315,1		
	3	2208,4		
	4	2390,3		
	5	2226,4		
2609	1	1945,4	1922,19	76,405
	2	1803,4		
	3	1927,6		
	4	1925,4		
	5	2015,3		
2610	1	1984,7	1989,38	24,314
	2	2003,4		
	3	1950,7		
	4	1994,3		
	5	2014,4		
2611	1	2203,9	2179,02	144,474
	2	2007,7		
	3	2145,6		
	4	2150,4		
	5	2406,3		

Fuente: muestra de cálculo. Apéndice A.

**Resultados del Análisis sensorial realizado al comparar la
formulación final**

No, De Análisis	Distancia	Media	Desviación Estándar
1	9,7	10,404	2,550
2	7,5		
3	11		
4	9,6		
5	6,7		
6	8,5		
7	7,9		
8	13,1		
9	14,3		
10	8,1		
11	8,2		
12	11,8		
13	14		
14	11,4		
15	13,8		
16	8,8		
17	14,2		
18	6,5		
19	9,5		
20	12,4		

Fuente: muestra de cálculo. Apéndice A.

Resultados del Análisis sensorial realizado al comparar la formulación final

No, de Análisis	Distancia	Media	Desviación Estándar
21	10,3	10,404	2,550
22	11,3		
23	8,7		
24	7,5		
25	11,2		
26	14		
27	8,6		
28	11,2		
29	13,2		
30	12		
31	7,7		
32	14		
33	14,4		
34	9,2		
35	14,4		

Fuente: muestra de cálculo. Apéndice A.

Determinación de humedad en el azúcar utilizada en el proceso productivo de chocolate en barra

Lote	Peso i. (g)	Peso f. (g)	Humedad (%)	Media	Desviación estándar
1	20	19,8	1,00%	0,79%	0,00289
	20	19,8	1,00%		
	20	19,9	0,50%		
2	20	19,9	0,50%	0,63%	0,00289
	20	19,8	1,00%		
	20	19,9	0,50%		
3	20	19,9	0,50%	0,63%	0,00289
	20	19,8	1,00%		
	20	19,9	0,50%		
4	20	19,9	0,50%	0,50%	0,00000
	20	19,9	0,50%		
	20	19,9	0,50%		
5	20	19,9	0,50%	0,72%	0,00577
	20	19,9	0,50%		
	20	19,7	1,50%		

Fuente: muestra de cálculo. Apéndice A.

**Determinación de humedad en la leche utilizada en el proceso productivo
de chocolate en barra**

Fecha	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Humedad (%)	Media	Desviación estándar	Varianza
1	10	9,8	2,00%	2,52%	0,00155	0,00013
	10	9,8	2,00%			
	10	9,6	4,00%			
2	10	9,8	2,00%	2,88%	0,00010	0,00010
	10	9,6	4,00%			
	10	9,7	3,00%			
3	10	9,7	3,00%	2,62%	0,00077	0,00003
	10	9,8	2,00%			
	10	9,7	3,00%			
4	10	9,5	5,00%	3,56%	0,00155	0,00013
	10	9,7	3,00%			
	10	9,7	3,00%			
5	10	9,8	2,00%	2,52%	0,00155	0,00013
	10	9,8	2,00%			
	10	9,6	4,00%			
6	10	9,8	2,00%	2,29%	0,00077	0,00003
	10	9,7	3,00%			
	10	9,8	2,00%			

Fuente: muestra de cálculo. Apéndice A.

Granulometrías realizadas a la azúcar utilizada en el proceso productivo de chocolate en barra

No. Tamiz	Tamaño	Lote 1		Lote 2	
		Peso (g)	Porcentaje (%)	Peso (g)	Porcentaje (%)
14	1410 µm	3,8	3,80%	1,9	1,90%
18	1000 µm	7	7,00%	9,4	9,40%
25	710 µm	10,1	10,10%	6,2	6,20%
30	590 µm	6,3	6,30%	8,5	8,50%
40	420 µm	10,4	10,40%	3,5	3,50%
50	300 µm	50,7	50,70%	27,7	27,70%
60	250 µm	7,4	7,40%	6,7	6,70%
80	180 µm	0,5	0,50%	16	16,00%
100	149 µm	2,4	2,40%	17,5	17,50%
Fondo	< 149 µm	0,4	0,40%	2,4	2,40%
Total		99	99,00%	99,8	99,80%

Fuente: muestra de cálculo. Apéndice A.

Granulometrías realizadas a la leche utilizada en el proceso productivo de chocolate en barra

No. Tamiz	Tamaño	Lote 1		Lote 2		Lote 3	
		Peso (g)	Porcentaje (%)	Peso (g)	Porcentaje (%)	Peso (g)	Porcentaje (%)
14	1410 µm	1,6	1,60%	0,7	0,70%	1,3	1,30%
18	1000 µm	0,7	0,70%	1	1,00%	2,4	2,40%
25	710 µm	7,5	7,50%	6,5	6,50%	5,9	5,90%
30	590 µm	6,5	6,50%	7	7,00%	7,8	7,80%
40	420 µm	2,1	2,10%	1,4	1,40%	2,2	2,20%
50	300 µm	10,4	10,40%	9,4	9,40%	7,6	7,60%
60	250 µm	10,8	10,80%	11,2	11,20%	11,4	11,40%
80	180 µm	2,7	2,70%	1	1,00%	2,1	2,10%
100	149 µm	49,2	49,20%	53,4	53,40%	49,8	49,80%
Fondo	< 149 µm	8,3	8,30%	7,9	7,90%	8,2	8,20%
Total		99,8	99,80%	99,5	99,50%	98,7	98,70%

Fuente: muestra de cálculo. Apéndice A.

Granulometrías realizadas a la pasta de cacao utilizada en el proceso productivo de chocolate en barra

No. Tamiz	Tamaño	Lote 1		Lote 2		Lote 3	
		Peso (g)	Porcentaje (%)	Peso (g)	Porcentaje (%)	Peso (g)	Porcentaje (%)
14	1410 µm	2,5	2,50%	3,5	3,50%	5	5,00%
18	1000 µm	7,7	7,70%	4	4,00%	3,4	3,40%
25	710 µm	18,3	18,30%	19	19,00%	16,9	16,90%
30	590 µm	4,2	4,20%	4,6	4,60%	7,4	7,40%
40	420 µm	7,5	7,50%	14	14,00%	14,3	14,30%
50	300 µm	10	10,00%	16,5	16,50%	12,7	12,70%
60	250 µm	9	9,00%	7,5	7,50%	6,7	6,70%
80	180 µm	3,9	3,90%	2	2,00%	3,5	3,50%
100	149 µm	35,2	35,20%	28,3	28,30%	25,9	25,90%
Fondo	< 149 µm	1,4	1,40%	0,4	0,40%	3,4	3,40%
Total		99,7	99,70%	99,8	99,80%	99,2	99,20%

Fuente: muestra de cálculo. Apéndice A.

Granulometrías realizadas a la pasta de cacao utilizada en el proceso productivo de chocolate en barra

No. Tamiz	Tamaño	Lote 4		Lote 5	
		Peso (g)	Porcentaje (%)	Peso (g)	Porcentaje (%)
14	1410 µm	0,4	0,40%	3,7	3,70%
18	1000 µm	8,3	8,30%	4,6	4,60%
25	710 µm	15,4	15,40%	18,5	18,50%
30	590 µm	6,2	6,20%	2,3	2,30%
40	420 µm	11,4	11,40%	14,2	14,20%
50	300 µm	21,2	21,20%	17,1	17,10%
60	250 µm	8,2	8,20%	5,3	5,30%
80	180 µm	2,9	2,90%	3,4	3,40%
100	149 µm	22,3	22,30%	30,4	30,40%
Fondo	< 149 µm	3,5	3,50%	0,2	0,20%
Total		99,8	99,80%	99,7	99,70%

Fuente: muestra de cálculo. Apéndice A.

APÉNDICE C

Parámetros esperados en un proceso productivo de chocolate en barra.

Variables esperadas en el análisis del proceso productivo

Punto de Muestreo	VARIABLES a Medir	Valor esperado	Rango Permitido	Acciones a tomar si los Valores no están en el rango
1 Fase Sólida	Peso inicial de muestra	Acorde al tamaño de muestra	No aplica	No aplica.
	Tamaño de Grano	2,5 cm	±0,5 cm	1.1 Devolver cacao a proveedor ya que no se alcanzado una maduración óptima.
	Humedad	8,0 % en peso	± 0,5% en peso	1.2 Devolver cacao a proveedor por falta de maduración, o indicios de cacao muy fermentado.
2 Fase Sólida	Peso final de muestra	0,8 % de pérdida en peso	Hasta el 1,0 % de pérdida en peso.	2.1 Analizar la basura que se desecha para determinar que no se esté arrastrando con materia prima útil. 2.2 Si no existe arrastre en la máquina limpiadora exigir al proveedor un cacao con mayor limpieza.
3 Fase Sólida	Humedad final (peso)	2%	±0,5%	3.1 Analizar temperaturas y tiempos de tostado.
	Tiempos de secado	20 minutos	± 3 minutos	3.2 Analizar los efectos de la carga en el bombo de tostado.
	Temperatura	140 °C	± 35 °C	3.3 Ajustar las temperaturas en base a una curva de secado.
4. Fase Sólida	Porcentaje de cascarilla	5%	±1%	4.1 Revisar cuchillas de la descascarilladora. 4.2 Revisar tiempos de permanencia en descascarilladora. 4.3 Analizar operación de tostado.

Continuación tabla ...

Punto de Muestreo	VARIABLES a Medir	Valor esperado	Rango Permitido	Acciones a tomar si los Valores no están en el rango
5. Fase Líquida	Temperatura Licor de Cacao	45°C	± 5°C	5.1 Ajustar válvulas de paso de vapor a chaquetas.
	Viscosidad a 45°C	1560 cP	± 50 cP	5.2 Analizar tiempo de reposo (estadía) 5.3 Analizar calidad de materia prima.
	Acidez	5.4	± 0.2	5.4 Analizar tiempos de tostado y tiempos de reposo
	Punto de fusión	32 °C	± 2 °C	
6. Fase Sólida	Presiones de rodillos	R 1 44 Psi R 2. 31 Psi R 3. 25 Psi R 4. 16 Psi	±5 Psi	6.1 Ajustar rodillos con llaves de presión.
	Granulometría de refino	180 µm	120µm<tamaño de partícula> 180µm	6.2 Ajustar presión de rodillos, revisar formulación.
7 Fase Líquida	Temperatura de conchado	60 °C	± 5 °C	7.1 Ajustar válvulas de paso de vapor.
	Viscosidad final a 60°C	2000 cP	± 80 cP	7.2 Analizar las proporciones de lecitina en la formulación. 7.3 Analizar los tamaños de refino. 7.4 Analizar los tiempos de conchado. 7.5 Analizar las proporciones de grasas.

Continuación tabla...

Punto de Muestreo	VARIABLES a Medir	Valor esperado	Rango Permitido	Acciones a tomar si los Valores no están en el rango
8 Fase Sólida	Temperatura de enfriamiento	13 °C	± 2 °C	8.1 Ajustar temperatura en el túnel de enfriamiento.
	Consistencia	Prueba a fijar parámetros	Prueba a fijar parámetros.	No aplica.
9 Fase Sólida.	Calidad del empaque	Buen traslape en el empaque. Buena presentación del empaque.	Prueba cualitativa	9.1 Calibrar maquina empacadora.
	Análisis Sensorial	Prueba cualitativa	Prueba Cualitativa	No aplica.

Fuente: BECKETT, S.T. Fabricación y utilización industrial del chocolate. p. 145.

APÉNDICE D

Pruebas preliminares y almacenamiento de las mismas



Fuente: Elaboración propia.

Resultado apariencia pruebas preliminares



Fuente: Elaboración propia.

Apariencia formulación habitual



Fuente: Elaboración propia.

Apariencia nueva formulación



Fuente: Elaboración propia.

Presentación análisis sensorial a nivel laboratorio



Fuente: Elaboración propia.

Prueba de consistencia a las formulaciones de chocolate



Fuente: Elaboración propia.

Formato para realizar análisis sensorial

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

AREA DE INVESTIGACIÓN



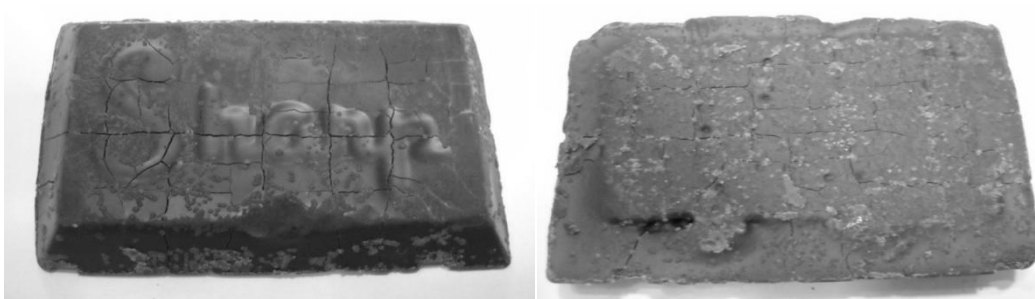
ANÁLISIS SENSORIAL CHOCOLATE EN BARRA

INSTRUCCIONES: A continuación se presenta una línea horizontal, en el centro se encuentra marcada una línea de referencia. Usted debe probar la muestra 9371 y compararla con la muestra 2610. Realice una marca sobre la línea de referencia si ambas muestras le parecieron iguales. Mientras más le haya agradado la muestra 2610 más hacia su derecha realice la marca. Mientras menos le haya agradado la muestra 2610 más hacia su izquierda realice la marca. Cualquier pregunta consúltelo con el evaluador.



Fuente: Elaboración propia.

Problemas de eflorescencia presentes en el chocolate



Fuente: Elaboración propia.

Reducción de fractura externa en anaquel



Fuente: Elaboración propia.

Colorímetro *Color Quest II* utilizado para las mediciones de color.

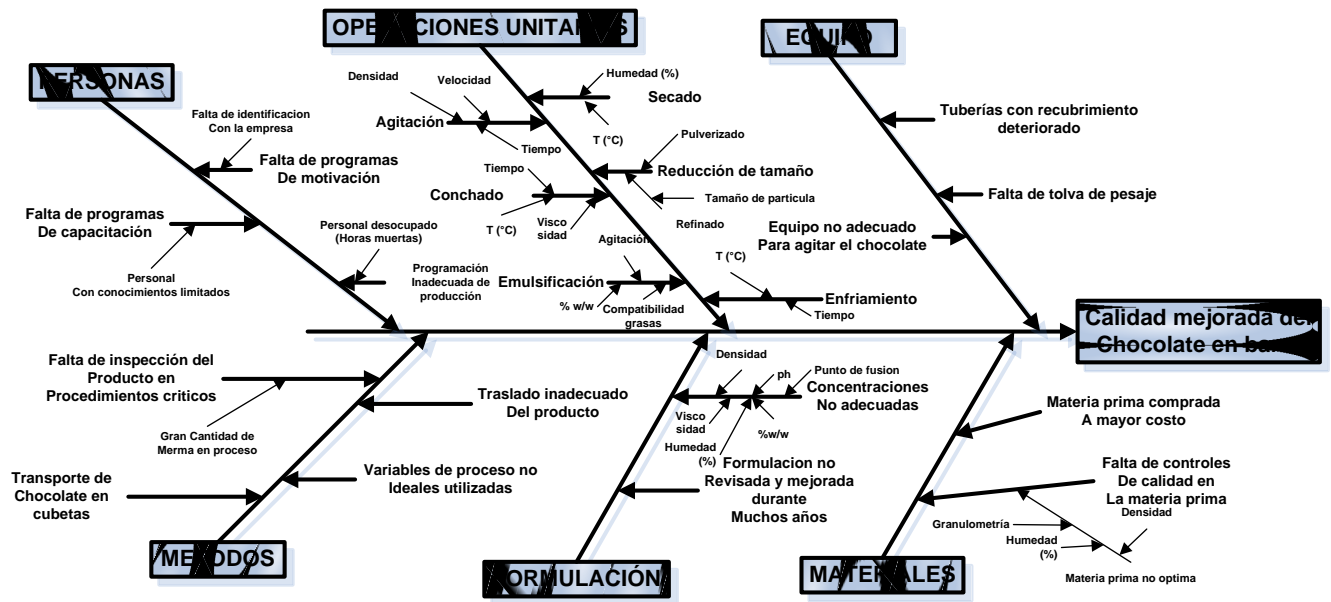


Fuente: Laboratorio de pruebas físicas.

APÉNDICE E

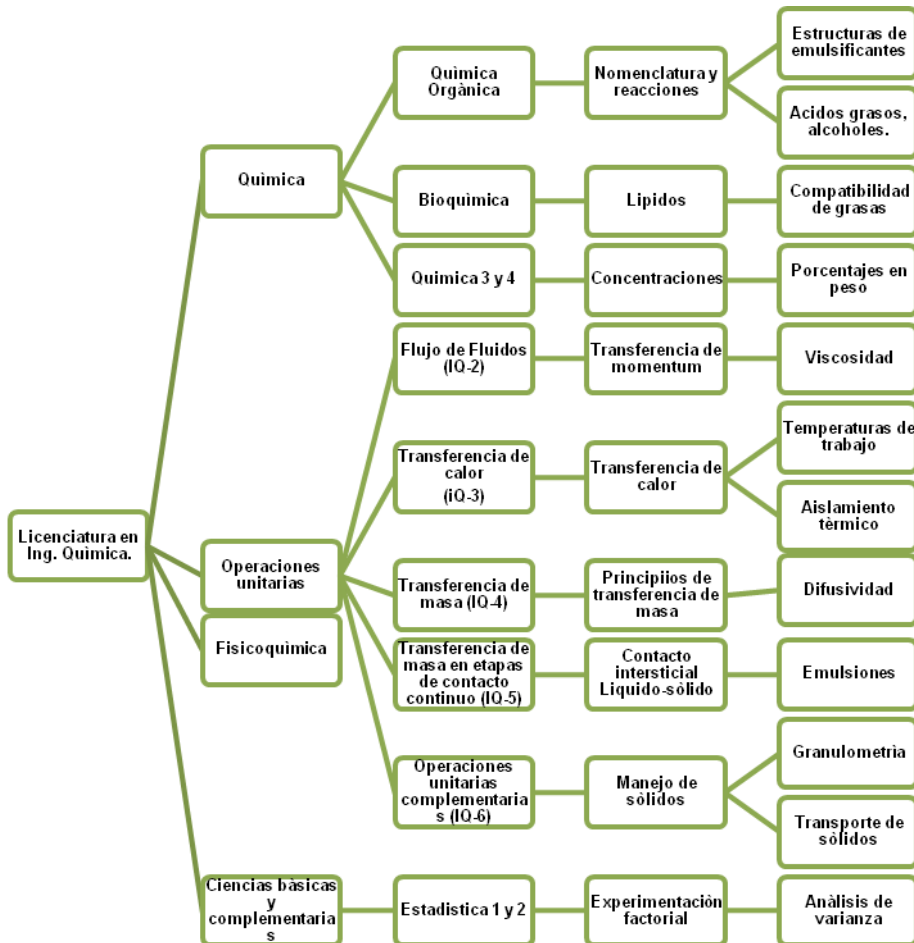
Diagramas de procesos y cursos

Diagrama de causa y efecto de un proceso industrial de chocolate



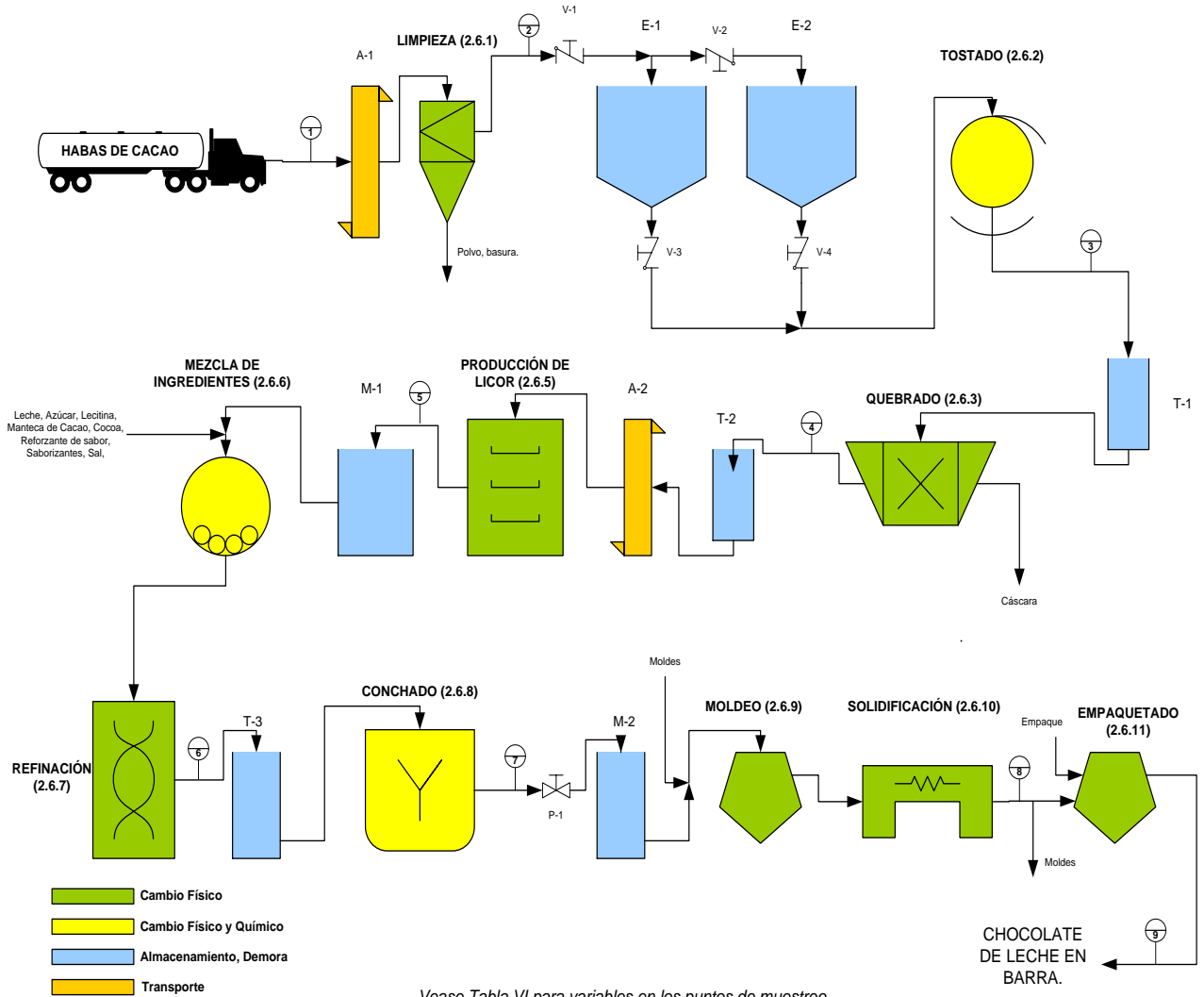
Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de cursos



Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de flujo de proceso



Fuente: Elaboración propia

