



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

U. N. A. M.
CENTRO DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
Estadística

"INFLUENCIA DE LA LECITINA DE SOYA Y OTROS
EMULSIFICANTES EN LAS PROPIEDADES DE FLUJO
DE DIFERENTES COBERTURAS DE CHOCOLATE"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS
P R E S E N T A :
JOSE LEONARDO MAYES LEON

ASESORA: IBO. NORMA BLANCA CASAS ALENCASER
COASESORA: DRA. LAURA PATRICIA MARTINEZ PADILLA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2001 *H*

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ENSEÑANZA DE QUÍMICA
CARRERAS DE QUÍMICA Y QUÍMICA INDUSTRIAL

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Influencia de la Lecitina de soya y otros Emulsificantes en
las Propiedades de Flujo de diferentes Coberturas de Choco-
late".

que presenta él pasante: José Leonardo Mayes León
con número de cuenta: 8136441-5 para obtener el título de :
Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 14 de Noviembre del 2001.

PRESIDENTE	<u>I.B.Q. Norma B. Casas Alencaster</u>	
VOCAL	<u>I.A. Francisco Javier López Martínez</u>	
SECRETARIO	<u>I.A. Elsa Gutiérrez Cortes</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>I.A. Ma. Eugenia Ramírez Ortíz</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>I.A. Patricia Muñoz Aguilar</u>	

**AGRADEZCO A LA U.N.A.M POR HABERME PERMITIDO
ESTUDIAR EN SUS AULAS Y ACCEDER A UNA CARRERA
PROFESIONAL**

**AGRADEZCO A COCOAS Y CHOCOLATES LA CORONA
POR PERMITIRME LA PRACTICA PROFESIONAL**

**MI AGRADECIMIENTO ESPECIAL PARA :
IBQ. NORMA BLANCA CASAS ALENCÁSTER
DRA. LAURA PATRICIA MARTÍNEZ PADILLA
POR LAS FACILIDADES Y LA COLABORACI -
ÓN BRINDADAS EN EL PRESENTE TRABAJO.
ASÍ MISMO A TODAS LAS PERSONAS QUE -
DIRECTA O INDIRECTAMENTE HICIERON -
POSIBLE LA REALIZACIÓN DEL MISMO.**

**CON TODO CARIÑO Y RESPETO A MIS PADRES
LA SRA. MAGDALENA LEÓN FLORES Y -
EL SR. JOSE LUIS MAYES ZAVALA, COMO -
PEQUEÑA RETRIBUCIÓN A SU ESFUERZO Y -
SACRIFICIO.**

A MI FAMILIA

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

INDICE

Contenido	Página
Resumen	1
I Introducción.	3
II Generalidades.	
2.1 El cacao	5
2.1.1 Descripción botánica del cacao	6
2.1.2 Fermentación y secado de granos de cacao	6
2.1.3 Secado del cacao	8
2.1.4 Aspectos tecnológicos del grano de cacao.	11
2.2 Proceso de elaboración de coberturas de chocolate.	32
2.2.1 Tipo de coberturas de chocolate más comunes.	49
2.2.2 Ingredientes más comunes y su importancia en la formulación de coberturas de chocolate.	51
2.3 Aspectos generales sobre la manteca de cacao.	56
2.4 Grasas alternativas de la manteca de cacao.	59
2.5 Emulsificantes usados en coberturas de chocolate.	63
2.6 Reología de coberturas de chocolate.	67
2.6.1 Comportamiento de fluencia del chocolate.	72
2.6.2 Factores que afectan las propiedades de fluencia del chocolate.	74
2.7 Método de Steiner para la caracterización reológica del chocolate.	80
2.7.1 Procedimiento de la OICC para la preparación y análisis de las muestras.	82
2.8 Bombeo de chocolate.	86

III Fase experimental.

Objetivos.	89
III.1 Desarrollo experimental.	91
III.2. Descripción metodológica.	99

IV Resultados y discusión.

4.1 Influencia de la lecitina de soya y el PGPR sobre los parámetros de Casson en el chocolate oscuro.	104
4.2 Determinación de la concentración de lecitina de soya y PGPR mas adecuada para reducir los parámetros de Casson en el chocolate oscuro.	111
4.3 Determinación de la concentración de lecitina de soya y PGPR mas adecuada para reducir los parámetros de Casson en el chocolate claro.	115
4.4 Efecto del incremento de manteca de cacao en la reducción de los parámetros de Casson del chocolate claro, comparado con el uso de emulsificantes.	119
4.5 Determinación de la concentración de lecitina y PGPR mas adecuada para reducir los parámetros de Casson en la cobertura de recubrimientos.	123
4.6 Modelo reológico al que mejor ajustan las diferentes coberturas de chocolate, en comparación al modelo de Casson.	127

V Conclusiones.	129
-----------------	-----

VI Recomendaciones	135
--------------------	-----

Apéndice "A" Exactitud.	137
-------------------------	-----

Apéndice "B" Coeficientes de variación de las mediciones del esfuerzo de cizalla.	139
---	-----

Referencias bibliográficas.	152
-----------------------------	-----

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pagina
2.1 Proceso tradicional de transformación del cacao.	12
2.2 Proceso modificado de transformación del cacao.	13
2.3 Proceso avanzado de transformación del cacao.	14
2.4 Reactor PDAT para el tratamiento del licor de cacao.	29
2.5 Espectros granulométricos de Premolienda y refinación del licor de cacao.	31
2.6 Diagrama de flujo de una línea de producción de chocolate.	33
2.7 Refinadora de 5 rodillos.	36
2.8 Perfil de una refinación gradual.	37
2.9 Variaciones de la humedad y acidez durante el ciclo de conchado.	40
2.10 Vista de una concha longitudinal.	41
2.11 Vista de una concha rotatoria.	43
2.12 Sistema de conchado continuo.	44
2.13 Triglicéridos simétricos de la manteca de cacao.	57
2.14 Cambios polimórficos de la manteca de cacao.	57
2.15 Estructura química de la lecitina de soya.	64
2.16 Estructura química del PGPR.	65
2.17 Clasificación del comportamiento reológico de diferentes fluidos.	68
2.18 Representación gráfica de modelos reológicos de fluidos independientes del tiempo.	72
2.19 Estructura del chocolate fundido.	73
2.20 Efecto reológico del incremento de sólidos en un sistema disperso.	73
2.21 Gráfico del modelo de Casson.	74
2.22 Influencia del contenido de grasa en los parámetros de Casson.	76
2.23 Influencia de la granulometría en los parámetros de Casson.	77
2.24 Influencia del tiempo de conchado sobre los parámetros de Casson	79
2.25 Esquema del sistema de cilindros concéntricos.	80
2.26 Representación gráfica de la ecuación de Steiner	82
3.1 Cuadro metodológico del desarrollo experimental.	90
3.2 Diagrama para la elaboración de las coberturas de chocolate.	100

Figura	Pagina
4.1 Curva de flujo de la influencia de la lecitina de soya en la viscosidad aparente y el esfuerzo de cizalla de un chocolate oscuro.	106
4.2 Curva de flujo de la influencia del PGPR sobre la viscosidad aparente y el esfuerzo de cizalla de un chocolate oscuro.	107
4.3 Curva de flujo del efecto de la mezcla de emulsificantes (Lecitina + PGPR) en la reducción de la viscosidad aparente y el esfuerzo de cizalla en el chocolate oscuro.	112
4.4 Curva de flujo del efecto de la mezcla de emulsificantes en la reducción de la viscosidad aparente y el esfuerzo de cizalla en el chocolate claro.	116
4.5 Curva de flujo del efecto del incremento de manteca de cacao en la reducción de la viscosidad aparente y el esfuerzo de cizalla del chocolate claro.	120
4.6 Curva de flujo del efecto de la mezcla de emulsificantes en la reducción de la viscosidad aparente y el esfuerzo de cizalla en la cobertura para recubrimientos.	124

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Pagina
2.1 Contracción volumétrica de la manteca de cacao.	46
2.2 Comparación nutricional de un chocolate lácteo y un chocolate oscuro (base 100g).	54
2.3 Formas polimórficas de la manteca de cacao.	58
2.4 Grasas alternativas de manteca de cacao.	60
2.5 Ventajas y desventajas de las grasas CBR y CBS.	63
2.6 Velocidades de cizalla de los sistemas Brookfield de la serie HA.	83
3.1 Resumen de los niveles experimentales de concentración de los emulsificantes.	98
3.2. Especificaciones fisico-químicas de las coberturas de chocolate.	101
4.1 Coeficientes de determinación del ajuste de datos de velocidad y esfuerzo de cizalla al modelo de Casson, en el chocolate oscuro con lecitina y PGPR.	108
4.1.1 Efecto de la lecitina y PGPR en los parámetros de Casson del chocolate oscuro.	108
4.2 Coeficientes de determinación del ajuste de datos de velocidad y esfuerzo de cizalla al modelo de Casson, en el chocolate oscuro con mezcla de emulsificantes.	113
4.2.1 Reducción de los parámetros de Casson en chocolate oscuro, por la adición de lecitina y PGPR en mezcla.	113
4.3 Coeficientes de determinación del ajuste de datos de velocidad y esfuerzo de cizalla al modelo de Casson, en el chocolate claro con mezcla de emulsificantes.	117
4.3.1 Reducción de los parámetros de Casson en chocolate claro, por la adición de lecitina y PGPR en mezcla.	117
4.4 Coeficientes de determinación del ajuste de datos de velocidad y esfuerzo de cizalla al modelo de Casson, del incremento de manteca en el chocolate claro .	121

Cuadro	Página
4.4.1 Efecto del incremento de manteca de cacao en la reducción de los parámetros de Casson, comparado con el uso de emulsificantes en el chocolate claro.	121
4.5 Coeficientes de determinación del ajuste de datos de velocidad y esfuerzo de cizalla al modelo de Casson y Newton, en la cobertura de recubrimientos.	125
4.5.1 Reducción de los parámetros de Casson en la cobertura de recubrimientos, por la adición de lecitina y PGPR en mezcla.	125
4.6 Comparación del modelo de Casson con el modelo reológico que mejor ajusta a las diferentes muestras de cobertura de chocolate.	127

RESUMEN.

El objetivo principal de este trabajo fue la caracterización reológica de chocolates para moldeo y de coberturas para recubrimientos, debido a que presentan diferentes necesidades de flujo en cada proceso. Es decir, para el moldeo se requiere de la expulsión de las burbujas de aire atrapadas en el chocolate y de un buen acabado de las piezas, y para el proceso de cobertura la exigencia es la de formar capas muy delgadas del chocolate durante el recubrimiento, para lo cual es necesario tener un buen escurrimiento del mismo (19, 26).

La caracterización reológica de las coberturas de chocolate, para evaluar el efecto de la lecitina de soya y polirricinoleato de poliglicerol (PGPR) en la reducción de los parámetros del modelo de Casson (esfuerzo de fluencia y viscosidad plástica de Casson), se hizo de acuerdo al método recomendado por la Oficina Internacional del Cacao y Chocolate (OICC) adaptado a un viscosímetro rotacional de cilindros concéntricos con una relación de radios "a" (cilindro interior / cilindro exterior) de 0.9218, debido a que el método tradicional implica la utilización de un viscosímetro Brookfield con cilindros concéntricos, cuya relación de radios es de 0.62, lo cual presenta el inconveniente de tener que efectuar correcciones para el cálculo de los parámetros reológicos, dado a que ésta debe de ser mayor de 0.9 (34).

Los resultados del uso individual de los emulsificantes en el chocolate oscuro, arrojaron que la lecitina de soya tiene un mayor efecto en la reducción de la viscosidad plástica de Casson que sobre el esfuerzo de fluencia. La mayor reducción de los parámetros de Casson se presentó en la muestra con el 0.5 % del emulsificante, debido a que después de esta concentración se presentó un incremento del esfuerzo de fluencia. En lo que respecta al uso del PGPR, se observó que el efecto de éste es más importante en la reducción del esfuerzo de fluencia que sobre la viscosidad plástica de Casson sin embargo, desde el punto de vista tecnológico para los parámetros de Casson, esta reducción no se presentó de manera importante hasta la concentración del 0.3 % del emulsificante. Después de ésta, se observó que el esfuerzo de fluencia tiende a desaparecer.

Los mejores resultados para la reducción de los parámetros de Casson en los chocolates y la cobertura de recubrimientos, se consiguieron con el uso de la mezcla de los dos emulsificantes. De manera general, en los chocolates se logró una reducción del 5 % de manteca de cacao con respecto a la formulación estándar. En la cobertura para recubrimientos, la reducción de la grasa CBS fue del 7 % con respecto a la muestra de referencia.

La concentración de 0.3 % de PGPR con 0.4 % de lecitina de soya, fue la más adecuada para reducir los parámetros de Casson en el chocolate claro. En el chocolate oscuro, la mayor reducción de la viscosidad Casson y el esfuerzo de fluencia, se logró con la concentración de 0.3 % de PGPR con 0.3 % de lecitina. En la cobertura para recubrimientos, la muestra mas adecuada para reducir los parámetros de Casson fue la de 0.3 % de PGPR con 0.1 % de lecitina de soya

Finalmente, con la viscosidad aparente especificada para cada producto se pudo contrastar que la sustitución del 5 % de manteca de cacao en los chocolates y del 7 % de grasa CBS en la cobertura, por la concentración de emulsificantes indicada en el párrafo anterior, tuvo el mismo resultado en la reducción de la viscosidad aparente sin embargo, el efecto tecnológico producido en la reducción de los parámetros de Casson fue mayor, permitiendo mejorar los procesos de moldeo y cobertura de chocolates.

I.- INTRODUCCION.

El cacao se considera originario de América central y del sur; en la antigüedad los aztecas lo usaban como moneda y preparaban con él una bebida llamada “chocolatl”. Dentro de su descripción botánica al cacao se le considera un árbol de entre 5 a 8 metros de altura, perennifolio, cuyos frutos se dan en mazorcas de forma oval alargada que en la madurez llegan a contener hasta 50 semillas o granos de cacao (1, 2).

Desde el punto de vista industrial, el cacao solamente representa el 0.1 % de la superficie nacional de cultivos perennes con una producción anual de 40,462 toneladas de las cuales el 99.7 % se producen en los estados de Tabasco y Chiapas al sureste del país (INEGI, 1998). Desde el año de 1995 esta región se ha visto afectada por la reubicación de terrenos de cultivo desplazados por las instalaciones de PEMEX y por el efecto de las fuertes lluvias que han retrasado los ciclos de cosecha y cultivo del cacao, originando que la disponibilidad del producto y sus derivados en los periodos del año en donde no hay cosechas sea baja y que el precio de éste se incremente considerablemente, lo que representa un grave problema para la industria nacional del chocolate debido a que esta situación genera el incremento de sus costos de producción (37). Por otra parte la apertura comercial del país al tratado de libre comercio (TLC), ha permitido la importación de chocolates extranjeros que se comercializan en el mercado nacional, presentando una competencia dispar a los productos mexicanos, pues estos últimos por el aumento de sus costos de producción no pueden mantener los bajos precios de sus competidores en el mercado. Como respuesta a los problemas de abasto del cacao y al incremento de los costos de producción de la industria nacional del chocolate, uno de sus principales objetivos empresariales es dar impulso a los proyectos de reducción de costos en la elaboración de los productos sin afectar negativamente la calidad de éstos.

El comportamiento reológico de las coberturas de chocolate se acostumbra ajustar al modelo de Casson cuyos parámetros son el esfuerzo de fluencia y la viscosidad plástica de Casson (19, 30).

El método oficial de la Organización Internacional del Cacao y Chocolate (OICC) tradicionalmente plantea la determinación de estos parámetros mediante un viscosímetro Brookfield de cilindros concéntricos sin embargo, éste presenta la desventaja de tener que hacer una corrección en los valores de la velocidad y el esfuerzo de cizalla, debido a que la relación de radios de los cilindros (externo /interno) es menor a 0.9, además de utilizar solamente cinco pares de datos para el cálculo de los parámetros (33, 34). Debido a lo expuesto anteriormente, se considera necesario adaptar este método a un viscosímetro rotacional de cilindros concéntricos con una relación de radios mayor a 0.9 y que por otra parte permita tener un mayor número de pares de datos en el mismo rango de velocidad manejado por los sistemas Brookfield para el cálculo de los parámetros de Casson.

Dentro del proceso de elaboración de chocolates, la manteca de cacao tiene gran importancia en la reducción de las propiedades de flujo de las coberturas de chocolate para los procesos de moldeo y cobertura, sin embargo para lograr este propósito se requiere de grandes cantidades de manteca de cacao, lo que resulta muy caro repercutiendo en el incremento de los costos de producción, y el margen de utilidad de estos productos en el mercado.

De esta manera, surge la necesidad del empleo de emulsificantes como la lecitina de soya y el polirricinoleato de poliglicerol (PGPR), que empleándolos conjuntamente tienen un efecto directo en la reducción del esfuerzo de fluencia y la viscosidad de Casson de los chocolates y coberturas, logrando una reducción de hasta el 8 % de manteca de cacao o grasa en la formulación de éstos, además de aumentar el rendimiento de las coberturas para recubrimientos (27, 28).

Por otra parte hay reportes que indican que se logra optimizar los procesos de refinación y amasado del chocolate reduciendo el consumo de energía y los tiempos de procesamiento (16, 17).

Finalmente, es necesario decir que el desarrollo del presente trabajo tiene por objeto evaluar el efecto de los emulsificantes en las propiedades de flujo del chocolate en las líneas de moldeo y de recubrimientos por lo que considero de importancia compartir la información de la metodología específica requerida para la caracterización reológica de estos productos, así como el marco teórico del proceso de elaboración de chocolates.

II.- GENERALIDADES.

2.1. - El cacao.

El árbol del cacao es originario de las selvas tropicales del Amazonas, en donde se desarrolla bajo la sombra, calor y una humedad alta. Este se extiende naturalmente en la región norte y oeste de Guyana, México y las islas del Caribe. Dos diferentes especies crecen en ésta región, las cuales Morris en 1882 clasificó como criollo y forastero, este último mas tarde fue dividido en otras variantes. Un tercer grupo llamado trinitario es básicamente una cruce entre el criollo y el forastero y no se le encuentra de forma natural (1).

Los mayas en Yucatán y los aztecas de México cultivaban el cacao mucho tiempo antes de su introducción en Europa, con el cual preparaban una bebida llamada **chocolatl** hecha con granos de cacao tostados y molidos mezclados con agua, maíz y otras especias. Los aztecas consideraban que el árbol del cacao tenía un origen divino lo cual contribuyó a que más tarde el botánico sueco Linnaeus le diera el nombre de **theobroma** al género del cacao y sus especies (1).

Los españoles fueron los primeros en reconocer el valor comercial del cacao y la nueva bebida, a la cual agregaron azúcar, ganando una gran popularidad. Los mismos introdujeron el cacao en Trinidad manteniendo en secreto los métodos de cultivo y la preparación de la bebida, no obstante los árboles se desarrollaron en otras regiones hacia el oeste del Caribe y Filipinas, de donde probablemente los alemanes lo introdujeron en Indonesia y Sri Lanka (1).

Sudamérica y el este del Caribe mantuvieron el mayor abasto de cacao alrededor de 1900, pero cuando los árboles se introdujeron al oeste de África, donde crecieron en condiciones favorables, la producción pronto alcanzó un nivel muy alto. Actualmente las naciones del oeste de África abastecen las demandas del cacao en el ámbito mundial, aunque Brasil pronto se convertirá en el primer productor mundial.

2.1.1 Descripción botánica.

El término **cacao** se refiere al árbol y a sus frutos (drupas y semillas). Cocoa describe a los granos comercialmente fermentados y secos, así como al polvo producido por el procesamiento de los mismos (2).

El árbol solamente puede cultivarse bajo ciertas condiciones de altitud, latitud y humedad. Algunos autores afirman que el 75% de los cultivos se desarrollan a los 8 grados a ambos lados del ecuador, con excepción de algunas áreas que lo hacen a los 18 grados al norte y al sur. La temperatura óptima para su crecimiento está entre los 18 y 32 ° C, la precipitación pluvial es preferible que se encuentre entre los 1500 y 2000 mm por año y una altitud máxima sobre el nivel del mar de 950 m (1).

El árbol del cacao mide entre 5.0 y 8.0 metros de altura, es perennifolio, en los troncos verticales las hojas brotan en forma alterna, mientras que las ramas laterales son opuestas. Las hojas son de forma oblonga a lanceolado-oblonga, miden de 10 a 20 cm de largo por 5 a 12 cm de ancho, las flores son blancas amarillentas o rosáceas bisexuales, regulares con pedicelo largo y fino. Del gran número de flores que se producen, menos del 5% son fecundadas y llegan a dar fruto, por esta razón en las explotaciones comerciales se recurre a la polinización artificial. El fruto es una mazorca (drupa) grande de forma elipsoidal de color amarillo claro o rojizo oscuro en la madurez y contiene de 10 a 50 semillas (1,2). Las bayas o mazorcas de cacao se cosechan cuando han alcanzado su madurez completa. Durante la temporada de cosecha, el corte de las bayas se hace semanalmente, eliminando las bayas enfermas y las atacadas por los insectos.

2.1.2 Fermentación y secado de granos de cacao.

La correcta fermentación y secado del grano de cacao es de vital importancia para las siguientes etapas del procesamiento del grano de cacao. Después de la cosecha, las vainas de cacao con la pulpa adherida, son removidas y acomodadas en montones, cajas o canastas para dar inicio al proceso de fermentación etanólica, acética y láctica en la que intervienen principalmente levaduras y bacterias lácticas (19).

En las pequeñas plantaciones se practica la fermentación del grano formando para ello pequeños montones, mientras el método de los cajones es empleado en grandes plantaciones y en Sudamérica y el oeste del Caribe es practicado en pequeña escala. En Nigeria el método de cestas o canastas es comúnmente practicado (1).

En el método de apilamiento de los granos de cacao, los pequeños montones de 500 a 600 libras son cubiertos con cáscaras de plátano u hojas de plantas para mejorar el proceso, sin embargo se obtienen mejores resultados con el método de los cajones pues la fermentación es más uniforme (1).

El proceso dura de 3 a 8 días dependiendo de las condiciones climáticas de cada región. Durante los primeros días la pulpa adherida se drena en forma de líquidos por efecto de la temperatura, para el tercer día la fermentación de los granos de cacao es completada y la masa de granos se encuentra entre los 45 y 50 ° C, en esta etapa es necesario traspalear los granos para facilitar la aeración de los mismos (1, 3).

Los cajones para la fermentación son hechos en una gran variedad de formas y tamaños, pero por lo regular se encuentran de 4 por 4 pies y tres pies de profundidad, los cuales únicamente se llenan de granos a 2 pies de profundidad para facilitar la remoción de los mismos, generalmente los cajones son ordenados en filas para transferir o cambiar los granos de una caja a otra (3).

Durante el proceso de fermentación y secado, las habas de cacao húmedas de las vainas pierden el 65% de su peso alcanzando el contenido de humedad óptimo del 6 % en peso. Los cambios químicos ocurridos durante el proceso son los siguientes:

La pulpa esta compuesta de un 85 % de agua aproximadamente y un 1 % de azúcares con pequeñas cantidades de ácido cítrico, pentosas y proteínas. Durante los primeros dos días de la fermentación, los azúcares son hidrolizados en un 2 % formando pequeñas cantidades de alcohol etílico y ácido láctico y la temperatura se incrementa a unos 45 ° C, durante el tiempo restante de la fermentación la temperatura es mantenida entre 45 y 50 ° C y la cantidad de granos debe de ser suficiente para evitar que la temperatura caiga. El pH aumenta de 3.5 inicialmente a 4.5, después a 5 y la presencia de oxígeno durante el traspaleo da como resultado la formación de ácido acético (1, 19).

Por su parte el cotiledón gana humedad y los cambios en su textura van desde la blanda a una estructura fisurada que durante el secado y deshidratación es fraccionada representando cambios en el color de los granos de cacao que en la especie del forastero se manifiesta en un tono púrpura y púrpura marrón a un marrón oscuro. Con el tipo del criollo cambios similares ocurren, pero el color resultante final es marrón claro (1, 19).

Se pueden mencionar tres factores que contribuyen a un buen desarrollo de color y sabor en los granos de cacao, los cuales son los siguientes (1):

- 1).- La germinación de los granos de cacao durante los primeros estados de la fermentación.
- 2).- Mantener los granos de cacao en el rango de temperatura de los 50 grados centígrados por varios días después de iniciada la germinación. Temperaturas más bajas generan tonalidades púrpuras en lugar de marrón y el perfil del sabor al final se ve afectado negativamente.
- 3).- El dióxido de carbono circulante en los granos de cacao evita la formación de mohos.

2.1.3 Secado del cacao.

Después de la fermentación, los granos de cacao son colocados en tinas de secado poco profundas y en algunas regiones donde la principal cosecha coincide con la temporada de calor el método de secado al sol es recomendable, aunque se debe de tener la precaución de proteger las semillas de la lluvia y el rocío de la noche y bajo éstas condiciones son secadas lo suficiente para ser transportadas y almacenadas.

Algunas autoridades son de la idea de que el secado al sol, controlado apropiadamente, trae mejores resultados; en éste método los granos son extendidos en camas de 2 pulgadas de espesor y expuestos a los rayos solares y periódicamente son removidos para exponer las superficies frescas a los mismos. En algunas regiones como el Camerún, la lluvia y la humedad no permiten éste tipo de secado, por lo cual es necesario emplear un método de secado artificial. Wood, 1985 describe varios tipos de secado artificial, los cuales se mencionan a continuación.

Secado en samoas.

Las samoas son de fácil construcción y son usadas generalmente en pequeñas plantaciones. Estas consisten de un cañón de ligera pendiente y terminación en chimenea, las cuales pueden ser fabricadas con tambores de petróleo removiendo las tapas y alineando los cilindros, sellando las juntas para evitar fugas de aire caliente con materiales no flamables. El cañón es colocado bajo un foso preferiblemente sobre ladrillos y en la parte de arriba es construida una plataforma de secado usando maderas, provista de un soporte para un techado. Unas crucetas son utilizadas para sostener la malla dónde se colocaran los granos de cacao húmedos para su secado y el espacio entre la plataforma y el cañón es cerrado con un muro en cuyo extremo hay un quemador con un ventilador para introducir aire caliente a la samoa, la temperatura en el interior es de 60 a 70 grados centígrados y el tiempo de secado es de aproximadamente 12 horas y en intervalos de cada 3 horas los granos de cacao son removidos con palas (1,3).

Secador Büttner.

Este es el único secador continuo que ha sido utilizado para granos de cacao, el cual consiste en un cilindro vertical de 4 pies de diámetro con chimenea a través del cual pasa un gran número de bandejas en una cadena sin fin de arriba hacia abajo. Estas bandejas son cargadas en el fondo del secador con granos de cacao húmedo y llevadas a la parte alta del mismo para que después lentamente pasen hacia abajo frente a una corriente de aire caliente forzada por una turbina a través de un calentador de serpentín. En la salida de la base del cilindro el grano seco es descargado y cambiado por grano húmedo (1).

La capacidad de este secador es de aproximadamente 9 toneladas en un ciclo de secado de 16 horas. El proceso es económico pero requiere de varias personas para su correcto mantenimiento.

Secador Lister.

Este tipo de secador consiste de un gran quemador diesel y ventilador, el cual es utilizado para el secado de heno y semillas.

El equipo produce un volumen de aire de 35,000 pies cúbicos por minuto a una temperatura de 6 a 12 grados centígrados arriba de la ambiental, sin embargo para poder utilizarse en el secado de granos de cacao húmedo se tuvo que hacer ciertas modificaciones pues las bajas temperaturas y los tiempos largos producían en el proceso malos olores. Estas contemplan un secado preliminar en camas poco profundas con altas temperaturas, seguido de un secado final en cestos profundos. La capacidad de éste tipo de secadores es aproximadamente de 5 toneladas y su costo-beneficio es relativamente bajo (1).

Secador de plataforma.

Los secadores de éste tipo utilizan maquinarias estándar usada para otros productos. Estos constan de una plataforma larga y angosta de aluminio perforado cubierto de una malla de material similar, bajo la cual la encierra una cámara en la que pasa aire caliente. El aire caliente es generado por un cambiador de calor y un ventilador eléctrico. La eficiencia del secador depende del espesor de las camas de grano de cacao húmedo combinado con un adecuado mezclado de los mismos. Con camas profundas se requiere de una agitación mecánica, aunque esto último no es muy frecuente (1).

2.1.4.- Aspectos tecnológicos del procesamiento del grano de cacao.

En las últimas décadas se ha alcanzado un considerable desarrollo de las técnicas de transformación del cacao. Teniendo en cuenta que la calidad de la manteca de cacao, la cocoa en polvo y el chocolate están en función de la capacidad que tengan las industrias del procesamiento óptimo del grano de cacao, es justificable el empeño de desarrollar al máximo la tecnología de transformación del mismo.

El estudio tecnológico-científico de la tecnología de transformación del cacao y de la producción de chocolate llevado a cabo por prestigiosas entidades científicas y firmas constructoras de maquinaria ha permitido llegar a un ciclo tecnológico de transformación del cacao que se considera actualmente de avanzada, dando respuesta a las necesidades actuales.

Todas las etapas que se llevan a cabo durante el proceso de transformación del cacao, deben tener como finalidad el mejoramiento de la calidad sensorial y microbiológica del producto final.

En las figuras 2.1, 2.2 y 2.3, se presenta el proceso tradicional, modificado y avanzado de la transformación del cacao (4). El paso de uno a otro ha conllevado un duro trabajo y un serio estudio científico-técnico de todos los cambios que va experimentando la materia prima hasta alcanzar un producto terminado que cumpla con las características deseadas.

El estudio de porque el cambio y hacia donde se cambia nos permite comprender la necesidad de estas transformaciones.

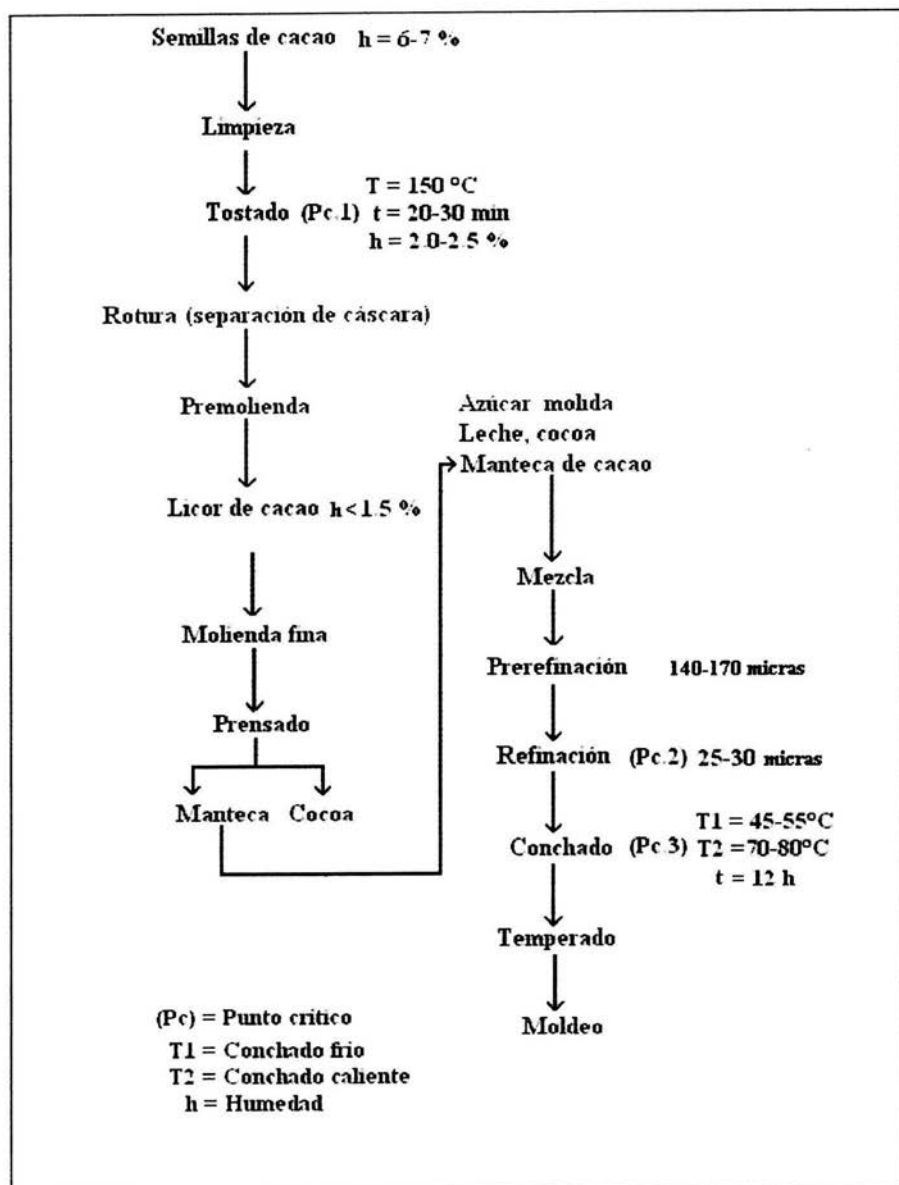


Figura 2.1 Proceso tradicional de transformación del cacao.

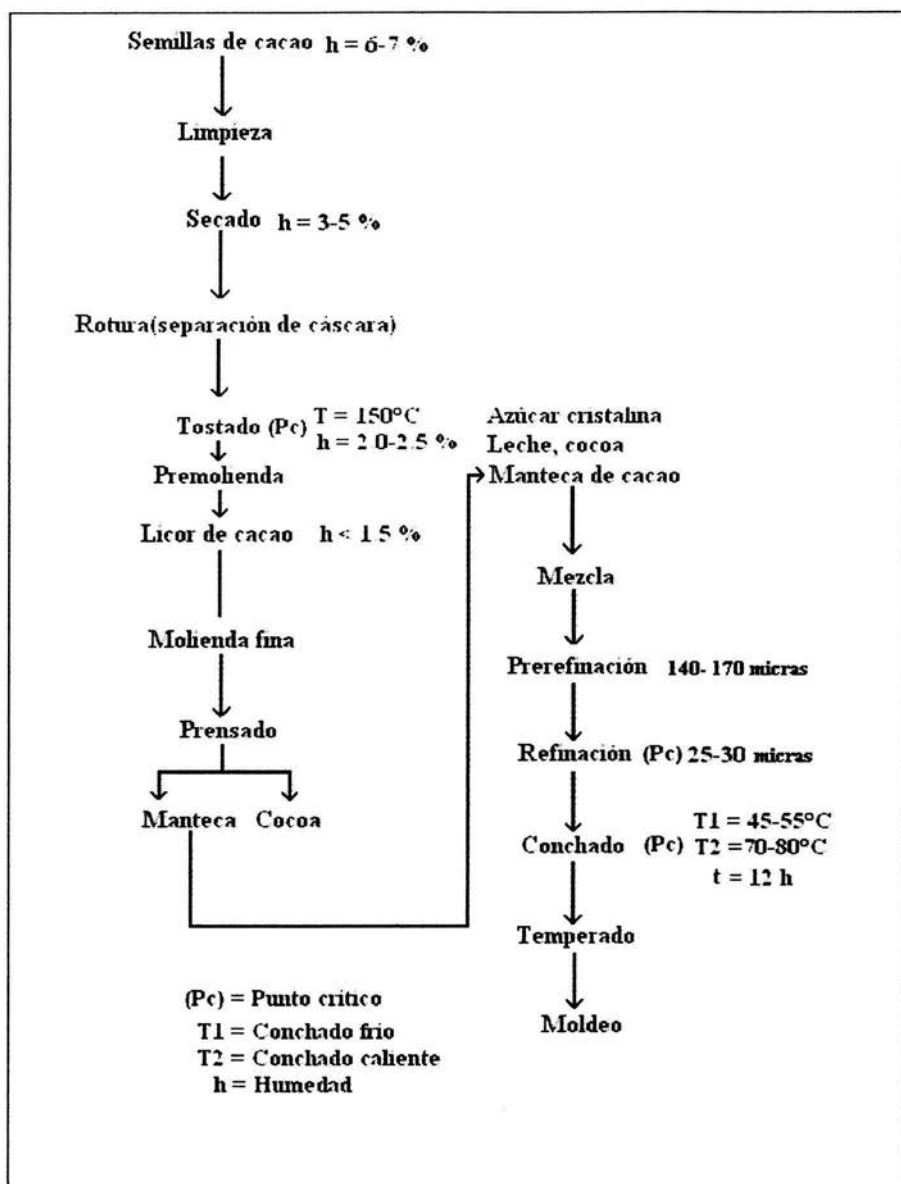


Figura 2.2 Proceso modificado de transformación del cacao.

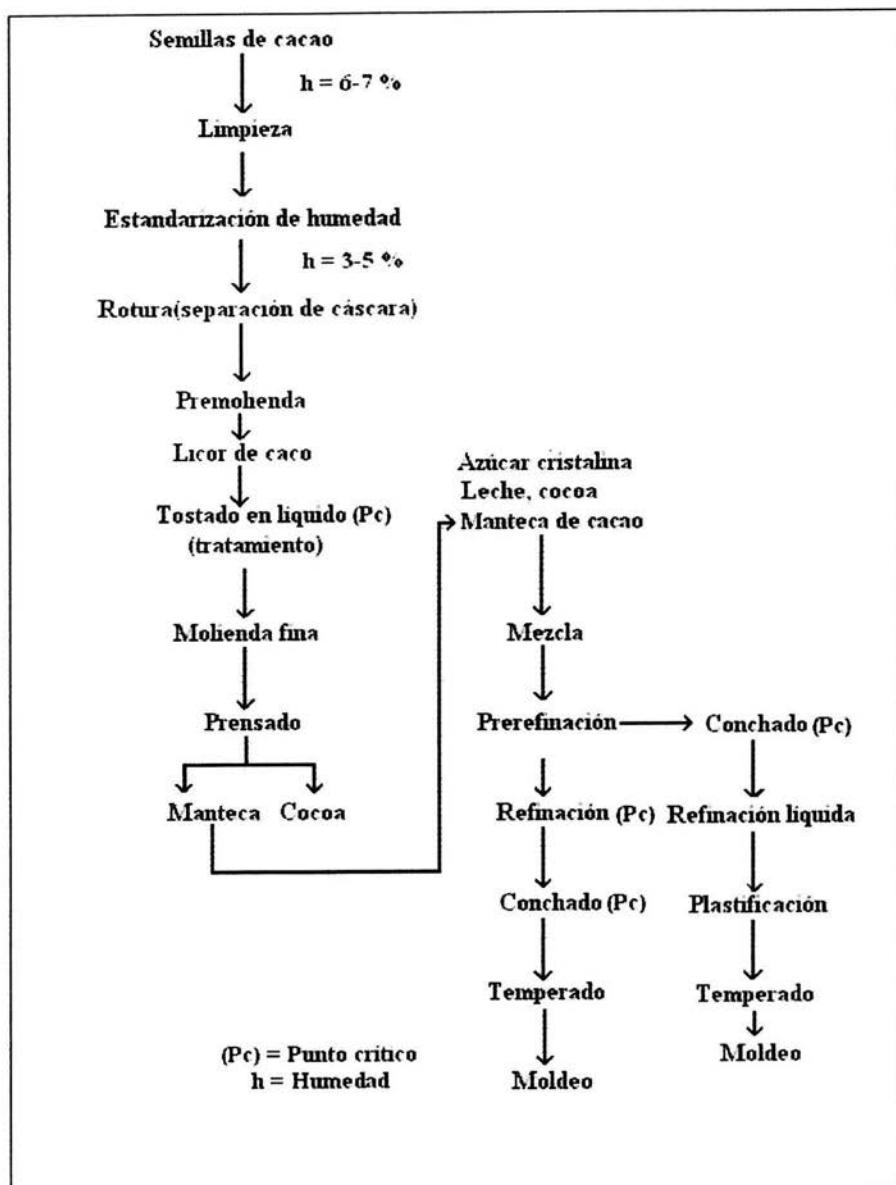


Figura 2.3 Proceso avanzado de transformación del cacao.

Control de puntos críticos del proceso de transformación de cacao.

Independientemente del proceso de transformación de cacao que se trate, los puntos críticos de control son los mismos para cada uno de ellos, por lo cual nos referiremos únicamente al proceso tradicional de transformación de cacao.

PC.1 Tostado de cacao.

De manera general podemos decir que el cacao se tuesta a una temperatura de 150°C durante 20-30 minutos, sin embargo cada tipo de cacao tiene un tiempo y temperatura de tostado óptimo y cualquier desviación de estas condiciones conduce a un producto de mala calidad. Por consiguiente no hay razón económica o práctica que justifique tal desviación.

Se pueden mencionar tres formas de tostar el cacao, la primera de ellas consiste en elevar la temperatura de manera progresiva, casi proporcional al tiempo, llegando así los granos de cacao de diferente tamaño al umbral de tostado correcto al propio tiempo. De esta manera, la cantidad de producto quemado o crudo es mínima. La segunda manera consiste en elevar rápidamente la temperatura y mantenerla estable durante cierto tiempo. Ésta también es una buena opción de tostado, aunque presenta el inconveniente de una mayor cantidad de producto excesivamente tostado. El procedimiento acelerado, tiene la intención de aumentar el rendimiento de los equipos de tostado sin embargo, no es posible obtener una la calidad homogénea del producto, obteniendo grandes cantidades de producto crudo y quemado (4).

PC.2 Refinación de pastas de chocolate.

En general la reducción de tamaño de las partículas de azúcar y cacao del chocolate, se encuentra entre 25-30 micras, aunque puede variar dependiendo del tipo de éste.

Un tamaño de partícula grande, mayor de 35 micras, repercute directamente en la textura del producto dando una sensación de arenosidad, desagradable al paladar. Por otra parte, un tamaño de partícula muy fino, menor a 25 micras, no es perceptible al paladar sin embargo, contribuye en gran medida al aumento del área superficial de contacto demandando una mayor cantidad de grasa y por lo tanto generando cambios en la viscosidad en el chocolate (19, 22)

PC.3 Conchado del chocolate.

En general se puede distinguir dos tipos de conchado. El frío para chocolates con leche se realiza a 45-55°C por un tiempo aproximado de 12 horas, y el caliente para chocolates oscuros que es llevado a una temperatura de 70-80°C por 12 horas. La importancia del conchado, radica en el desarrollo del sabor característico del chocolate, mejorar las propiedades de flujo del mismo y eliminar las sustancias volátiles de sabor no deseado. Como en el caso del cacao, un deficiente conchado tiene como consecuencia un desarrollo pobre de sabor del chocolate (19).

PROCESO TRADICIONAL Y MODIFICADO.

La materia prima, granos de cacao, llega a las plantas de transformación y la primera etapa del proceso tecnológico es la limpieza del mismo. En el proceso tradicional esta etapa se realizaba en un solo equipo limpiador-clasificador donde se eliminaban las impurezas y los granos de cacao se clasificaban según su tamaño para lograr un tostado más uniforme (1). Las transformaciones en la etapa de tostado han hecho que la primera operación sea una eficiente limpieza, lo que se realiza con el empleo de dos máquinas limpiadoras y quita piedras. Estas dos maquinas se colocan una a continuación de la otra (5,6).

En la segunda etapa del proceso se centran los cambios más significativos por constituir ésta la parte central del proceso y es la etapa del tostado en el proceso tradicional. En éste, la operación de tostado se realiza en tostadores circulares con agitación mecánica y un quemador como fuente de calor los cuales trabajan en lotes o en tostadores continuos verticales según sea el caso, pero la materia prima que se emplea son granos de cacao enteros previamente limpiados, lo cual trae como consecuencia las siguientes desventajas (1,4,7):

- 1) Pérdida de manteca de cacao que pasa en las cáscaras.
- 2) Tostado no uniforme debido a las dimensiones heterogéneas del producto, con consiguiente producción de mezclas constituidas por granos demasiado tostados y otros con deficiente tostado.

Falta página

N° 17

Al introducirse cambios en las condiciones en que la materia prima ingresa a las diferentes etapas del proceso se hace necesario cambios en las condiciones de los equipos. En el caso de los trituradores descascaradores modernos, deben ser capaces de lograr una eficiente separación de las cáscaras del grano triturado (granilla), con porcentajes de cáscara en granilla y granilla en cáscara comparable a los obtenidos con las líneas tradicionales los cuales para el primer caso están entre 1.8-3% y para la granilla en cáscara máximo 0.3% (4), aunque cabe aclarar que estos valores corresponden al grano de cacao tostado y por ende con otras características. Las trituradoras descascaradoras modernas trabajan con cacao prácticamente crudo pues sólo ha recibido un ligero secado o estandarización de la humedad (5). Una vez obtenida la granilla esta es sometida a tratamientos según su destino final. Si la granilla está destinada a la elaboración de chocolate es necesario eliminar las sustancias volátiles negativas, incrementar la formación de un aroma más delicado, reducir el tiempo de tostado y descontaminar el producto. Para obtener estos beneficios se utiliza tratamientos con agua y soluciones con azúcares reductores (4).

Si la granilla está destinada a la transformación de cocoa en polvo y manteca de cacao es fundamental mejorar el aroma, la dispersabilidad y el color, en estos casos se utilizan soluciones alcalinas, por lo general a partir de carbonato de potasio, efectuando los llamados tratamientos de alcalinización (4,5). En ambos casos es posible combinar estos tratamientos con una acción pasteurizadora de la granilla para mejorar no sólo las características organolépticas sino también las microbiológicas.

ALCALINIZACIÓN.

La principal finalidad del tratamiento de alcalinización es la de otorgar al producto final, cocoa en polvo, tonalidades oscuras y agradables. Además del color y de la reducción de la carga microbiológica, se logran otros efectos como son:

- Neutralización de la acidez con mejoramiento del perfil del sabor y olor del producto.
- Mayor dispersión del polvo, debido a una parcial hidrólisis del almidón.
- Fragilidad de la estructura celular para facilitar la molienda del producto.

Para lograr estas transformaciones se trata la granilla de cacao con soluciones alcalinas para obtener rangos de pH entre 7 y 8 con valores iniciales de 5 y 5.5 por lo general. Para llevar a cabo correctamente el tratamiento de alcalinización, es necesario que el cacao no esté tostado, sino solamente presecado, debido a las siguientes razones:

- El proceso de formación de sabor y aroma en el tostado del cacao, conocido como torrefacción, modifica los compuestos polifenólicos que con su reactividad se consideran la base de la transformación de color de los productos.
- El tratamiento térmico provoca el debilitamiento y la ruptura de los canales linfáticos del cacao que constituyen las porosidades naturales utilizables de manera ventajosa para la penetración de la solución.
- Después de la torrefacción la semilla de cacao resulta notablemente debilitada y esto puede provocar la formación de una gran cantidad de polvo durante las operaciones de trituración (4,5,9).

Alcalinización sobre las habas de cacao:

El método consiste en poner el haba entera en contacto con una solución alcalina caliente durante el número de horas necesarias para obtener una razonable imbibición. Aplicando este procedimiento existe el grave inconveniente que con tiempos de imbibición industrialmente aceptables, el grado de penetración de la solución neutralizante en el interior de las habas es inferior al que se verifica en la granilla. Resulta por lo tanto un tratamiento superficial que alcanza sólo parcialmente los resultados previstos.

Alcalinización sobre la granilla de cacao:

Actualmente, el método más aplicado para efectuar este procedimiento consiste en colocar la granilla de cacao en contacto con una solución alcalina caliente, de manera que la misma bañe uniformemente toda la granilla, colocándola en contenedores durante varias horas (en algunos casos 1 o 2 días) para aumentar la profundidad de penetración.

Sin embargo al igual que el método anterior el tratamiento resulta superficial pues la solución neutralizante no llega al interior de la granilla, generando un tratamiento heterogéneo.

Por otra parte resulta evidente que el exceso de humedad y la temperatura alta genera un riesgo potencial de contaminación por hongos y bacterias.

Alcalinización sobre el licor de cacao:

Otro método todavía en uso es el tratamiento sobre el licor de cacao. El sistema consiste en moler la granilla de cacao caliente, de manera que la grasa contenida se libere de las células y se presente fundida, dando a la masa así obtenida (llamada licor de cacao) una consistencia líquido pastosa.

Este licor se coloca en recipientes calentados provistos de robustos brazos de agitación. Posteriormente se le añade la solución neutralizante, manteniéndolo en vigorosa agitación para permitir una uniforme distribución de la solución, hasta llevarlo a una humedad de 1.5 % aproximadamente. Este procedimiento presenta los inconvenientes, aunque en una medida pequeña, de la saponificación de la manteca de cacao, tiempos largos de procesamiento por la eliminación de la humedad incrementando los costos de la producción y al igual que los anteriores la incapacidad de hacerlo de manera continua. Por último cabe mencionar que existe otro tratamiento poco usual, donde el potasado se realiza sobre el polvo de cacao que generalmente se utiliza para obtener el llamado polvo negro o cocoa negra. En teoría este sería el mejor momento para realizar el tratamiento pues los problemas de imbibición son casi nulos debido a la fineza de las partículas y por otro lado con la manteca de cacao separada por prensado la mayor parte de ésta no corre riesgos de ser dañada por el tratamiento pues el polvo únicamente contiene un remanente de grasa de 10-22%, aunque el principal inconveniente surge al momento del secado del producto pues además de correr el riesgo de dañarlo sensorialmente, no se puede realizar de manera continua y queda siempre el problema del elevado costo del equipo y proceso (9,10).

TOSTADO.

El momento más importante del proceso de la transformación del cacao es el tostado (torrefacción), pues además de la reducción de la humedad se desarrollan el aroma, color y sabor característicos del producto (1,6,9). Una de las reacciones más importantes del desarrollo de sabor en el proceso de torrefacción es la de oscurecimiento no enzimático o de Maillard. Las reacciones se pueden dividir convenientemente en tres etapas: iniciación, intermedia y final. Aunque esta división es conveniente, no se debe entender que tal separación existe. Con la cantidad de etapas que interactúan en las reacciones de Maillard, es difícil separar todas las reacciones individuales incluso dentro de una etapa. La mejor entendida es la inicial, en donde 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 las glucosilaminas en productos de isomerización formados por adición entre aminoácidos y azúcares. Las reacciones iniciales son importantes porque la mayor parte de las últimas no pueden tener lugar sin los productos finales reordenados de éstas. Las reacciones intermedias implican las sustancias anteriores así como la degradación de azúcar y aminoácidos conocida como la degradación de Strecker. Durante la etapa intermedia los productos de isomerización son deshidratados, fragmentados y transaminados formando sustancias complejas que dependen de la temperatura y el pH. Por la parte ácida, generalmente se forma hidroximetilfurfural y otros derivados del furfural y en condiciones alcalinas el resultado de la reacción es la formación de reductonas. Sin embargo son las últimas etapas de esta fase intermedia lo que permite la interacción de muchas sustancias responsables del sabor en el chocolate. Los aldehídos, cetonas y otros carbonilos reaccionan para formar las pirazinas, furanos y otras sustancias que se encuentran en el chocolate. No solamente es el sabor o el aroma lo que se genera en esta etapa, sino que también comienza a darse una iniciación del color. La propiedad del término reacciones de oscurecimiento proviene de la etapa final. Solamente entonces pueden ser producidos los pigmentos insolubles pardo-oscuros llamados melanoidinas (11, 19).

En el proceso modificado, como se mencionó anteriormente, la torrefacción se realiza con el cacao en forma de granilla donde se logra un rendimiento más elevado, una torrefacción más uniforme y un ahorro de energía junto con una mayor calidad de operación.

En cuanto al desarrollo del equipo para estos fines se proponen equipos para la torrefacción en seco de funcionamiento continuo. La eficiencia se logra subdividiendo el trabajo del torrefactor en dos etapas (6,12).

- Secado hasta 2-2.5% de humedad.
- Torrefacción propiamente dicha.

Así se logran condiciones para el desarrollo aromático pues es muy importante eliminar la mayor cantidad de agua posible antes de efectuar el tostado. En estos equipos se tiene zonas de temperatura diferenciada que desde arriba hacia abajo cumplen con la función de secar, tostar y enfriar.

MOLIENDA Y REFINACIÓN.

La molienda de la granilla y la sucesiva refinación de la masa de cacao ocupa una parte importante del proceso. En los grandes procesos de optimización del ciclo productivo se ha ido en busca no sólo del nivel de molienda sino también es necesario analizar la distribución del espectro granulométrico, la forma y estructura de la partícula después de la molienda (5). Para garantizar estas premisas de la operación, la molienda se ha dividido en premolienda y refinación (5,6,13). En el proceso modificado estas etapas están una en continuación de la otra. Para la premolienda se recomiendan molinos de choque o molinos de pernos dispuestos en coronas concéntricas montadas sobre discos rodantes en sentido contrario. En esta premolienda se logra una primera reducción de las partículas con una liberación primaria de la grasa que permite luego la refinación del licor para lograr una fase líquida (4,5).

La molienda fina o refinación se efectúa normalmente utilizando molinos de cilindros de muelas con eje vertical o molinos de bolas de acero (13). Con la molienda en dos etapas se permite alcanzar un espectro granulométrico con un residuo en malla # 200 menor al 0.3 %, el desarrollo de temperaturas adecuadas y un mínimo desgaste del metal.

Una vez obtenido el licor de cacao este puede ser destinado para obtener manteca de cacao y cocoa en polvo o destinarse para la producción de chocolate. Cuando es para este último fin, el licor de cacao entra como materia prima para otro flujo tecnológico y la mayor parte de las veces éste es el producto terminado en las plantas transformadoras del cacao que así lo comercializan. Si el licor se destina a manteca y cocoa en polvo, éste pasa a la etapa de prensado.

Cuando se trabaja con el ciclo tradicional una etapa previa al prensado es la maduración del licor de cacao donde este es almacenado en tanques planetarios por espacio de 48-72 horas y sometido a una agitación a temperatura entre 80 y 90 grados centígrados con el fin de disminuir más la humedad, eliminar sustancias volátiles indeseables y disminuir la contaminación bacteriana. Esta etapa en los ciclos actuales y de avanzada no existe por cuanto en estos procesos tecnológicos el cacao es tratado previamente con dichos fines pero de una forma más controlada y eficiente.

PRENSADO.

El prensado es la operación mediante la cual se divide la parte grasa del residuo sólido, para ello se utilizan prensas hidráulicas, que someten al producto a presiones específicas superiores a 100 kg /cm² provocando la expulsión de la grasa a través de filtros y dejando como residuo una torta de cacao parcialmente desgrasada. El uso de prensas hidráulicas con vasos contenedores de licor de cacao es indispensable para obtener un producto de calidad pues el residuo sólido debe de tener un contenido de grasa exacto y constante en el tiempo (1).

Entre los requisitos para un buen prensado tenemos a los siguientes:

- Alcance de los niveles prefijados de residuo de manteca de cacao en las tortas.
- Funcionamiento repetitivo y de total fiabilidad con rendimientos constantes.
- Reducida manutención.
- Rendimiento óptimo y constante.

Los rendimientos de la prensa están indisolublemente ligados a las características del producto alimentado. Entre los parámetros que afectan el desarrollo del prensado están los siguientes (5, 6, 13):

- 1) Granulometría. Esta debe de ser lo más homogénea posible con reducidas cantidades de partículas gruesas y finas. Se considera buena una granulometría de 75 micras con residuos en malla # 200 de 0.3-0.5 %.
- 2) Forma de las partículas. Las partículas de forma redonda se prefieren a las formas puntiagudas que podrían formar durante el prensado una capa compacta que dificultaría el flujo de la manteca de cacao.
- 3) Contenido de humedad. El nivel de humedad debe de ser lo más reducido posible, inferior a 1-1.5 %.
- 4) Viscosidad del licor de cacao. Una viscosidad reducida favorece es desarrollo del prensado pues facilita la rápida difusión de la manteca de cacao en la masa, sobre todo en las primeras fases. Se puede considerar óptimo un nivel de viscosidad no superior a 1000 mPa.s
- 5) Cantidad de cáscara. Además de los problemas higiénicos y legislativos hay que considerar que la forma aplastada de los fragmentos de cáscara presenta una superficie amplia que puede perforar fácilmente los filtros.

Por su elevada porosidad las cáscaras pueden absorber una cantidad de grasa tres veces superior a su peso, por lo que el límite máximo aceptable es del 2.0 %.

6) Temperatura. Es importante que la temperatura de prensado sea la máxima posible, respetando las características sensoriales del producto de manera de obtener el menor nivel de viscosidad de la masa durante el prensado. Por lo general se efectúa entre 95-100 grados centígrados.

Una vez obtenida la manteca de cacao, ésta se filtra para eliminarle las impurezas de los sólidos de cacao. Por lo general el filtrado se realiza a 95°C en filtros prensa que permiten realizar un filtrado eficiente y de bajo costo (6).

Cuando el cacao ha sido alcalinizado o potasado la manteca de cacao así obtenida es desodorizada ya que el tratamiento con álcalis incide en su calidad sensorial. Si la manteca de cacao va a comercializarse en bloques, esta es sometida a un proceso de atemperamiento para lograr su solidificación (1).

PULVERIZACIÓN.

El cacao en polvo puede producirse para varios fines. Cuando el productor lo elabora para su comercialización, las exigencias en cuanto a niveles de calidad y variedad son grandes. Esta situación lleva a la elaboración de diversos tipos de cocoa en polvo con una secuencia tecnológica general de trituración de la torta de cacao, pulverización y enfriamiento-estabilización (1,5,6,14).

La desintegración de las tortas de cacao se realiza por medio de molinos con coronas a pernos concéntricos montadas sobre discos rodantes en sentido contrario y la alimentación del molino se realiza con un tornillo sinfin de velocidad variable.

La manteca de cacao tiene la particularidad de cristalizar en distintas formas más o menos estables (polimorfismo). Estas poseen un intervalo de fusión bastante distinto, en el sentido de que la temperatura de fusión va aumentando al pasar de la forma gama más inestable a la forma beta prima estable. La transformación es exotérmica por lo cual durante el proceso de pulverización es necesario sustraer el calor latente de transformación, pues de lo contrario se puede destruir la forma cristalina estable influyendo directamente en el color de la cocoa en polvo (14).

La cocoa en polvo sin estabilizar tiende a perder su color marrón oscuro y adoptar tonos grises, estando sujeta a la formación de grumos, ya que la elevación de la temperatura puede provocar fusiones parciales de la manteca de cacao solidificada. Para eliminar este inconveniente todos los equipos de pulverización están provistos de un sector de enfriamiento mediante aire. Un enfriamiento muy rápido del polvo caliente acabado de moler conduce a la formación de cristales inestables, dando como resultado un polvo de color gris. Por consiguiente, la sustracción del calor latente, no debe efectuarse ni demasiado rápidamente ni en un tiempo indefinidamente largo. El tiempo de la estabilización, por consiguiente, no debe ser fijado sólo por las exigencias de los equipos, sino principalmente por el fenómeno de la transformación cristalina de la manteca de cacao, para la cual el contacto entre los polvos y el aire de enfriamiento tiene que ser lo más íntimo y continuo posible, con una superficie máxima de dispersión térmica para lo cual el elemento principal consiste en un estabilizador constituido por un recipiente cilíndrico con base en forma de cono truncado, perfectamente cerrado dispuesto después de la instalación de pulverización, de la cual recibe de manera continua y con el mismo flujo los polvos para su estabilización. Dentro del estabilizador, el polvo es mantenido en dispersión por fluidificación en aire acondicionado y después de recorrer un circuito se descarga con el mismo flujo y con la continuidad de la carga a una temperatura estable menor de 20 grados centígrados (6, 14).

Con lo expuesto anteriormente podemos decir que los puntos de mayor cuidado durante el pulverizado son los siguientes:

- Estabilización de la fase grasa durante la cristalización para eliminar el calor latente de transformación.
- Enfriamiento del producto a una temperatura inferior de 20°C.
- Calidad microbiológica adecuada del polvo.

En cuanto al polvo de cacao en general éste puede tener un contenido graso de 10-12%, pH de 5.5-8.0, y una gama de colores que van del marrón claro hasta el oscuro o llamado polvo negro, aunque también pueden tener características especiales sobre todo para la preparación de bebidas como la instantaneización, la adición de productos densificadores, la alcalinización por tratamientos mecánicos y los tratamientos enzimáticos para conferirles un elevado poder de dispersión (15).

PROCESO AVANZADO.

En este proceso, los cambios más significativos son la premolienda de la granilla cruda, el tostado en líquido y la refinación en líquido, con el consiguiente desarrollo de equipos que han permitido efectuar esas etapas en la materia prima con otras características.

El cacao una vez limpio, es sometido a un proceso de estandarización de la humedad con el fin de facilitar la separación de la cáscara en la etapa posterior de descascarado y triturado. Para el tostado en líquido el paso sucesivo es la premolienda del cacao crudo. Por el tipo particular de producto y para obtener buenos resultados se emplean los molinos a pernos concéntricos modificados ya que han sido dotados de un sistema de plastificación de rodillos con superficies de laminación cortantes que someten al producto a fuerzas de estiramiento y corte que permiten una mayor homogenización para ser bombeado. Con el empleo de este plastificador se ha logrado reducciones de viscosidad del 20-25 % (13).

Tratamiento del licor de cacao:

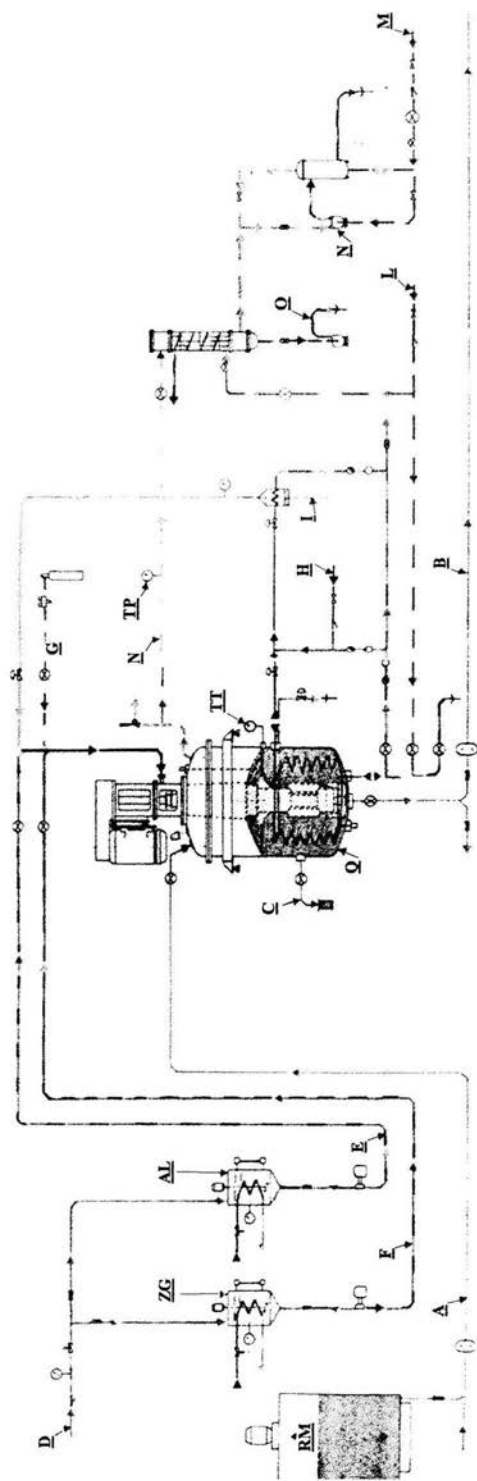
Antes de tratar el tema del tostado del licor de cacao, describiremos brevemente el reactor **PDAT** (pasteurización-desacidificación-alkalinización y tostado) que es uno de los equipos que mejores resultados ha dado tanto a nivel piloto como con equipos industriales de la firma Carle-Montanari (figura 2.4).

El reactor está construido completamente en acero inoxidable, el control y la conducción de las operaciones se realiza por medio de un computador automáticamente. El equipo puede lograr satisfactoriamente los siguientes tratamientos:

Pasteurización. Durante la pasteurización con calor húmedo se obtienen reducciones de la carga bacteriana de alrededor de 3 escalas logarítmicas. Además, la atmósfera húmeda está condicionada por el gas inerte (nitrógeno) para que al final del tratamiento se tenga una concentración de oxígeno menor del 1.0% (4).

Desacidificación. Esta posibilidad de tratamiento es la consecuencia natural de la pasteurización y garantiza junto a los otros resultados, un mejoramiento aromático que permite reducir aproximadamente a la mitad el tiempo de conchado. La pasteurización con calor húmedo prevé que el tratamiento se lleve en presencia de agua que sucesivamente es eliminada mediante la aplicación de vacío gradual. El proceso de evaporación de agua en condiciones adecuadas de temperatura a presión reducida se puede utilizar para conducir y arrastrar compuestos volátiles como aldehídos, cetonas y el ácido acético libre que constituyen las fracciones negativas a eliminar. También en esta fase es posible desarrollar (según la reacción de Maillard) sustancias aromáticas mediante la adición de 1.0-1.5% de azúcares reductores y lograr colores característicos del producto (4).

Alcalinización: La operación de potasado en fase líquida en el PDAT se efectúa de forma similar que la pasteurización-desacidificación pero en lugar de adicionarse agua, se agregan soluciones alcalinas que se homogenizan íntimamente al licor por el sistema de dispersión.



RM) Tanque licor de cacao natural

A) Carga licor de cacao natural

B) Descarga licor de cacao tratado

C) Toma de muestra

D) Dosificación de agua para recipiente

AL) Substancia alcalinizadora

E) Dosaje de solución alcalina

ZG) Solución de azúcares reductores

F) Dosaje solución de azúcares reductores

G) Gas inerte

H) Línea de vapor y condensados, para el calentamiento de licor de cacao

TI) Transductor de temperatura

J) Calentamiento aire de torrefacción

L) Agua de enfriamiento licor de cacao y condensación de vapores ácidos

M) Agua para bomba de vacío

N) Línea de vacío

TP) Transductor de presión

O) Extracción de vapores ácidos

Figura 2.4 Reactor PDAT, para el tratamiento de licor de cacao (4)

En la fase final, el tratamiento de potasado con el PDAT conlleva un secado con aspiración de aire caliente y leve vacío. Este tipo de tratamiento en fase líquida permite una alcalinización completa en breve tiempo gracias a la óptima homogenización llevada a cabo por el sistema sinfin-agitador-dispersor. La fase final de secado con aspiración de aire caliente cumple con la siguiente finalidad.

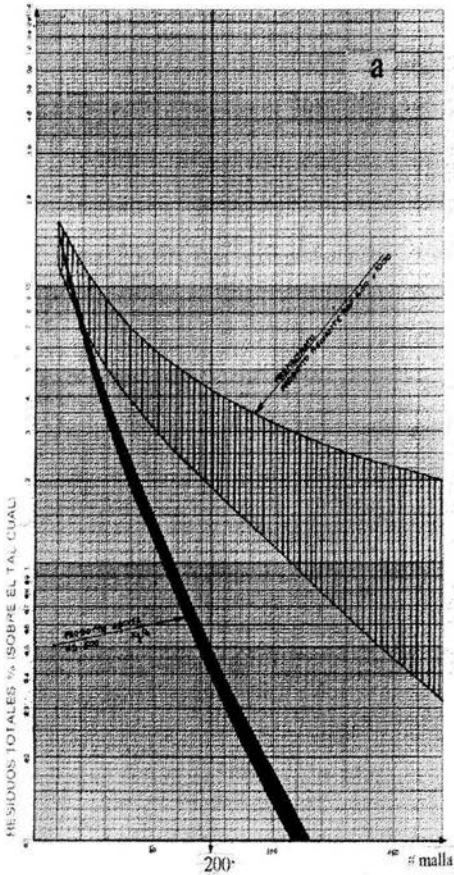
- Efectuar el secado.
- Permitir un íntimo contacto con el aire caliente aspirado y por tanto con el oxígeno facilitando la oxigenación de la fracción sólida y en particular de los compuestos responsables del color.
- Facilitar la eliminación de los gases que se han formado en la reacción conjuntamente con los compuestos desagradables, permitiendo obtener un producto de alta calidad (4).

Tostado. Para el tostado con el reactor PDAT se considera un licor de cacao crudo con humedad de 3-5 %, un residuo en malla #200 del 8%, un contenido de cáscara del 3% máximo y una viscosidad de 25,000 mPa.s. Una vez que el licor de cacao ha sido pasteurizado, se lleva a cabo la introducción de aire caliente y esterilizando por filtración y su homogenización en el licor de cacao con leve vacío. Esto permite efectuar la operación a temperaturas y tiempos rigurosamente controlados, y obtener una torrefacción cualitativamente muy alta. La introducción de aire caliente esterilizado con la aplicación de vacío, además de aplicar la torrefacción permite el consiguiente secado del producto y su desacidificación. La fase final conlleva un tratamiento al vacío, para completar el secado y uniformar el perfil aromático (4).

PREMOLIENDA Y REFINACIÓN.

Una vez que se tiene el licor de cacao tratado y tostado pasa a la segunda fase de la molienda o refinación que se lleva a cabo en molinos de cilindros o en molinos de bolas para garantizar el espectro granulométrico deseado sin afectaciones del producto por efecto del incremento de la temperatura (9).

DETERMINACIÓN EFECTUADA MEDIANTE TAMIZ A HUMEDO CON ACETONA



DETERMINACIÓN EFECTUADA MEDIANTE TAMIZ A HUMEDO CON ACETONA

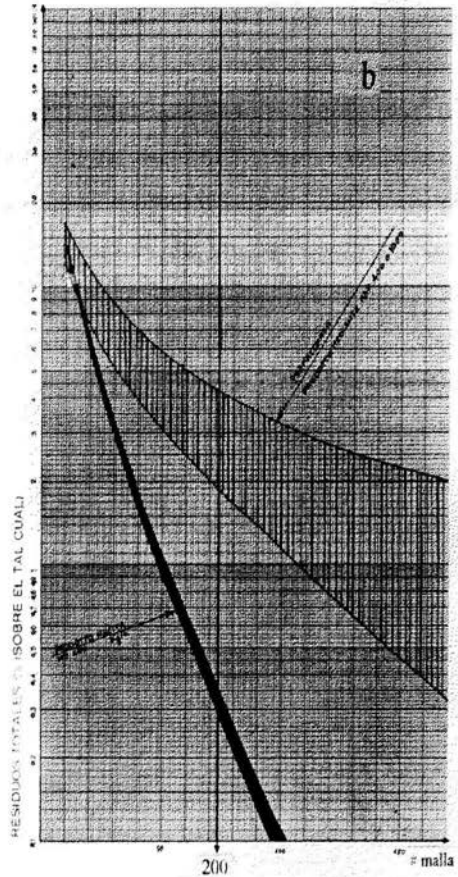


Figura 2.5 (a) Banda granulométrica de premolienda y refinación de cacao a 500 kg /h
(b) Banda granulométrica de premolienda y refinación de cacao a 400 kg /h (13).

En la figura 2.5 se presentan los espectros granulométricos de la premolienda y refinación del licor de cacao a 400 y 500 kg / h con sus respectivos residuos sobre malla #200. El espectro granulométrico más abierto corresponde a la operación de premolienda y el representado en negro pertenece a la refinación del licor de cacao en ambas gráficas, donde se puede apreciar la gran reducción del residuo sobre malla # 200 (0.3 %) con el proceso de refinación.

2.2. - Proceso de elaboración de coberturas de chocolate.

Desde el tiempo de los aztecas a la actualidad, muy largo ha sido el camino para lo que hoy conocemos como la industria del chocolate. Con el paso del tiempo ha mejorado la tecnología de elaboración del chocolate y por lo tanto la calidad del mismo. El desarrollo de la tecnología y nuevos equipos ha permitido comprender mejor y tener un mayor control de cada una de las etapas del proceso de elaboración del chocolate logrando así una mayor calidad y uniformidad del mismo. En la figura 2.6 se muestra un ciclo tecnológico continuo para la elaboración de coberturas de chocolate, el cual está compuesto por las operaciones de mezclado, prerrefinación, refinación y conchado. La estructuración a partir de las distintas etapas del ciclo, no ha sufrido cambios significativos en los últimos tiempos como ha sucedido con el ciclo tecnológico de transformación del cacao, aunque si ha habido un desarrollo en cuanto al equipo, sobre todo en la línea de la automatización. A continuación se discutirá cada una de las etapas del ciclo tecnológico de elaboración de coberturas de chocolate.

MEZCLADO.

El objetivo principal de la operación de mezclado es la incorporación uniforme de la manteca de cacao, azúcar, licor de cacao o cocoa y sólidos de leche para el caso de chocolates con leche, de tal forma que la resultante sea una masa compacta y homogénea. En la gran mayoría de las plantas, los ingredientes son dosificados automáticamente con una gran precisión de las cantidades en las formulaciones y el mezclado de los ingredientes se realiza de manera continua, aunque en algunas otras el mezclado se hace por lotes. En la actualidad el proceso de mezclado está compuesto por un sistema integrado en el cual los distintos componentes de la instalación están unidos y sincronizados entre sí de modo que aseguren un flujo constante de la pasta mezclada y una alimentación de las líneas sucesivas. La mezcladora debe contar con un adecuado sistema de dosificación y de alimentación, seguida de un grupo de unión a las líneas siguientes del proceso (16).

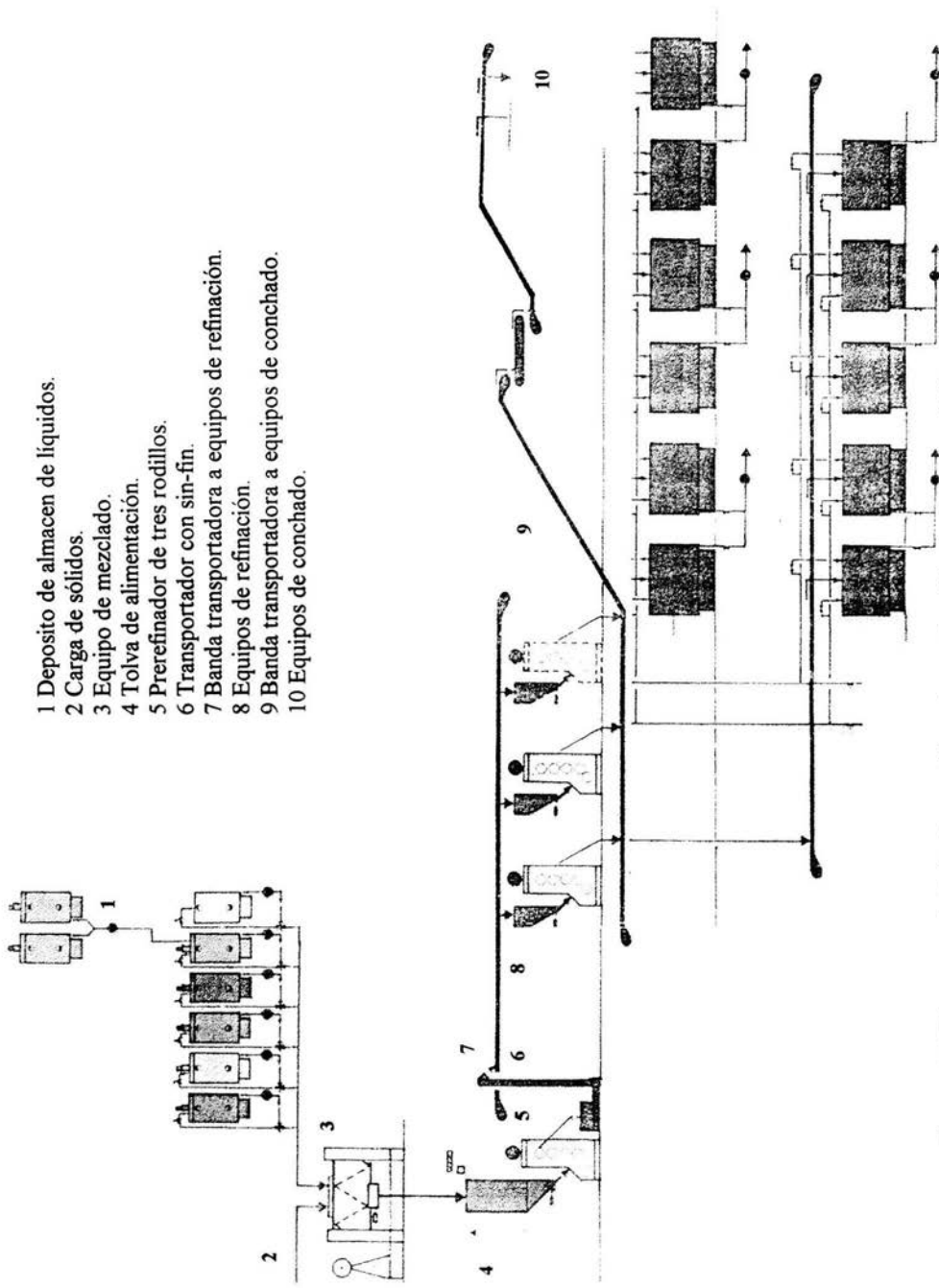


Figura 2.6 Diagrama de flujo de una línea de producción de chocolate (38)

En la operación de mezclado el parámetro fundamental es el tiempo de mezclado, pues este determina la producción horaria de la etapa y varía en función del tipo de chocolate que se producirá, de las características físicas de los ingredientes de la mezcla y del modo de carga del equipo (16). Normalmente una mezcla con alto contenido de grasa requiere menos tiempo de mezclado que otra magra. En igualdad de grasa, un chocolate amargo se mezcla en menos tiempo que un chocolate con leche. Sin embargo esto es relativo pues la incidencia de los otros dos factores (características físicas de las materias primas y modo de carga de la mezcladora) puede variar esto (1, 16). Por ejemplo un chocolate puede ser teóricamente graso, sin embargo presentar dificultades en el mezclado porque el licor de cacao no ha sido molido suficientemente, por lo cual no proporciona la grasa necesaria, pues ésta permanece retenida en parte por las células del grano de cacao, por lo que el licor debe de ser molido finamente para poder disponer de un contenido alto de grasa libre. Con el azúcar sucede lo contrario al licor de cacao, pues las dificultades de mezcla aumentan en la medida que el azúcar este más finamente molida. Si se usara azúcar cristalina, el tiempo de mezclado sería muy corto pues la superficie que hay que cubrir con grasa es muy pequeña y las partículas a mezclar se moverían muy bien estando lubricadas. En el caso de azúcar muy fina el mezclado genera aglomerados compactos difíciles de disgregar y homogenizar, una solución a este problema sería contar con azúcar con una granulometría del 5% menor a 20 micras. Un caso similar ocurre, pero más acentuadamente con un chocolate con leche pues ésta tiende a absorber parte de la grasa (1, 16). Por otra parte, el usar azúcar con un porcentaje elevado de partículas muy finas (15 micras) traería como consecuencias tecnológicas el mayor consumo de potencia de la mezcladora, necesidad de adición en la mezcladora de una parte de la lecitina, uso de una mayor cantidad de grasa, dificultades en los procesos de refinación y conchado, así como una elevada viscosidad del producto final y por ende en el moldeo (16).

Otros factores que influyen en el tiempo de mezclado son la temperatura de la grasa (la cual debe de ser superior a su punto de fusión), la humedad de los ingredientes (por tratarse de un producto graso), el tipo de leche y su contenido graso. En cuanto a la forma de cargar la mezcladora, esta operación debe de hacerse gradualmente pues la mezcla e incorporación es más rápida.

REFINACIÓN.

En los procesos tecnológicos continuos de elaboración de pastas de chocolate actuales, existe una operación intermedia entre el mezclado y el refinado, que permite usar durante este último azúcar cristalina optimizando el tiempo de la operación de mezclado. Esta operación es el prerrefinado que generalmente se realiza con máquinas de tres rodillos de acero inoxidable con un acabado especial para superficies duras y un sistema de presión hidráulico que reduce las partículas de azúcar cristalina y de otros componentes a un tamaño apropiado para facilitar la operación de la refinación (1). La operación de refinación es de vital importancia para producir una textura fina y deseable en las pastas de chocolate, sin embargo llevar ésta a los extremos de producción de partículas menores de 25 micras provoca cambios en la textura de las pastas por el aumento de la viscosidad, principalmente en coberturas lácteas. Una pequeña proporción de partículas arriba de 75 micras proporciona una mejor textura en chocolates de leche, mientras que un chocolate oscuro requiere como máximo una granulometría de 35 micras. Una gran cantidad de partículas de azúcar granulada proporciona una textura arenosa a las coberturas de chocolate, mientras que las partículas de cocoa dan una sensación de aspereza a la textura.

La función de toda refinadora es la de reducir progresivamente la granulometría de las pastas de chocolate. Al pasar esta entre los rodillos, es sometida a presiones distintas y sucesivas tanto más fuertes cuanto mayor es la finura final requerida, de este modo la refinación gradual se consigue a través de un original sistema de construcción en el cual cada par de rodillos colabora en la parte que le corresponde a la obtención de la finura deseada con el reparto programado del trabajo (17). En la actualidad las refinadoras de rodillos son equipos de gran precisión y consisten de cinco rodillos montados verticalmente, una tolva y un botón de alimentación de pasta (figura 2.7). En las modernas refinadoras la presión entre los rodillos es controlada hidráulicamente y cada rodillo es enfriado internamente con un sistema de irrigación de agua controlado termostáticamente.

Las temperaturas de cada rodillo por lo general son las siguientes: último rodillo (26-35), cuarto (38-49), tercero (29-40), segundo (26-35), de alimentación (26-35) grados centígrados, la temperatura superficial de los rodillos debe de ser similar a la del agua que pasa entre los mismos (1). El proceso de refinación debe de ser controlado pues si bien es importante que el chocolate sea fino, no lo es menos que haya demasiadas partículas inferiores a 25 micras. Un excesivo porcentaje de partículas muy finas, trae como consecuencia un aumento hiperbólico de la superficie específica del producto, no sólo inútil, sino perjudicial, pues implica un aumento del porcentaje de grasa para obtener los mismos resultados de las fases sucesivas (1, 17). En la figura 2.8 se aprecia un perfil de la refinación gradual, que se traduce en el reparto del trabajo distribuido entre los distintos pares en términos de potencias utilizadas por el hecho de que la presión total que grava el equipo no se concentra en un sólo punto. Para la traslación de la masa de un cilindro a otro, éstos giran a velocidad diferenciada aumentando ésta en función del rodillo sucesivo. Otra parte del equipo que necesita de gran cuidado y atención es la cuchilla, la cual remueve la película de chocolate del último rodillo, esta debe de colocarse en el ángulo y presión adecuados para asegurar que la película sea totalmente removida.



Figura 2.7 Equipo de refinación de 5 rodillos (4).

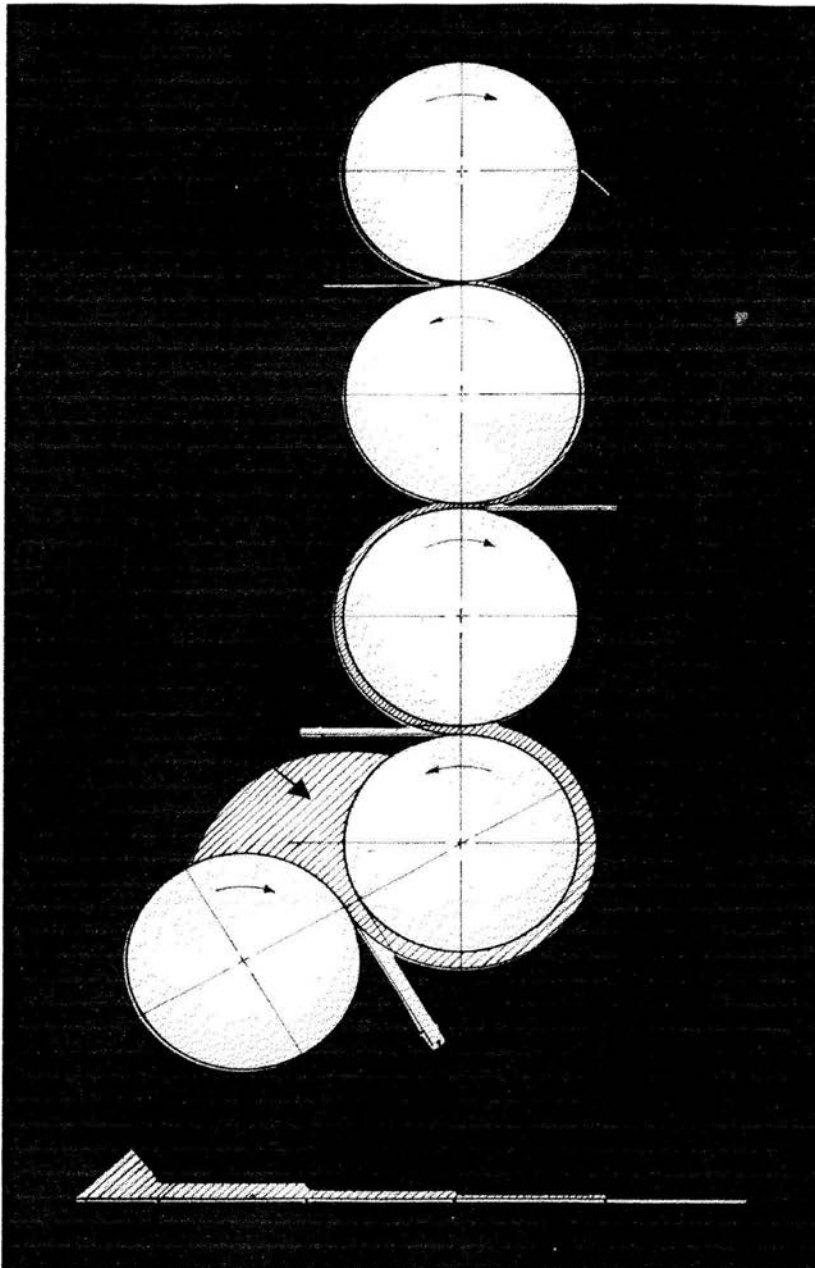


Figura 2.8 Perfil de una refinación gradual (17).

CONCHADO.

La operación del conchado es muy importante en la producción de chocolate. Durante esta etapa tienen lugar procesos físicos y químicos que no pueden verse por separado. Entre ellos está el desarrollo del sabor característico del chocolate y la conversión del producto refinado en una suspensión fluente de partículas de azúcar, cacao y algunas otras en una fase líquida de manteca de cacao (18).

Como ya se mencionó, es importante que el conchado no se estudie aisladamente pues los procesos que se iniciaron en la fermentación y el tostado, en el conchado se completan. En términos de alteraciones químicas, se considera que el conchado y la torrefacción son de igual importancia ya que la producción de algunos componentes saborizantes como las pirazinas tienen lugar a temperaturas altas propias de la torrefacción, mientras que otras sustancias saborizantes se desarrollan más lentamente en la concha, por lo cual es conveniente cuidar durante el tostado las condiciones de temperatura para que no se presenten efectos de súper tostación (19).

El conchado es necesario para completar el desarrollo de sabor que se inició en el tostado. En la concha el contenido de agua de la masa de chocolate desciende desde 1.6 % a 0.6-0.8 %. Al irse perdiendo la humedad, junto con el agua se van eliminando aquellas 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, dando al chocolate el sabor pleno y característico (19). La teoría desarrollada por Strecker de la liberación de aminoácidos después del tostado, sugiere que durante el conchado tiene lugar una formación significativa de aminoácidos libres, los cuales junto con los azúcares reductores son los precursores del sabor. Durante el tostado, aproximadamente el 50 % de los aminoácidos libres que se han creado, son también destruidos. El resto queda disponible en la concha como precursores de sabor (11).

Fases del conchado. En general se pueden distinguir tres fases en la operación del conchado avanzado, la fase seca, la fase plástica y la fase final o líquida, a diferencia del conchado tradicional donde se hace la adición de toda la manteca de cacao y la lecitina desde el principio de la operación (18, 19).

Fase seca: En esta fase, los polvos de chocolate provenientes de la refinadora, son dirigidos directamente a la concha hasta formar una masa seca que durante máximo 6 horas, después de ser cargada, es sometida a un aumento rápido de la temperatura por la fricción y el cizallamiento, durante el cual se eliminan la humedad y los compuestos desagradables como aldehídos y cetonas. Es importante que la humedad no se reduzca por debajo del 0.5 %, para evitar que se pierdan también los aromas que se han formado. Cabe mencionar que en las pastas muy magras un mínimo de manteca permite ahorrar una gran cantidad de energía y esfuerzo mecánico. Por lo general se recomienda que el contenido de grasa sea alrededor del 25%.

Fase plástica: En esta fase se adiciona parte de la lecitina y /o manteca de cacao de la formulación con la cual la masa adopta una consistencia pastosa que le permite ser dirigida a la acción de los rodillos cónicos trasvasándola de la cuba interior a la cuba exterior repetidamente, logrando que la manteca revista por completo cada partícula de chocolate obteniendo así todo su cometido de lubricación. Los resultados del conchado plástico van precedidos del conchado en seco que ha eliminado gran parte de la humedad, que constituye el obstáculo principal para el deslizamiento de las partículas entre sí, consiguiendo el llamado efecto longitudinal. El tiempo de plastificación puede ser de 2-3 horas dependiendo de las características del chocolate.

Fase líquida: Durante esta fase se adiciona el resto de la manteca de cacao y la lecitina de soya logrando la reducción final de la viscosidad y la fijación del desarrollo de los aromas aprovechando las ventajas fisicoquímicas de las fases anteriores. El tiempo de la fase líquida no es mayor de 2 horas debido a la gran rapidez de la agitación y homogenización. En la figura 2.9 se aprecian las condiciones de operación y las variaciones de temperatura y humedad durante el ciclo del conchado.

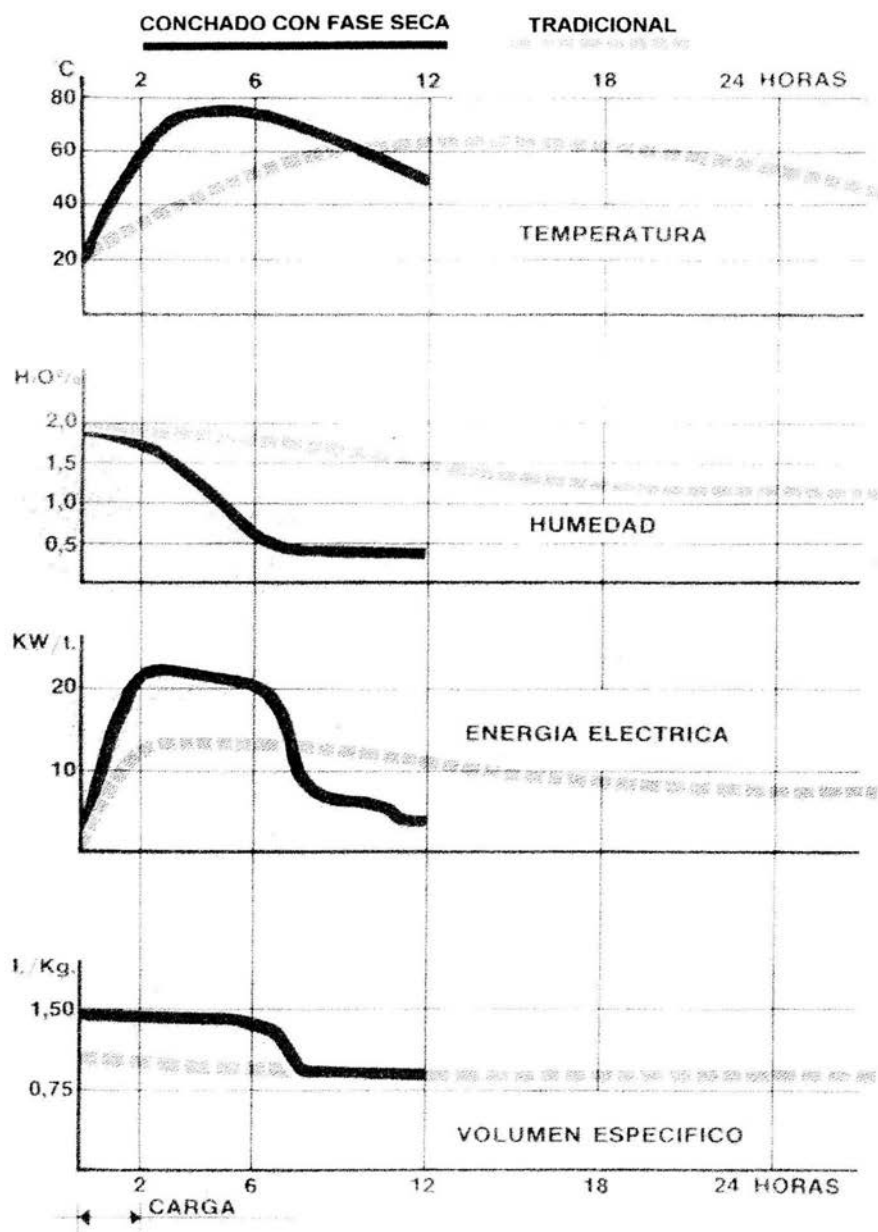


Figura 2.9 Variación de temperatura y humedad durante un ciclo de conchado (18).

Tipos de conchas.

Se puede considerar que los precursores de las conchas actuales fueron las piedras de molino mexicanas. Una vez que se observó el efecto enriquecedor del sabor producido por el movimiento continuo durante largos periodos del chocolate se desarrolló la primera concha longitudinal que tenía la característica de desarrollar un buen sabor del chocolate, sin embargo las conchas de este tipo tenían varias desventajas dentro de las cuales las más importantes eran su alto consumo de energía, pequeña capacidad, pobre control de temperatura y largos tiempos de conchado por su dificultad de eliminar la humedad; a causa de esto se desarrollaron las conchas rotatorias que han ido remplazando a las longitudinales

Conchas longitudinales. Generalmente esta maquina estaba compuesta por cuatro artesas de concha (figura 2.10). Los fondos de estas artesas y los rodillos trituradores eran de granito. Una biela transmitía el movimiento de vaivén a los rodillos trituradores a una frecuencia de 20-40 rpm. La parte superior de cada artesa, que tenía 100 a 1000 kg de capacidad, estaba cubierta.

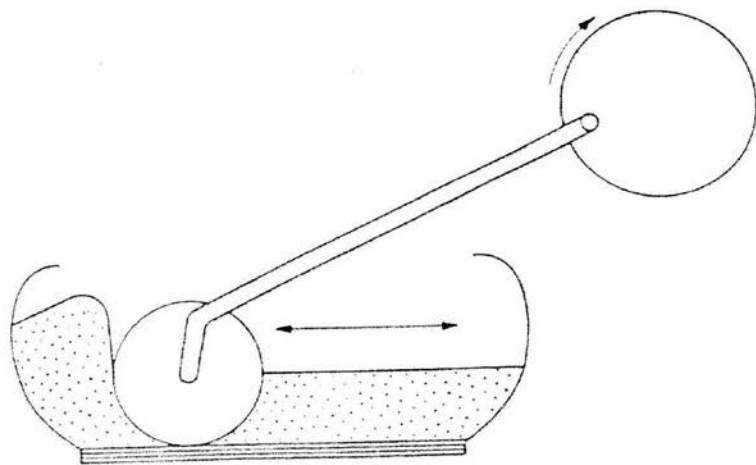


Figura 2.10 Vista de una concha longitudinal (19).

A causa del amplio ángulo en el espacio de cortadura entre la artesa de granito y el rodillo de trituración, estas conchas sólo podían ser alimentadas con masas pastosas y un alto contenido de grasa. Como desde el inicio de la operación las partículas ya están cubiertas de grasa, la eliminación de la humedad y los compuestos volátiles se dificultaba a tal grado que se requerían de tiempos de conchado de hasta 96 horas para lograr los efectos deseados del proceso (19).

Conchas rotatorias. Existe un gran número de conchas rotatorias, pero sólo nos ocuparemos de las Carle & Montanari que realizan muy eficientemente las tres fases del conchado descritas anteriormente. La concha consiste de una artesa exterior redonda enchaquetada y una cónica interior (figura 2.11). La masa de chocolate se agita primeramente en la artesa exterior antes de ser transportada a la artesa interior cónica por medio de un tornillo sinfín. Los rodillos cónicos de granito producen una acción intensiva de cizallamiento girando contra la pared interior cónica y arrojando la masa contra la pared de la artesa exterior donde las rasquetas producen más esfuerzo cortante. Durante esta circulación, el aire circulante suministra buena ventilación para la eliminación de sustancias volátiles. Este tipo de construcción permite realizar tanto el conchado seco como líquido y su capacidad puede ser de 3-6 toneladas (18).

Conchas continuas. Aparte de las conchas rotatorias de funcionamiento discontinuo, se han desarrollado varios métodos de producción de chocolate que pretenden ser continuos. En este tipo de sistemas la masa refinada pasa en régimen continuo a dos tanques de cizalladura, en los cuales es eliminada la humedad y los compuestos volátiles bajo la influencia de aire acondicionado, así mismo la masa pasa a un estado pastoso por la intensa acción de cizalladura. Al final de este tratamiento, el producto pasa a estado líquido mediante la adición de lecitina. Una desventaja de este tipo de equipos es el tiempo tan corto de retención en cada etapa, por lo cual es poco probable que se pueda conseguir una conversión de aminoácidos libres durante el conchado, comparable al que ocurre en las conchas convencionales que tienen un control de temperatura más preciso y un tiempo de reacción más largo. En la figura 2.12 se aprecia un sistema de conchado continuo (19).

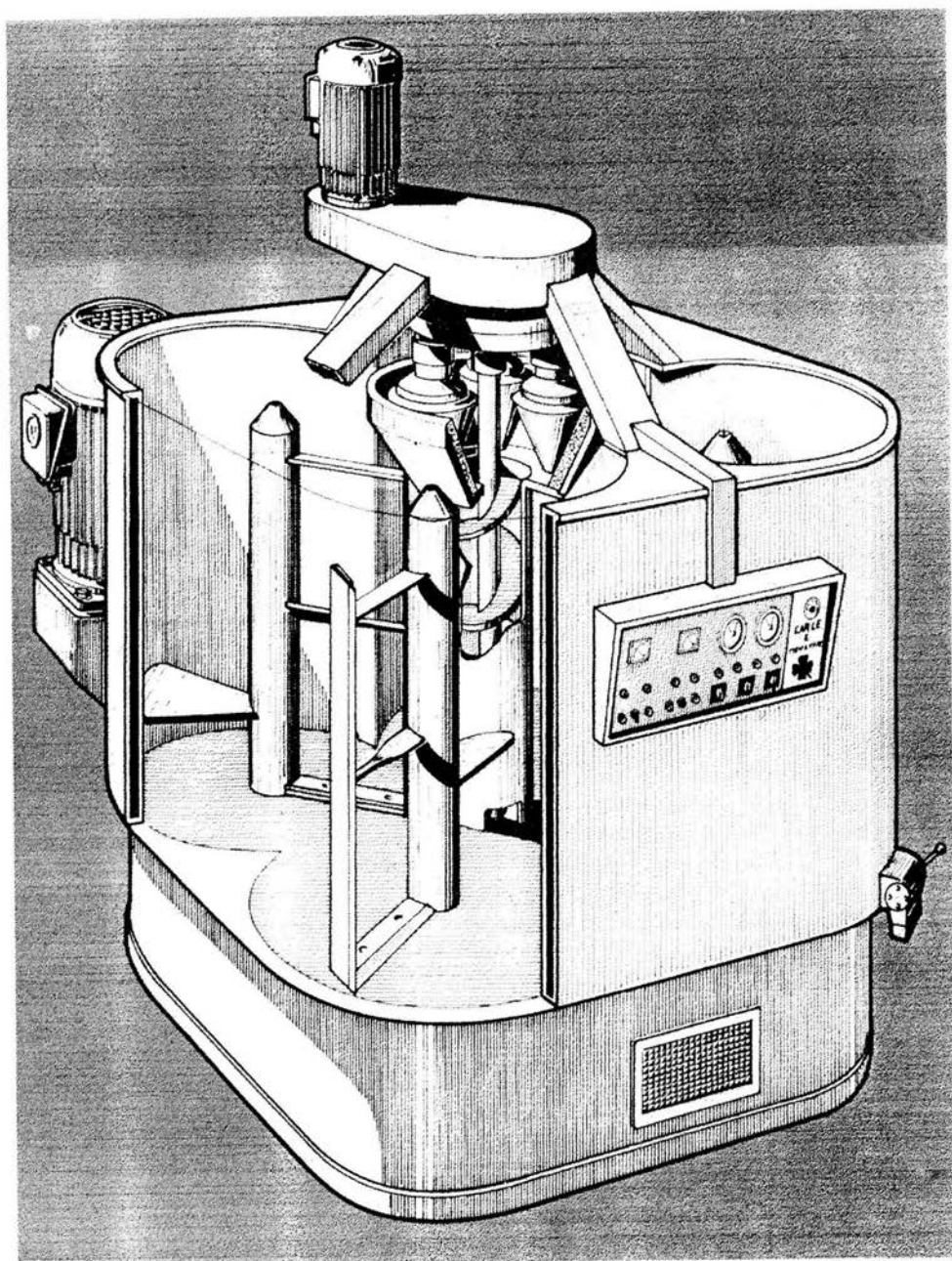


Figura 2.11 Vista de una concha rotatoria (18).

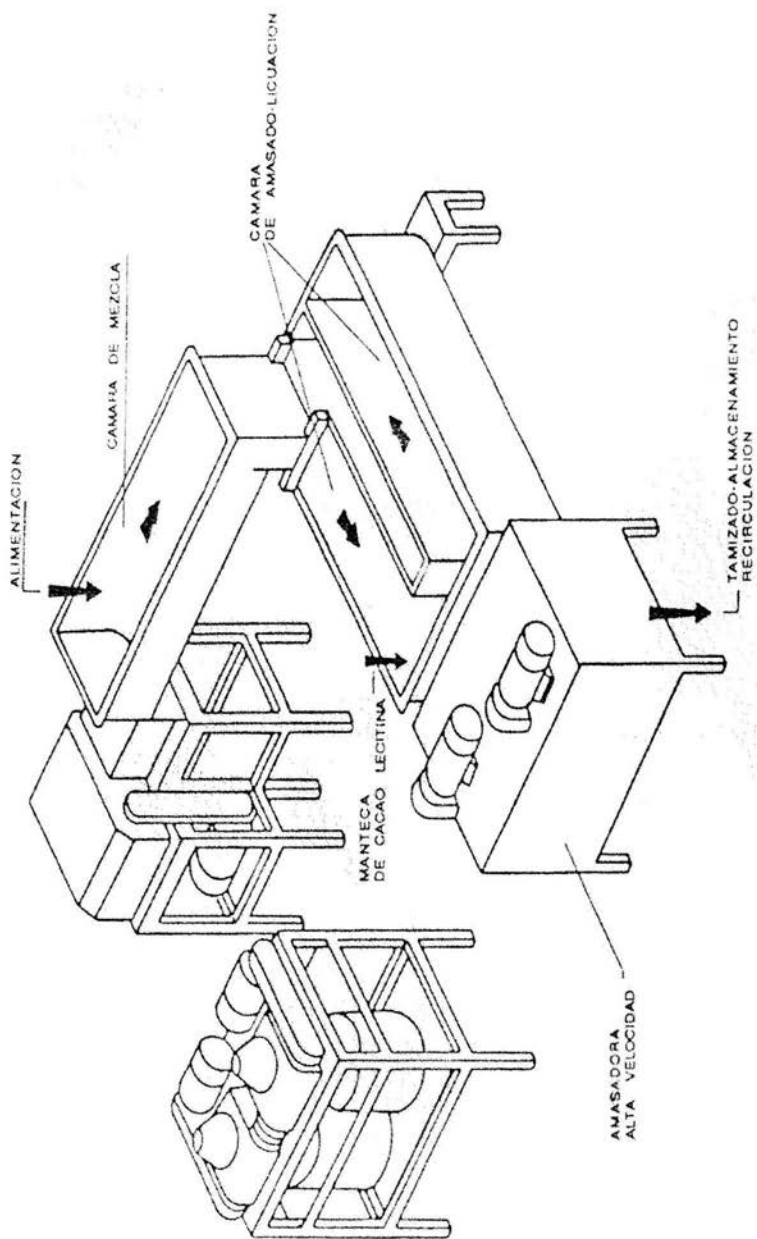


Figura 2.12 Sistema de conchado continuo (19).

ATEMPERADO.

El chocolate elaborado con manteca de cacao necesita un proceso de atemperado (precrystalización) antes de usarlo en una línea de moldeo o para recubrimientos. Como se verá más adelante en las propiedades de la manteca de cacao, la cristalización es una interacción entre la velocidad de nucleación y el crecimiento de los cristales. Si se realiza un atemperado correcto, la masa de chocolate, gracias a su contenido óptimo de cristales reportará un producto final con buen brillo, dureza y estabilidad de brillo cuando esté completamente enfriada. Si por el contrario el atemperado no se realiza en la mejor forma, el resultado final será un producto menos estable, frágil y sin brillo (23).

El proceso de atemperado es la formación controlada de semillas de cristales estables mediante enfriamiento y una agitación continua del chocolate. Por lo general durante la primera etapa del proceso, el producto libre de cristales es alimentado al equipo de atemperado a una temperatura entre (41-45°C). En la segunda etapa el producto es enfriado suavemente con agitación continua reduciendo gradualmente la temperatura entre (31.5-33°C) para inducir la siembra y el crecimiento de los cristales β . En la tercera etapa ocurre un recalentamiento gradual de la masa principalmente por el calor latente de la cristalización y el generado por los cambiadores de calor que se ha calculado entre 0.2-0.4°C, sin alterar la formación de los cristales. En la cuarta etapa se promueve la maduración de los cristales con un enfriamiento del producto entre (29.5-30°C) en un periodo de tiempo que va de 10-15min, llegando a producir aproximadamente del 2-5 % de cristales. Durante esta etapa la agitación continua favorece el reparto de los núcleos para crear una estructura fina y homogénea de pequeños cristales de la forma β (19, 23, 24).

Un proceso correcto de atemperado da lugar a que la grasa de cacao solidificada sufra una contracción, lo que da como consecuencia que las figuras de chocolate o manteca se desprendan fácilmente del molde. Esta contracción se ha medido en forma lineal y volumétrica. En el cuadro 2.1 se muestran los datos de la contracción volumétrica de la manteca de cacao a diferentes temperaturas de enfriamiento (24).

Tiempo de enfriamiento (min)	% Contracción a 18°C.	% Contracción a 10°C.
25	1.8	4.1
50	4.1	7.4
100	7.4	7.7

Cuadro 2.1. Contracción volumétrica de la manteca de cacao a 10 y 18°C a diferentes tiempos de enfriamiento (24).

Es importante señalar que los productos con manteca cacao enfriados a 18 grados centígrados presentan buenas características de flexibilidad durante su desmoldeo en cambio a 10 grados centígrados presentan mayor rigidez y por lo regular pueden fracturarse del centro durante la operación.

MOLDEO.

Una vez que la cobertura de chocolate pasa por la operación del conchado, necesita ser atemperada y enfriada con el fin de que solidifique satisfactoriamente. Para utilizar el chocolate atemperado en una instalación de cobertura o moldeo, es necesario que tenga las propiedades de flujo correctas:

- El chocolate debe tener una viscosidad especificada, que generalmente es mayor para el moldeo que para los baños o recubrimientos.
- El esfuerzo de fluencia debe de ser el correcto para la utilización, es decir, ser el apropiado para los recubrimientos o para el moldeo.

La necesidad de un bajo esfuerzo de fluencia en el moldeo, es para tener un buen escurrimiento en la formación de huecos, la solidificación fácil en los moldes y la liberación de burbujas de aire para obtener un acabado de calidad. En el caso de los baños o recubrimientos se necesitan esfuerzos de fluencia aun más bajos para aumentar el rendimiento de la cobertura en el recubrimiento (19).

La función de las instalaciones de moldeo es colar chocolate dentro de los alvéolos de los moldes, los cuales determinan la forma de los artículos acabados y también su peso. Cada instalación de moldeo se debe crear y adaptar a las necesidades y exigencias de los clientes en función de los artículos a moldear, la cantidad de producción requerida y las disponibilidades de espacio. Las instalaciones se pueden dividir generalmente en dos tipos: instalaciones para productos macizos e instalaciones para productos rellenos (20).

Instalaciones para productos macizos.

Las instalaciones para productos macizos son las más simples y más fácilmente automatizables. El proceso se puede dividir en diferentes sectores, en el primero los moldes vacíos pasan a una sección especial de atemperado con aire entre 28-30 grados centígrados, después de la cual son llenados con chocolate temperado para después pasar a una estación de entablillado, donde se someten a una acción de vibrado para el nivelamiento de la masa colada y la expulsión de las burbujas de aire. Los moldes entran a la sección del armario frigorífico a una temperatura entre (10-15°C) donde se da el proceso de la cristalización de la manteca de cacao y por tanto la solidificación del chocolate. Terminado el ciclo de enfriamiento, los moldes entran en el tercer sector donde se realiza el desmoldeo del producto volcando automáticamente los mismos sobre placas provocando la separación del producto por medios mecánicos y los moldes vacíos regresen al inicio del ciclo. Con el desmoldeo finaliza el ciclo operativo y el producto pasa por medio de diferentes equipos de conexión a líneas automáticas de envoltura (20).

Instalaciones para productos rellenos.

Estas instalaciones son más complejas, pero gracias a las modernas tecnologías han sido completamente automatizadas.

La fase inicial del calentamiento de los moldes es igual que en los productos rellenos pero una vez que el chocolate es colado y entablillado en los moldes, estos pasan a la sección de formación de huecos en donde los moldes son volcados para el escurrimiento del chocolate facilitando la operación por vibradores horizontales y vibradores rotativos. Los primeros tienen la función del escurrimiento del chocolate y los segundos facilitan la formación de los huecos o cascarones logrando un espesor uniforme de los mismos. El molde se somete luego a dos raspados consecutivos, el primero cuando el molde todavía está volcado se hace de una manera parcial y el segundo cuando el molde vuelve a su posición derecha hace que la superficie del mismo resulte perfectamente limpia.

Posteriormente pasan a un armario frigorífico o túnel de refrigeración para el enfriamiento a una temperatura entre (10-15°C) y relativa solidificación de los cascarones. La dosificación de los rellenos se realiza por una o más cabezas de dosificación que llenan los huecos aproximadamente a 3/4 de los cascarones. Que luego de pasar por otro sector de vibración donde el relleno es asentado, los moldes pasan a un segundo ciclo de refrigeración a una temperatura entre (8-10°C) para endurecer las superficies del relleno. Una vez recibido el relleno y después de ser solidificado en el túnel frigorífico, los moldes están listos para recibir el fondo de chocolate, operación que sirve para sellar y terminar el producto. Es necesario decir que antes de esta operación los bordes de los cascarones son fundidos, en una sección de calentamiento regulada por un termostato para evitar afectar el resto del cascarón, para permitir la perfecta soldadura del fondo y evitar fugas del relleno. Finalmente se pasa a un tercer ciclo de refrigeración para la solidificación de las tapas y el posterior desmoldeo del producto para nuevamente dar inicio al ciclo de moldeo. Es importante señalar que en el tercer ciclo de refrigeración la temperatura se debe encontrar entre (15-18°C) para evitar problemas de condensación de humedad del ambiente en el chocolate (20).

Como conclusiones podemos decir lo siguiente:

- El único cambio en el proceso tecnológico tradicional y avanzado de elaboración de chocolate es la incorporación de la etapa de prerrefinación entre la operación de mezclado y la de refinado.

- La operación de conchado es tan importante como la torrefacción del cacao y es una continuación del desarrollo del sabor típico del chocolate, por lo cual se debe tener un gran control del desarrollo de las mismas.
- El conchado efectuado en conchas tradicionales permite un mejor desarrollo de las características sensoriales del chocolate que el realizado en equipos continuos.
- Durante la etapa del moldeo, es necesario que las coberturas y el chocolate tengan las propiedades de fluencia correctas para el fin que se les haya determinado.

2.2.1 Tipo de coberturas de chocolate más comunes.

En la actualidad hay una tendencia generalizada en la industria de la confitería hacia dos grupos diferentes de productos, los chocolates y los no chocolates que son productos diferentes a los aceptados como tales, denominados compuestos. Generalmente chocolate se define como oscuro al elaborado con azúcar, manteca de cacao, sólidos de cacao (cocoa o licor de cacao), saborizantes, lecitina y otros emulsionantes; claro o de leche al que contiene azúcar, sólidos de leche, grasa láctea, sólidos de cacao, manteca de cacao, lecitina y saborizantes, y compuesto al elaborado con otro tipo de grasa diferente a la manteca de cacao dentro de los cuales trataremos a las coberturas para pasteles (19). Es necesario aclarar que en el presente trabajo cuando hablemos de chocolate, lo haremos como cobertura de chocolate claro u oscuro y cuando lo hagamos para no chocolates, nos referiremos como coberturas para recubrimiento de pasteles.

Coberturas de chocolate claro.

Generalmente este tipo de coberturas de chocolate contienen de 10-14 % de sólidos de cacao, 18-23 % de leche entera en polvo, 46-55 % de azúcar y un contenido de grasa total que está entre el 27 y 30 % (19). En cuanto al perfil sensorial podemos decir que éste varía de un país a otro, pero en general sigue las siguientes líneas:

- Europa: Generalmente predomina el buen sabor a leche y suave, pero limpio sabor a cacao.
- Gran Bretaña: El sabor predominante, es el tradicional rico de leche caramelizada.
- Norte América: Tiende a un sabor más fuerte y más limpio a cacao que en Europa, con fondo terroso por el contenido de leche y gusto más dulce que el chocolate europeo
- Otros países: Evidentemente los productores más importantes, han establecido el perfil en los otros países (19).

Coberturas de chocolate oscuro.

Generalmente este tipo de chocolates contiene entre 35-43 % de sólidos de cacao, 48-50 % de azúcar y un contenido de grasa total entre 31 y 33 % (19). En cuanto al perfil sensorial, en este caso la diferencia entre los diferentes países es menor y sigue las siguientes líneas:

- Europa: Chocolate amargo con buen sabor redondo a cacao y acentos de fondo afrutado derivados de la mezcla adecuada de diferentes granos de cacao.
- Gran Bretaña: Sigue las líneas de los chocolates europeos, aunque su sabor es más dulce.
- Norte América: Buen sabor a cacao, algo escaso en el acento afrutado que se encuentran en los chocolates europeos, consecuencia de la utilización de los granos de cacao de América del sur.
- Otros países: Generalmente siguen la línea de los principales productores (19).

En cuanto a la textura de los chocolates el de Europa es apreciado como más suave que el inglés o el norteamericano, pues éstos se refinan en promedio entre 25-30 micras, mientras que en Europa la granulometría se reduce entre 15-22 micras. El chocolate refinado por encima de 35 micras se nota arenoso y granoso y no es muy bien aceptado.

Coberturas para baños o recubrimientos.

En este caso las consideraciones han de dirigirse hacia la viscosidad, sabor y textura, pero de manera general podemos decir que su composición es la siguiente:

Sólidos de cacao 13-15%, azúcar 48-50%, grasa total 35-42% (19). La tendencia generalizada hacia los productos de pastelería y galleta, es a la de formar durante los baños capas muy finas y reducir costos. Esto ocurre porque cualquier aumento en el peso y grosor de las cubiertas repercute directamente en el aumento del precio. El sabor ha de ser compatible con el centro del producto, de tal forma que se ha de considerar la mezcla cuidadosa de los ingredientes. La cobertura debe tener la textura necesaria para que al momento de aplicarla y cortarla, ésta no se rompa o astille, por lo cual se requiere utilizar una grasa más blanda que la manteca de cacao. En cuanto a la finura de la misma, ésta puede ser más basta que la de los chocolates y generalmente se encuentra entre 30-50 micras, con lo cual se requiere de menor tiempo de refinado y por ende de gasto de energía. Cabe mencionar que la vida útil de estos productos es menor que la de los chocolates, ya que este tipo de grasas corre el riesgo de enranciarse por la falta de las propiedades antioxidantes de la manteca de cacao.

2.2.2 Ingredientes más comunes y su importancia en la formulación de coberturas de chocolate.

Los ingredientes básicos en la elaboración de un chocolate son los siguientes: sólidos de cacao, azúcar, manteca de cacao, grasa butírica, leche en polvo, emulsificantes y saborizantes que se describen detalladamente a continuación (1, 19, 21, 22, 23).

Azúcar. En los chocolates oscuros y compuestos, el azúcar se añade con motivos de saborización, para compensar el amargor de los sólidos de cacao, y puede también tener efecto en las técnicas de procesamiento (1). En general podemos decir que las principales funciones del azúcar en las coberturas de chocolate son las siguientes:

- Endulzante: Como se mencionó anteriormente, compensa el amargor de los sólidos de cacao y reacciona favorablemente para proporcionar el dulzor del chocolate, además de contribuir energéticamente en el aspecto nutricional.

- Estabilizante: Químicamente es muy estable, no reacciona con la grasa y por su baja actividad de agua no permite alteraciones microbiológicas, sin embargo puede facilitar la incorporación de aire y acelerar la rancidez oxidativa de la grasa aunque esto no es muy frecuente que suceda.

- Volumen: El volumen y la densidad aparente están en función de la distribución del tamaño de las partículas del azúcar, pero en general se encuentra en el rango de 762-891 kg / m³. La distribución del tamaño de partículas del azúcar dispersadas en la grasa, tiene un gran efecto en las propiedades de las coberturas de chocolate como lo son la textura y la reología (22).

- Textura: Los cambios en la textura del chocolate pueden ir desde el cremoso y suave hasta el arenoso y áspero dependiendo del tamaño de las partículas. Generalmente las partículas muy finas menores a 25 micras generan sensaciones de suavidad o cremosidad, mientras que las partículas mayores a 35 micras dan la sensación de arenosidad (19, 22).

- Características reológicas: Las pequeñas partículas de azúcar en las coberturas, aumentan el área superficial de contacto en la fase grasa. Estas para tener propiedades de flujo necesitan ser lubricadas por la grasa aumentando los requerimientos de la misma por la gran área de exposición. Las propiedades reológicas de las coberturas de chocolate dependen de la distribución de tamaño de las partículas de azúcar y otros materiales en dispersión, así como del contenido de grasa. Partículas entre 12-15 micras no son perceptibles por el paladar humano por lo cual son innecesarias para la generación de una buena textura y sin embargo provocan mayores viscosidades y por ende una mayor demanda de grasa (22).

Leche. La leche entera y la leche descremada en polvo, fueron los primeros productos utilizados en la elaboración de chocolates. En algunos países se permite el uso de suero de leche desmineralizado.

Generalmente las funciones de la leche en los chocolates son para dar sabor, textura, color y aumentar su valor nutritivo. Sin embargo sus propiedades funcionales dependen del tipo de leche y la forma de incorporación en el chocolate.

Leche en polvo: La leche entera en polvo es usada en los chocolates claros en un 12-15 % en peso, su contenido de grasa láctea mínimo es del 3.66 % en los chocolates y los principales cambios que se presentan en ellos son una consistencia más blanda, colores más claros y una textura más suave. En cuanto al sabor, la mayor contribución se presenta por aldehídos y carbonilos formados por el auto oxidación de la grasa de la leche, la cual representa la mayor proporción funcional de la leche entera en polvo en el chocolate pues contribuye a lograr un buen sabor, una textura suave y viscosidades más bajas. La grasa láctea también contribuye a prevenir la separación y migración de grasa a la superficie del chocolate conocida en inglés con el término de “fat-bloom” pues actúa como emulsificante con los componentes más polares tales como los fosfolípidos y los monoglicéridos, sin embargo su mayor función es la de formar una fase continua con la manteca de cacao debido a su compatibilidad con la misma. La manteca de cacao es la única grasa con un estrecho punto de fusión, pues éste depende de su polimorfismo o del estado cristalino en que se encuentre. Cabe señalar que la grasa butírica no cambia el polimorfismo de la manteca de cacao, sin embargo si abate su punto de fusión (21). Otra función de la leche en polvo es la de aumentar el valor nutricional del chocolate pues incrementa el contenido de proteínas, calcio, fósforo y vitamina A. El único factor nutricional negativo es el aumento en sodio y de las grasas. En el cuadro 2.2 se muestra la comparación nutricional de un chocolate oscuro y uno de leche.

Milk-crumb. Una mezcla de ingredientes conocida en inglés con el término de “Milk-crumb” proporciona el sabor acaramelado al chocolate. Generalmente se fabrica con 26-35 % de leche entera en polvo, 13-18 % de licor de cacao y 50-65 % de azúcar. El proceso de elaboración consiste en una evaporación, condensación y secado de la mezcla a una temperatura de 75°C, en condiciones de vacío, donde la proteína láctea en contacto con el azúcar y por efecto del calor, sufre una alteración química y la masa adquiere un suave sabor a caramelo. La mayor ventaja que ofrece esta mezcla de ingredientes es el aumento de la vida útil del producto por los antioxidantes naturales del licor de cacao. En cuanto al sabor éste proporciona notas características al sabor caramelo desarrollado por las reacciones de Maillard (19, 21, 24).

Nutriente	Chocolate dulce oscuro	Chocolate lácteo
Calorías	540	540
Proteínas (g)	6.2	8.1
Grasa (g)	30.2	30.9
Carbohidratos (g)	60.6	57.7
Fibra cruda (g)	1.0	1.1
Sodio (mg)	10	75
Potasio (mg)	340	410
Calcio (mg)	19	201
Fósforo (mg)	160	310
Magnesio (mg)	115	65
Acero (mg)	2.1	1.1
Zinc (mg)	1.5	1.3
Cobre (mg)	0.8	0.4
Manganeso (mg)	0.8	0.3
Vitamina A (IU)	20	60
Tiamina (mg)	0.02	0.08
Riboflavina (mg)	0.24	0.36
Niacina (mg)	0.67	0.36

Cuadro 2.2 Comparación nutricional de un chocolate lácteo y un chocolate oscuro (base 100g.) Hershey Food 1986 (21).

Grasa butírica. El uso de ésta en el chocolate, generalmente se hace en forma líquida y ocasionalmente como mantequilla y crema. Si bien es cierto que la grasa butírica es compatible con la manteca de cacao, cuando se utiliza en concentraciones superiores al 30 % en cuanto al porcentaje total de grasa, imparte a los chocolates una consistencia demasiado blanda para su manipulación por lo cual se recomienda usar en concentraciones de 1-5 % pues además de evitarse este problema genera un sabor muy lácteo (21).

Sólidos de cacao. Este constituyente es el que tiene mayor influencia sobre el sabor de todos los productos de chocolate, pues al considerar las diferentes habas de cacao, las condiciones de cultivo y las diferencias en el manejo y proceso de fermentación antes de llegar a las puertas de la fábrica nos damos cuenta de la complejidad del asunto.

Las principales variedades de habas de cacao son las de Forastero y Criollo, las cuales difieren en sabor y aroma. Estas deben de ser tenidas en cuenta al llegar al sabor del producto final. Forastero se considera como el tipo de haba general de relleno, la cual produce el tipo de sabor de cacao fuerte característico pero con inclinación a resultar amargo. Criollo es la variedad de cacao que aporta los sabores de tipo fino con perfiles suaves y avellanados y colores ligeros. Los híbridos considerados científicamente como derivados del forastero, pero que exhiben sabor diferente contribuyen con acentos particularmente aromáticos a flores (19). Por lo expuesto anteriormente deducimos la importancia de la mezcla de habas / masa, la cual está en función de la calidad del haba, habilidad del operario para mezclar y tostar habas y del equipo disponible para la operación. Lo cual nos conduce a la siguiente fase de desarrollo del sabor y aroma de las habas que es la tostación, la cual observa los siguientes cambios:

- Utilización del calor sobre las habas para afectar al cambio de sabor, mediante la eliminación del agua.
- Desarrollo de compuestos saborizantes que resaltan el sabor y el aroma.
- Cambiar el color de las habas lo cual tiene su efecto en el aspecto del chocolate acabado.

Los amplios márgenes de temperaturas del aire para las tres partes del proceso de tostación son los siguientes:

- | | |
|-----------------------|-----------------------------|
| - Desección | 100-110 grados centígrados. |
| - Tratamiento térmico | 110-150 grados centígrados. |
| - Tostación | 125-200 grados centígrados. |

Puede decirse que las habas de sabor más fino (criollo) deben de procesarse a las temperaturas más bajas y las habas de relleno general, a la temperatura más alta para lograr las notas de sabor deseadas en los chocolates (19).

Manteca de cacao. Los chocolates de leche requieren de una manteca de cacao con sabor y aroma suave. Las propiedades físicas de la manteca de cacao, son muy importantes en la elaboración de chocolate pues en estado líquido permite la fluencia de las coberturas de chocolate y en estado sólido es responsable del crujir característico durante su fracturación y del encogimiento necesario para su buen desmoldeo (19, 23).

Sabores.

La adición del saborizante más común en los chocolates es la vainillina en forma de vainilla natural o en su forma metilica o etilica, que por lo general en los chocolates de leche se agrega entre un 0.06-0.09 % y en los oscuros o dulce amargos puede llegar hasta el 0.1 %. La sal es la segunda adición más común en el chocolate y por lo general se usa en una concentración del 0.1 %. Ambos se añaden para exaltar el sabor, más que para enmascararlo, la vainilla o vainillina produce notas cremosas, 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 (19).

Emulsificantes. El emulsificante más común utilizado en la elaboración de chocolates es la lecitina de soya, generalmente es utilizado para reducir la viscosidad (1, 24).

2.3 Aspectos generales sobre la manteca de cacao.

Por tradición, la grasa constituyente de los productos de chocolate ha sido la manteca de cacao, cuyas características de fusión y solidificación satisfacen los siguientes requisitos para un buen producto:

- Dureza a la temperatura ambiente.
- Buena resistencia a la huella de los dedos.
- Un intervalo de fusión pequeño.

- Cristalización rápida.
- Buen brillo.
- Larga duración de almacenamiento.

La manteca de cacao es una grasa dura, la cual está compuesta por dos ácidos grasos saturados, el palmítico y el esteárico y uno insaturado, el oleico, a partir de los cuales se forman tres grupos de triglicéridos que constituyen el 80 % de la manteca de cacao (23).

POP: palmítico-oleico-palmítico.

POE: palmítico-oleico-esteárico.

EOE: esteárico-oleico-esteárico.

Un aspecto interesante de estos triglicéridos es que todos los ácidos oleicos se presentan esterificados en la posición media del glicerol, con dos ácidos grasos completamente saturados en las otras dos posiciones restantes adoptando la posición de sillas (19). Geométricamente, el ácido oleico monoinsaturado forma un ángulo mientras que los ácidos grasos saturados son completamente rectos lo cual contribuye a la conformación de triglicéridos simétricos (figura 2.13).

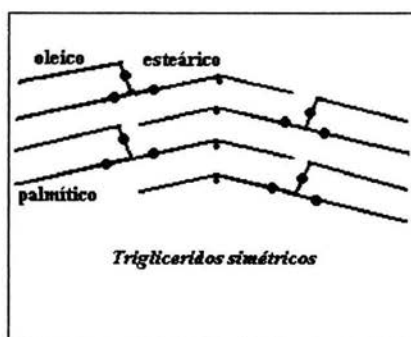


Figura 2.13 Triglicéridos simétricos de la manteca de cacao (23).

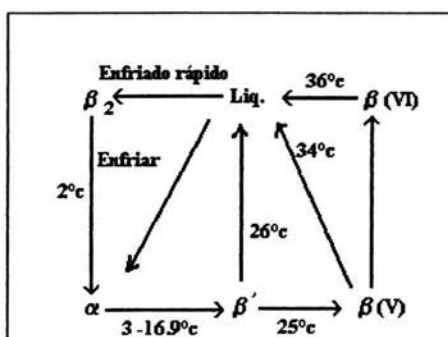


Figura 2.14 Cambios polimórficos de la manteca de cacao mediante calentamiento (23).

Polimorfismo de la manteca de cacao.

Debido a su composición triglicérida homogénea, la manteca de cacao presenta seis estados diferentes de cristalización caracterizados cada uno por su temperatura de fusión, aunque algunos autores reconocen sólo cinco pues las formas β V y β VI presentan las mismas características (19). Estos estados sugieren la cristalización de la forma β , a través de las formas α y β' (figura 2.14). Por otra parte la forma β , que es la base de un producto de chocolate recientemente fabricado, no es plenamente estable debido a que durante el almacenamiento pasa a la forma β VI, por esta razón el chocolate viejo es duro, frágil y tiene una superficie mate (23). En el cuadro 2.3 se presentan las formas polimórficas de la manteca de cacao.

Forma	Cristalización	Zona de fusión	Estabilidad	Contracción
γ	16.9 ° C	16.9 ° C	inestable	-
α	Viene de g	23.8 ° C	inestable	0.060 ml/ g.
β'	16.9-22.5 ° C	15-29.4 ° C	Semiestable	0.086 ml/ g.
β_2	-	No hay datos	-	-
β	22.5-33.6 ° C	20-35 ° C	Estable	0.097 ml/ g.

Cuadro 2.3. Formas polimórficas de la manteca de cacao (19).

Cuando la manteca de cacao líquida se enfría, se puede presentar una serie de tipos de cristales diferentes, sin embargo se ha encontrado que de los cinco estados de cristalización las formas β son más estables que los otros cristales y consiguientemente tienen el punto de fusión más alto por lo cual la manteca de cacao tratará de adoptar esta forma, que en los chocolates producen mejor color y características de dureza, manipulación, acabado y conservación.

Atemperamiento de la manteca de cacao.

El proceso de atemperamiento de la manteca de cacao presenta tres etapas durante las cuales la **nucleación** implica el agrupamiento de moléculas de triglicéridos amorfos para transformarse en una base estable a la cual pueden incorporarse otros triglicéridos en un ordenamiento dado. En este proceso los cristales pueden perder o ganar moléculas hasta alcanzar un tamaño a partir del cual comenzará a crecer el núcleo. Por su parte en la **solidificación aparente** los cristales de grasa tienden a formar puentes conformando una solidificación aparente de la manteca de cacao la cual es rápidamente transformada. Una solidificación total puede ocurrir en un largo tiempo incluso meses, caso contrario de la solidificación aparente. Durante la **crystalización** el crecimiento e incremento en tamaño de los núcleos primarios se hace de manera rápida, durante la cual los cristales existen aislados rodeados por manteca de cacao líquida (19, 23).

2.4 Grasas alternativas de la manteca de cacao.

Como ya se ha mencionado, la manteca de cacao es el producto más empleado en la elaboración de chocolates por sus características físicas que le imparten las cualidades deseadas a los mismos sin embargo, ésta tiene un precio muy alto y está sujeta a grandes variaciones de composición que la hacen muy dura para el recubrimiento o muy blanda para el moldeo según la región de procedencia y el tiempo de recolección. Esto y la necesidad de una aplicación específica hizo posible el desarrollo de las grasas alternativas.

Las alternativas de manteca de cacao desarrolladas (cuadro 2.4) pueden clasificarse según dos grupos principales que se presentan a continuación (23).

Clasificación.	Características.	Denominación
Grupo 1	Grasas atemperables, es decir grasas con los mismos triglicéridos que la manteca de cacao.	Grasas equivalentes (CBE).
Grupo 2	Grasas no atemperables, es decir, duras y de fusión rápida no basadas en los mismos triglicéridos que la manteca de cacao.	Grasas sustitutas (CBS)
	Grasas no atemperables de base no laurica.	Grasas reemplazantes (CBR)

Cuadro 2.4 Grasas alternativas de manteca de cacao (23).

Legislación.

Únicamente algunos países como Reino Unido, Irlanda, Dinamarca y Japón han admitido la inclusión del 5% de grasa vegetal en el chocolate. No existen especificaciones detalladas impuestas oficialmente respecto al tipo de grasa vegetal, únicamente que ha de ser apta para el consumo humano. El tipo de grasa a utilizar (máximo el 5%) queda a discreción del fabricante y en relación con el tipo de producto elaborado. En cualquier otra parte del mundo no se podrá llamar chocolate si contiene grasa vegetal. Esto ha llevado a adoptar descripciones de tipos con “sabor a chocolate” para referirse a esos productos. En la Comunidad Económica Europea (CEE) se ha discutido por muchos años si permitir o no el uso de grasas vegetales en los chocolates. Con el fin de llenar tal vacío de la reglamentación se precisó la definición estricta de dos tipos de grasa vegetal, las CBE (equivalentes de manteca de cacao) y las CBR (reemplazantes de manteca de cacao). La definición de la CEE de una grasa CBE cumple los siguientes requisitos:

- Nivel de triglicéridos de tipo SOS $\geq 65\%$ (S = ácido graso saturado O = oleico)
- Fracciones de triglicéridos con posiciones 2 ocupadas por ácidos grasos no saturados $\geq 85\%$
- Ácidos grasos no saturados $\leq 45\%$

- Ácidos grasos no saturados con dos o más dobles enlaces $\leq 5\%$
- Nivel de ácidos láuricos $\leq 1\%$
- Nivel de ácidos grasos trans $\leq 2\%$

Cabe señalar que estos criterios están basados únicamente en la composición química, sin especificación física, y como tal excluye todas las grasas láuricas o hidrogenadas que actualmente se usan (19).

Grasas equivalentes CBE.

Un requisito previo a la fabricación de grasa CBE es la disponibilidad de materias primas grasas conteniendo la mayor cantidad posible de triglicéridos POP, POE, EOE. Algunos ejemplos de estas grasas son la manteca de “shea” obtenida de la nuez de un árbol en África, *Butyrosperum parkii*, cultivado en las regiones de Nigeria y Senegal, la manteca de “illipé” extraída de las semillas de las especies de la *Shorea robusta*, el aceite de palma y el aceite de mango (24). Una CBE típica está compuesta por el triglicérido POP generalmente obtenido del aceite de palma que se mezcla con una o más grasas rica en POS y SOS . Cuanto más elevado es el contenido de SOS más dura será la grasa y por lo contrario mientras mayor sea el contenido de POP la grasa será más blandas con tendencias a cristalizar en la forma β' provocando problemas de atemperado (19). La grasa CBE debe presentar una cristalización de tipo β para ser compatible con la manteca de cacao, ya que las grasas con tendencias β' conducen generalmente a segregaciones sólidas en presencia de manteca de cacao, lo que con frecuencia trae consigo la separación y migración de grasa a la superficie del chocolate. Una grasa CBE de buena calidad es muy similar a la manteca de cacao por lo cual puede mezclarse con la misma en distintas proporciones sin modificar la secuencia de fusión. Las grasas equivalentes ofrecen al fabricante la posibilidad de elaborar productos de buena calidad a costos más bajos (23).

Las grasas que no requieren atemperar generalmente están constituidas de una manera diferente a las equivalentes, pero deben tener una secuencia de fusión y cristalización deseada sin que éstas estén basados en los mismos triglicéridos que la manteca de cacao. Esta clase de grasas se puede dividir en dos grupos: el de tipo láurico basado en aceite de coco y palma por lo general hidrogenado (CBS) y el no láurico basado en el aceite de algodón o soya (CBR).

Grasas CBR.

Las grasas CBR generalmente se elaboran mediante la hidrogenación y fraccionamiento del aceite de soja y algodón. Virtualmente, todas las CBR, son 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 los productos de manteca de cacao y grasas equivalentes. Estas grasas son compatibles con la manteca de cacao hasta en un 95 % cuando se trata de grasas fraccionadas lo cual permite una mayor libertad al momento de elaborar las formulaciones pues puede emplearse cocoa en polvo con alto contenido en grasa sin correr el riesgo de alteraciones. Debido a que estas grasas no contienen ácido láurico no dan origen a sabores jabonosos.

Grasas CBS.

Las grasas sustitutas generalmente son elaboradas a partir de aceite de coco y palma y presentan muy baja compatibilidad con la manteca de cacao (4%), por lo cual solamente pueden emplearse en formulaciones que tengan un contenido de manteca de cacao muy bajo y polvos de cacao con un 10-12 % de grasa. Debido a que las CBS contiene una proporción alta de ácidos grasos saturados de cadena corta, principalmente ácido láurico, es necesario mantener un buen nivel de higiene pues de lo contrario se corre el riesgo de desarrollar sabores jabonosos debido a la formación de ácidos grasos libres. El ácido láurico aun en concentraciones bajas da origen a este sabor. En el cuadro 2.5 se mencionan las ventajas y desventajas de las grasas CBR y CBS.

Grasa	Ventajas	Desventajas
CBR	No requieren atemperamiento, no corren el riesgo de saponificación, presentan compatibilidad con la manteca de cacao, tienen precio bajo y estable.	Cristalizan lentamente Son ligeramente cerosas al paladar
CBS	No requieren atemperamiento, tienen precios bajos, presentan dureza y fusión rápida en la boca y tienen buena cristalización.	Precios fluctuantes Riesgos de saponificación Incompatibles con la manteca de cacao.

Cuadro 2.5 Ventajas y desventajas de las grasas CBR y CBS (23).

2.5 Emulsificantes usados en coberturas de chocolate.

Una característica de los emulsificantes es que en pequeñas cantidades pueden producir la reducción inmediata de la viscosidad. La lecitina de soya es uno de los emulsificantes más usados en la elaboración de chocolates para reducir la viscosidad, sin embargo se ha encontrado que su composición y eficiencia son variables por lo cual se tienen dificultades sobre el control de la misma. Se han desarrollado otras sustancias más eficaces como la lecitina sintética (YN) y el polirricinoleato de poliglicerol (PGPR) que tiene la particularidad de reducir fuertemente el esfuerzo de fluencia. Por otro lado se ha encontrado que la acción de los emulsificantes es mayor cuando el contenido de grasa de los productos no es muy alto (19).

Lecitina de soya.

La lecitina de soya es un fosfolípido natural y generalmente es el agente tensoactivo más común usado para reducir la viscosidad del chocolate. Este producto se obtiene por extracción de la semilla de soya usando una serie de solventes. El extracto obtenido es sometido a vapor para poder precipitar los fosfolípidos, estos son centrifugados y secados para obtener la lecitina como la conocemos. Para explicar su funcionalidad, se asume que la molécula de lecitina está compuesta por una parte hidrófoba y una hidrófila (figura 2.15).

El grupo fosfato y la base nitrogenada interactúan con la fase acuosa, mientras que las cadenas hidrocarbonadas lo hacen con la fase lipídica, con lo que se logra un contacto físico más estrecho entre las dos fases inmiscibles.

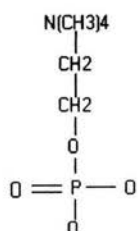


Figura 2.15 Estructura química de la lecitina de soya (42).

Prácticamente este producto, si se añade en la dosis correcta (0.3-0.5%) va a colocarse en la superficie del azúcar en capas monomoleculares entre las superficies límite (acuosa-oleosa) pudiendo de este modo hacer caer las tensiones interfaciales y haciendo posible la unión de los productos de distinta naturaleza hasta hacerlos homogéneos por medio de fenómenos físico-químicos que se traducen en una mayor fluidez. Por otro lado se ha visto que si el nivel de adición de la lecitina excede de 0.5 % se produce un espesamiento en el chocolate. Un estudio realizado por Finck (1965) consideró por separado los parámetros de Casson y observó que únicamente el esfuerzo de fluencia se incrementa con un contenido de lecitina de soya mayor de 0.5 % (19, 25). La principal desventaja de estos productos es que su calidad no es uniforme y el sabor que imparten a los chocolates.

Lecitina sintética YN.

La lecitina sintética es obtenida a partir del aceite de nabo el cual es activado con glicerina, para posteriormente ser mezclado con mono, di y triglicéridos, esta mezcla es reaccionada con pentóxido de fósforo y neutralizada con amonio. La composición y eficacia de la YN son más constantes que los de la lecitina de soya, su sabor es suave y neutro.

Su poder de reducción de la viscosidad es mayor que el de la lecitina de soya y a niveles superiores al 0.3% no produce espesamiento en el chocolate.

Por otro lado es importante señalar que a diferencia de la lecitina natural, su efecto es mayor sobre el esfuerzo de fluencia que sobre la viscosidad plástica (19, 26).

Polirricinoleato de poliglicerol (PGPR).

El polirricinoleato de poliglicerol es un emulsificante alimenticio elaborado a partir del aceite de castor y el glicerol. El primero es un aceite vegetal obtenido de la planta de ricino y el segundo es el poliol que da fuerza a la estructura de las grasas. El PGPR es producto de la esterificación del poliglicerol y de ácidos grasos condensados del aceite de castor, que siguen la siguiente formula general (figura 2.16).

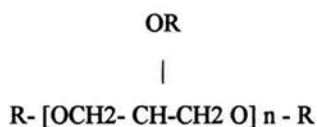


Figura 2.16 Estructura química del PGPR (28).

Donde R = H o un ácido graso derivado de la poli condensación del ácido ricinoleico y n = grado de polimerización del glicerol.

Es importante señalar que este emulsificante no reemplaza a la lecitina, sino que trabaja sinérgicamente con ella para reducir la viscosidad plástica y el esfuerzo de fluencia en el chocolate. El PGPR es un ingrediente efectivo para mejorar las propiedades de flujo del chocolate especialmente cuando se utiliza junto con la lecitina, pues éste tiene la particularidad de reducir fuertemente y hasta anular el esfuerzo de fluencia del chocolate lo que no se lograría empleando únicamente a la lecitina de soya, aportando grandes beneficios económicos pues puede traducirse en un ahorro de 6-8 % de manteca de cacao en las formulaciones de chocolate (26, 27). Las principales ventajas del uso del PGPR además de las logradas durante el proceso de elaboración son las siguientes:

- Reducción de manteca de cacao
- Mejorar las propiedades de flujo del chocolate.
- Bajos niveles de dosificación.
- Proporciona un recubrimiento efectivo evitando la formación de hoyos y burbujas.
- Permite un mejor relleno en los moldes.
- No imparte ningún sabor al producto final
- Una mejor estabilidad de la viscosidad de las coberturas de chocolate.
- Menor sensibilidad a los efectos de las temperaturas altas.
- Menores tiempos de procesamiento del chocolate.
- Presenta una calidad uniforme.

La reducción del esfuerzo de fluencia tiene una aplicación práctica en los procesos de moldeo de chocolate pues con ello se logra la expulsión de las burbujas de aire atrapadas en los moldes logrando un fino acabado de las piezas y en el caso de las coberturas para baños o recubrimientos es de vital importancia para la aplicación y rendimiento de las mismas. Como el PGPR es un emulsificante específico para chocolates, sus niveles de dosificación son muy bajos (del 0.2-0.3%).

En la regulación sanitaria de este producto encontramos las siguientes especificaciones.

Metabolismo. Las pruebas metabólicas han indicado que el producto es utilizado por el organismo como un nutriente.

Toxicología. Largos estudios realizados en roedores, han demostrado que este producto no es potencialmente carcinogénico. En 1976 la comisión del Codex Alimentarius en Roma estableció su uso en chocolates estandarizándolo internacionalmente en un nivel máximo de 5 g / kg. Salvo Dinamarca que permite el uso del PGPR en chocolates hasta en un 0.7 %, la legislación de los demás países sólo autoriza el uso que se marca internacionalmente del 0.5% (27, 28).

2.6 Reología de coberturas de chocolate.

En la actualidad cada vez es más importante el análisis de las propiedades reológicas de las coberturas de chocolate, pues de éstas depende el destino y uso específico que se les dé en las instalaciones de moldeo o en las líneas de recubrimiento. Antes de entrar al comportamiento de flujo del chocolate, es necesario definir algunos conceptos básicos de reología y los diferentes tipos de fluidos que existen.

La **viscosidad** se puede definir como la fricción o resistencia interna que tiene una sustancia para fluir libremente, la unidad de viscosidad absoluta es el poise, que es la fuerza tangencial requerida para mantener una velocidad de 1 cm /s de un fluido entre dos planos paralelos en un área de 1 cm² y separados por una distancia de 1 cm (29). La **viscosidad aparente** se puede definir de manera precisa, como el esfuerzo de cizalla dividido por la velocidad de cizallamiento. De esta forma, para fluidos newtonianos el valor de ésta se puede considerar como una constante y para no- newtonianos, su valor depende del esfuerzo de cizallamiento (34, 39).

$$\eta_{app} = \frac{\text{Esfuerzo de cizalla}}{\text{Velocidad de cizalla}} = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}}$$

El **esfuerzo de fluencia** (σ_0), puede ser definido como el mínimo esfuerzo de cizalla requerido para que una sustancia comience a fluir. Hay muchas maneras de evaluar el esfuerzo de fluencia para fluidos o sustancias semejantes sin embargo, el método más común para obtenerlo consiste en extrapolar la curva de regresión del esfuerzo de cizallamiento contra la velocidad de cizalla en el punto de intercepción cuando el valor de la velocidad de cizallamiento es igual a cero. Los valores obtenidos de este método, pueden ser fuertemente influenciados por el modelo reológico y el rango de velocidad de cizallamiento seleccionado para representar los datos. Una alternativa a éste procedimiento, es graficar la viscosidad aparente contra el esfuerzo de cizalla y determinar σ_0 en el punto (relacionado a cero velocidad de cizallamiento) donde la viscosidad cambia infinitamente (39).

Tipos de fluidos según su comportamiento al flujo.

La mayoría de los comportamientos al flujo de los fluidos, se puede describir por medio de diagramas básicos de velocidad de cizallamiento contra esfuerzo de cizalla, tomando de manera convencional a la velocidad de cizalla como variable independiente. En la figura 2.17 se presenta una clasificación simple del comportamiento reológico de fluidos.

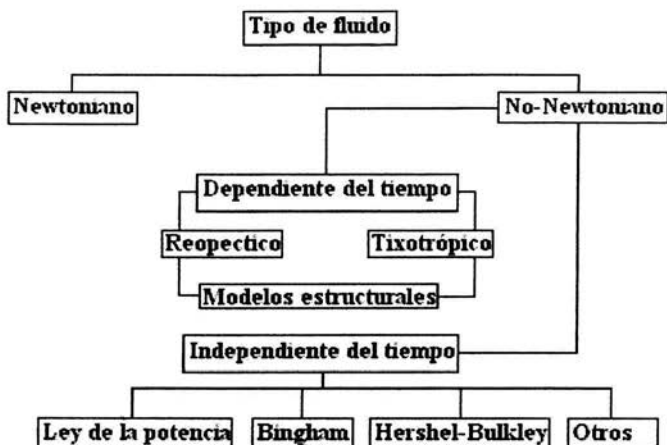


Figura 2.17 Clasificación del comportamiento reológico de diferentes fluidos (39).

Fluidos de comportamiento newtoniano.

Con los fluidos newtonianos, la velocidad de cizallamiento $\dot{\gamma}$ (1/s), es directamente proporcional al esfuerzo de cizalla σ (Pa), a través del coeficiente de viscosidad η (Pa.s) del fluido. El resto de los fluidos que no siguen este comportamiento se denominan no-newtonianos. Los alimentos newtonianos, generalmente contienen compuestos de bajo peso molecular y no tienen grandes concentraciones de otros polímeros disueltos o de sólidos insolubles. El modelo reológico para un fluido newtoniano, es descrito con la siguiente ecuación (34).

$$\sigma = \eta \dot{\gamma} \quad [2.6.1]$$

Fluidos no-newtonianos dependientes del tiempo.

Idealmente, los materiales dependientes del tiempo son considerados como inelásticos con una viscosidad dependiente del tiempo. La respuesta de la sustancia al esfuerzo de cizalla es inmediata y el comportamiento de dependencia del tiempo se debe a cambios en la estructura del mismo material. Ha sido desarrollada una terminología diferente para describir a los fluidos con características de dependencia del tiempo. Los materiales tixotrópicos y reopéxicos (antitixotrópicos) exhiben, respectivamente, disminución e incremento del esfuerzo de cizalla (y viscosidad aparente) con el tiempo, a una velocidad de cizallamiento constante. En otras palabras, **tixotropía** es una fluidificación dependiente del tiempo y **antitixotropía** es el espesamiento dependiente del tiempo. Ambos fenómenos pueden ser reversibles, irreversibles o parcialmente reversibles. En el reposo las partículas de los materiales tixotrópicos se encuentran unidas débilmente sin embargo, cuando las fuerzas hidrodinámicas durante el cizallamiento son suficientemente grandes, la unión entre las partículas se rompe ocasionando la reducción del tamaño de las unidades estructurales del material, ofreciendo una baja resistencia al flujo durante el cizallamiento. En el comportamiento antitixotrópico, los valores del esfuerzo de cizalla en el descenso de la velocidad de cizalla son mayores a los correspondientes en el orden de ascenso (34, 39).

Fluidos no-newtonianos independientes del tiempo.

En el comportamiento de **fluidificación por cizalla**, la curva de la velocidad de cizallamiento contra el esfuerzo de cizalla (figura 2.18) parte del origen, pero a diferencia de los fluidos newtonianos, la curva de flujo es cóncava en la parte superior debido a que los incrementos de la velocidad de cizallamiento son proporcionalmente mayores que los del esfuerzo de cizalla. Este tipo de sustancia generalmente es llamada pseudo plástica, sin embargo el término de fluidificación por cizalla es más apropiado debido a que éste describe exactamente la curva de velocidad-esfuerzo de cizalla. El fenómeno de fluidificación puede ser debido al rompimiento de las unidades estructurales en alimento por las fuerzas hidrodinámicas generadas durante el cizallamiento (34).

En el comportamiento de **espesamiento por cizalla**, la curva de la velocidad de cizallamiento contra el esfuerzo de cizalla (figura 2.18) parte del origen y se hace convexa en la parte superior debido a que los incrementos del esfuerzo de cizalla son proporcionalmente mayores a los de la velocidad de cizallamiento. Este tipo de fluidos ha sido encontrado en dispersiones de almidón parcialmente gelatinizado. La expresión dilatante es popular e incorrectamente utilizada para describir el comportamiento de estos fluidos, debido a que la dilatancia implica un incremento del volumen de la muestra durante el análisis. Estrictamente hablando, el espesamiento puede ser debido al incremento en el tamaño de las unidades estructurales del producto como resultado del cizallamiento (34).

Fluidos que siguen la ley de la potencia.

En los sistemas fluidificantes y espesantes la relación de velocidad-esfuerzo de cizalla no viene dada por una línea recta, pero es única. A cada valor del esfuerzo de cizalla le corresponde un sólo valor de velocidad de cizallamiento, por lo que el comportamiento reológico se puede describir por el modelo de la ley de la potencia (29, 34).

$$\sigma = K \dot{\gamma}^n \quad [2.6.2]$$

Donde K , es el índice de consistencia y n el índice de comportamiento al flujo. Para el caso de un fluido newtoniano ($n = 1$) y el índice de consistencia K es igual a la viscosidad del fluido. Cuando el valor de $n < 1$, el material es fluidificante y cuando $n > 1$ el fluido es de naturaleza espesante. Graficando el logaritmo de la velocidad de cizallamiento contra el logaritmo del esfuerzo de cizalla la curva de flujo se transforma en una línea recta, donde la ordenada al origen es el log de K y la pendiente representa el índice de comportamiento al flujo (n).

Fluidos de Bingham.

Una característica importante de los materiales plásticos de Bingham, es que requieren de un esfuerzo de fluencia para poder comenzar a fluir, ya que por debajo de éste no presentan flujo inmediato (39).

Un material plástico de este tipo se representa por el modelo de Bingham, donde η_{pl} es la viscosidad plástica de Bingham y σ_0 , el esfuerzo de fluencia.

$$\sigma - \sigma_0 = \eta_{pl} \dot{\gamma} \quad [2.6.3]$$

Al igual que los fluidos newtonianos, el modelo de Bingham presenta una relación lineal entre la velocidad y esfuerzo de cizalla (figura 2.18) sin embargo, éste no se puede caracterizar únicamente con el coeficiente de viscosidad debido a que requiere de un esfuerzo de fluencia para comenzar a fluir. La pendiente de la curva de velocidad contra el esfuerzo de cizalla, representa la viscosidad plástica de Bingham y el esfuerzo de fluencia está dado por la intercepción de la línea con el eje del esfuerzo de cizallamiento (34).

Modelo de Hershell Bulkley.

Este modelo, en general se utiliza para describir el comportamiento reológico de los fluidos no-newtonianos. Al igual que el modelo de Bingham, éste se caracteriza por la presencia del esfuerzo de fluencia en la ecuación.

$$\sigma - \sigma_0 = K_H (\dot{\gamma})^n \quad [2.6.4]$$

Donde, n es el índice de comportamiento al flujo, K_H el índice de consistencia y σ_0 el esfuerzo de fluencia. Si el esfuerzo de fluencia de una muestra es determinado experimentalmente, K_H y n pueden ser obtenidos por la regresión lineal del logaritmo de $(\sigma - \sigma_0)$ contra el logaritmo de la velocidad de cizalla, como la intercepción y la pendiente respectivamente (34, 39).

Modelo de Casson.

Este modelo, es una estructura basada en el modelo para la tinta de impresión (1959) y ha sido adoptado por la OICC (Oficina Internacional del Cacao y Chocolate) para interpretar el comportamiento al flujo del chocolate (39).

$$\sqrt{\sigma} = K_{oc} + K_c \sqrt{\dot{\gamma}} \quad [2.6.5]$$

Los parámetros de Casson pueden ser obtenidos por la regresión lineal de la raíz cuadrada de la velocidad de cizallamiento contra la raíz cuadrada del esfuerzo de cizalla. Donde, el cuadrado de la pendiente Kc^2 (Pa.s), representa la viscosidad plástica de Casson, y el cuadrado de la ordenada al origen Koc^2 (Pa), al esfuerzo de fluencia.

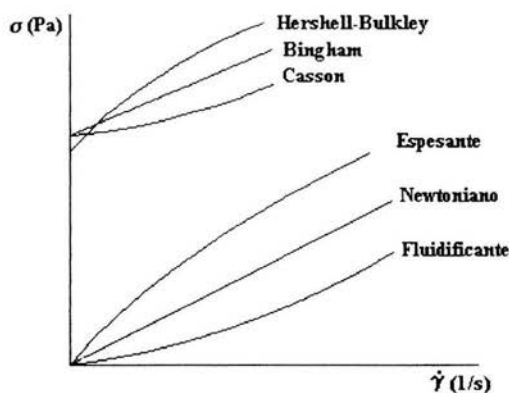


Figura 2.18 Representación gráfica de los modelos reológicos de fluidos independientes del tiempo (39).

2.6.1 Comportamiento de fluencia del chocolate.

El chocolate fundido es una suspensión de partículas de azúcar, cacao y /o, si es el caso, de sólidos de leche en una fase grasa continua como se aprecia en la figura 2.19. A causa de la presencia de partículas sólidas en la masa fundida, ésta exhibe propiedades plásticas. Este tipo de flujo puede presentarse en sistemas dispersos de una o más fases de partículas, contenidas en una fase continua. El comportamiento del flujo, puede ser afectado por la concentración de sólidos (figura 2.20), tamaño, forma y la carga de las partículas. La adición de pequeñas cantidades de partículas de forma esférica en la fase continua, únicamente causa ligeros incrementos en la viscosidad. Un incremento en la concentración de las partículas, origina la formación del esfuerzo de fluencia (F1) sin afectar en mayor medida a la viscosidad. Cuando el esfuerzo de cizallamiento no es lo suficientemente grande para iniciar el flujo, el sistema se comporta como un sólido presentando una deformación elástica y el flujo únicamente inicia cuando el esfuerzo de fluencia es rebasado (30).

Este comportamiento es conocido como flujo plástico, el cual es afectado por la suspensión de partículas y la interacción de unas con otras. El grado de interacción de las partículas depende de las propiedades de la fase continua y puede ser afectado por la adición de agentes dispersantes. La atracción entre las partículas en el sistema disperso, es atribuida a las fuerzas de Van der Waals y al efecto de Bernoulli. La presencia de cargas positivas o negativas y enlaces por puentes de hidrogeno puede incrementar las fuerzas de atracción y una gran superficie de cargas de la misma polaridad genera fuerzas de repulsión (30).

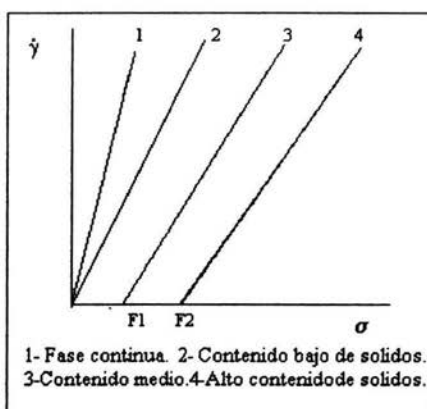
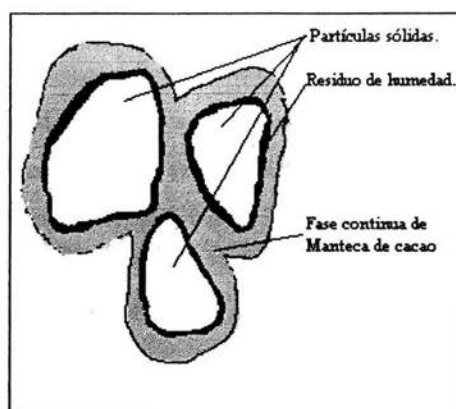


Figura 2.19 Estructura del chocolate fundido (18). **Figura 2.20 Efecto del incremento de sólidos en el comportamiento al flujo de un sistema disperso (30).**

Después de largos y profundos estudios se llegó a la conclusión de que el modelo de Bingham que representa a materiales con propiedades plásticas, no era suficiente para reproducir correctamente las propiedades de flujo del chocolate, debido a que no existe una relación lineal entre el esfuerzo y la velocidad de cizalla (figura 2.18). Entre los diversos intentos para expresar la curvatura del reograma del chocolate en forma de ecuación, el más aceptado fue el de Steiner (1958) quien adoptó el modelo de Casson (probado para la tinta de impresión). El método propuesto por Steiner, fue adoptado oficialmente por la OICC en 1973 y actualmente es aceptado internacionalmente como el método oficial de caracterización reológica del chocolate (19, 30, 34, 39). En la figura 2.21 se aprecia la curva que representa al modelo de Casson.

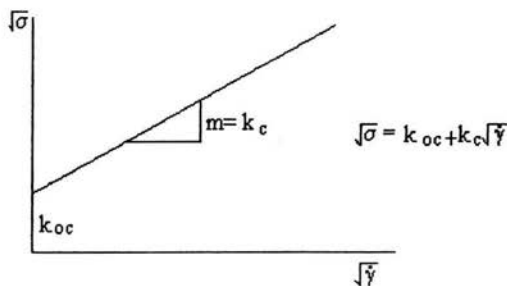


Figura 2.21 Gráfico del modelo de Casson.

Tixotropía. Ésta se presenta especialmente en los chocolates con viscosidad aparente alta cuando se agitan después de un reposo prolongado. La resistencia a la fuerza de cizalla es elevada al principio, disminuye y tiende a un valor estable después de 10 minutos. Por el contrario, cuando el chocolate se agita intensamente y luego se agita a régimen más lento, la resistencia aumenta y tiende al mismo valor obtenido en la curva ascendente. Da la impresión de que se desarrolla cierta estructura cuando el chocolate está en reposo, la cual desaparece después de cierto tiempo de cizallamiento (19).

2.6.2 Factores que afectan las propiedades de fluencia del chocolate.

Antes de iniciar con los factores que afectan las propiedades de flujo del chocolate, es importante señalar los límites de los parámetros del modelo de Casson que son considerados para chocolates y coberturas. En el caso de **chocolates**, se encontró que por lo regular presentan viscosidades plásticas entre 1-20 Pa.s y esfuerzos de fluencia de 10-200 Pa, mientras que las **coberturas** tienen valores correspondientes inferiores, pues la viscosidad plástica está en el límite de 0.5-2.5 Pa.s y el esfuerzo de fluencia cae en el rango de 0-20 Pa (19). Para el caso del moldeo de chocolates claro y oscuro, se requieren de valores de viscosidad plástica de 2.36-6.41 Pa.s y esfuerzos de fluencia de 9.1-23.2 Pa sin embargo, es necesario señalar que para esta operación es necesario que el esfuerzo de fluencia se encuentre en el límite inferior (9.1 Pa) para que el chocolate solidifique fácilmente en los moldes, libere las burbujas de aire y se obtengan acabados de calidad sin importar que la viscosidad se mantenga en el valor más alto del rango especificado (19, 25, 32).

Para el caso de las líneas de cobertura, es importante señalar que el proceso demanda los esfuerzos de fluencia más bajos del rango especificado para estos productos, debido a que las tendencias de los recubrimientos se dirigen a la aplicación de cubiertas delgadas y uniformes por lo que se requiere de un mayor deslizamiento de la cobertura (19). Después de hacer estas consideraciones, podemos decir que entre los factores que influyen en los valores de estos parámetros tenemos a los siguientes:

- Temperatura.
- Contenido graso.
- Tiempo de conchado.
- Distribución del tamaño de partícula.
- Humedad.
- Emulsificantes.
- Atemperado.

Temperatura. Como para muchos otros productos, el aumento de la temperatura produce un efecto inverso en la viscosidad plástica de Casson, es decir a un incremento de la temperatura corresponde una disminución en la viscosidad en magnitud diferente dependiendo del tipo de chocolate y su composición. En el caso del esfuerzo de fluencia el efecto de la temperatura es menor sobre todo en el intervalo en el cual la grasa está completamente fundida (30), aunque se ha encontrado que en los chocolates sin lecitina dicho esfuerzo se puede incrementar provocando un efecto de espesamiento, mientras que los chocolates con fosfolípidos se pueden calentar unos 20°C por encima de lo normal antes de que este efecto de espesamiento se produzca. Cabe señalar que en los chocolates con leche se debe cuidar que la temperatura no rebase los 60°C, sobre todo en la etapa del conchado (conchado frío), para no alterar el producto (19).

Contenido graso. Como ya se mencionó, el chocolate es una suspensión de partículas sólidas en una fase continua de grasa, por lo cual es bien sabido que la dilución de la suspensión de partículas en la fase continua reduce su viscosidad, sin embargo la cantidad de grasa no explica por sí sola las variaciones de viscosidad, que en realidad dependen de la grasa libre pues una parte de la grasa se utiliza para lubricar la superficie de las partículas y la segunda corresponde al soporte continuo que determina el mayor o menor deslizamiento de las mismas (19).

Por lo tanto, dada una cierta cantidad de grasa, la grasa libre será menor, cuanto mayor sea la superficie de las partículas a lubricar, lo cual nos lleva al término de **superficie específica**, que podemos definir como la superficie en metros cuadrados producida por un gramo de producto. La superficie específica también depende de la granulometría por lo cual podemos decir que a un mismo tamaño de partícula, la viscosidad disminuye con el aumento de la grasa y a igualdad de grasa la viscosidad aumenta conforme disminuye la granulometría. En lo que respecta al esfuerzo de fluencia, este se ve más claramente influenciado por las variaciones de grasa libre pues a falta de la misma el deslizamiento entre las partículas tiende a anularse aumentando notablemente el mismo. En la figura 2.22, se presenta la influencia del contenido de grasa sobre los parámetros de Casson en un chocolate fino y otro grosero. Donde se puede apreciar que algo de la manteca de cacao del chocolate está siempre asociada a la superficie específica del producto, por lo que no afecta libremente a la viscosidad y sí al esfuerzo de fluencia (19, 30).

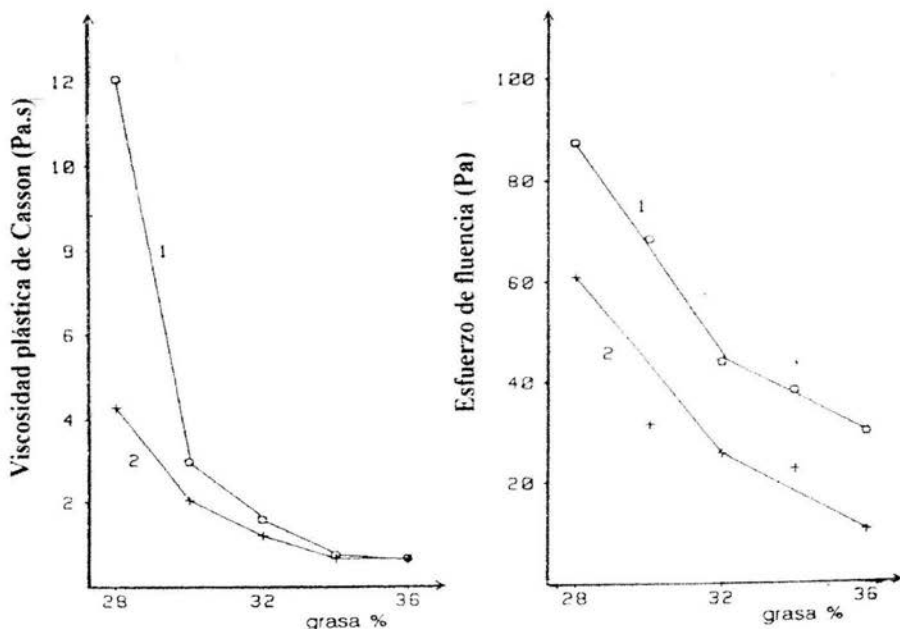


Figura 2.22 Influencia en los parámetros de Casson del contenido de grasa en dos chocolates (1) —○— Chocolate con 5.7 % de partículas > 20 Micras; (2) —+— Chocolate con 16 % de partículas > 20 Micras (19).

Granulometría. La distribución del tamaño de las partículas también juega un papel muy importante en los parámetros de Casson (figura 2.23) ya que si éstas son pequeñas, su superficie específica es grande y por tanto se requerirá de más grasa para cubrirlas y por el contrario si las partículas son grandes, la superficie específica es pequeña y por lo tanto se requiere de menor grasa para cubrirlas. De lo anterior podemos decir que en chocolates con partícula gruesas, (más del 20 % de partículas mayores a 20 micras), el esfuerzo de fluencia disminuye en mayor medida que la viscosidad plástica de Casson, mientras que con partículas finas (12-15 micras) sucede lo contrario ya que el aumento del área específica incrementa el contacto de fricción entre las partículas por lo que es el esfuerzo de fluencia el que se ve más afectado (19, 22, 30).

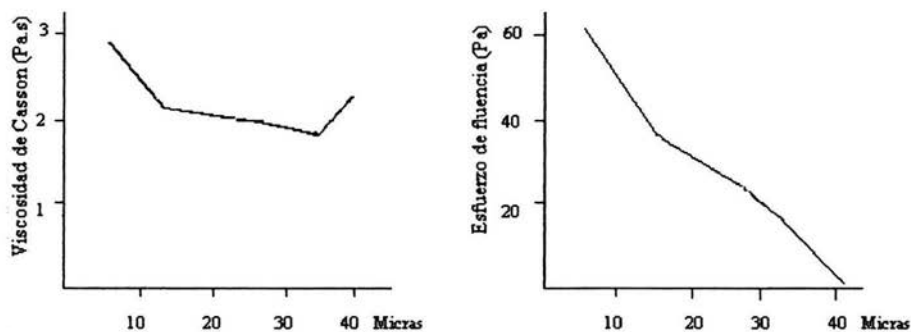


Figura 2.23 Influencia de la granulometría en los parámetros de Casson (19).

Humedad. Este factor es de gran importancia en cuanto que un aumento de humedad produce un aumento de viscosidad. Este hecho puede explicarse por la formación de capas de jarabe sobre las partículas de azúcar que aumenta la fricción entre ellas debido a la formación de las tensiones superficiales entre la fase hidrófila y lipófila. No está muy claro cuál de los parámetros de Casson es el más afectado por el contenido de humedad, pero parece ser que el efecto causado sobre el esfuerzo de fluencia, es el responsable del aumento de viscosidad en el chocolate (19, 30).

Emulsificantes. Como ya se mencionó anteriormente, la adición de emulsificantes tiene un efecto importante sobre los parámetros de Casson. En este sentido, se ha visto que la adición de lecitina de soya en niveles de 0.3-0.5 % tiene un efecto más importante en la reducción de la viscosidad plástica que sobre el esfuerzo de fluencia y en concentraciones mayores a 0.5 % el esfuerzo de fluencia tiende a incrementarse (19, 24). En lo que respecta a la influencia del PGPR sobre los parámetros de Casson, se encontró que éste actúa principalmente en la reducción del esfuerzo de fluencia y no sobre la viscosidad plástica. Por otra parte se ha observado que en concentraciones mayores del 0.3% puede provocar un comportamiento newtoniano en el chocolate fundido, debido a la anulación del esfuerzo de fluencia (25, 27). La principal diferencia entre la acción del PGPR y la lecitina de soya en un sistema de partículas dispersas en una fase de grasa, se explica a continuación.

La lecitina de soya reduce la fricción en el área superficial de las partículas de cocoa, azúcar y proteína y de esta forma causa una reducción de la viscosidad y en menor grado del esfuerzo de fluencia. El pronunciado efecto de licuación de la lecitina en las masas que contienen grasa es producido parcialmente por reacciones microquímicas ocurridas en la interfase. La acción emulsificante de la lecitina con los residuos hidrofílicos y lipofílicos depende principalmente de la formación de puentes entre las capas superficiales de los materiales sólidos con los acuosos y la superficie de carácter graso. En lo que respecta al polirricinoleato de poliglicerol (PGPR), como ya se mencionó anteriormente, su principal acción es la reducción del esfuerzo de fluencia por la disminución de la tensión superficial en la fase grasa. Tal reducción es debida a la formación de una presión negativa entre las partículas sólidas y la grasa (30).

Atemperado. Antes del moldeo, el chocolate fundido ha de ser atemperado. Durante el atemperado, la cantidad de partículas sólidas aumenta ligeramente, incrementando la viscosidad. En el chocolate bien atemperado, la cantidad de cristales sembrados es relativamente baja, y la diferencia en la viscosidad aparente antes y después del proceso es baja. Sin embargo, cuando el temperado es excesivo (sobre temperado), la viscosidad aparente tiene un aumento significativo debido al incremento del esfuerzo de fluencia (19).

Tiempo de conchado. Al principio del conchado no todas las partículas están cubiertas de grasa y generalmente sólo una pequeña cantidad de lecitina se ha añadido. El contenido de humedad también es ligeramente superior al del final del conchado, por consiguiente la viscosidad aparente de una masa de chocolate no conchada es muy alta, y frecuentemente difícil de medir. En diversos estudios se han medido los cambios de viscosidad en una diversidad de operaciones industriales de “conchado” y en todos los casos se dedujo que el principal efecto que se presenta es la disminución del esfuerzo durante las primeras horas del conchado como se aprecia en la figura 2.24. En cuanto a la viscosidad de Casson, su disminución no fue tan importante como la del esfuerzo de fluencia (19).

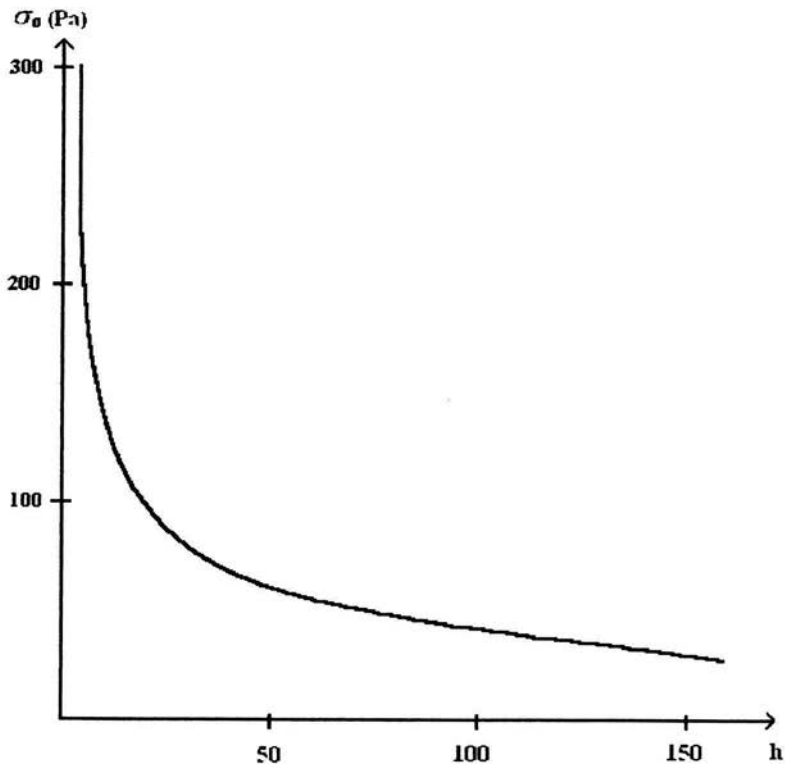


Figura 2.24 Influencia del tiempo de conchado sobre los parámetros de Casson (19).

2.7 Método de Steiner para la caracterización reológica del chocolate.

El método de Steiner (1958) para la caracterización reológica del chocolate fundido fue reconocido internacionalmente y adoptado de manera oficial por la OICC en 1973 (19, 33). En un sistema de cilindros concéntricos, las medidas de viscosidad se pueden realizar con viscosímetros de rotación de la misma geometría, y la velocidad y el esfuerzo de cizallamiento se pueden calcular de la siguiente manera.

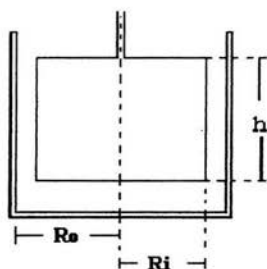


Figura 2.25 Esquema de un sistema de cilindros concéntricos.

La velocidad de cizallamiento para un fluido newtoniano en una geometría de cilindros concéntricos puede ser calculada con precisión por la siguiente expresión (19, 34).

$$\dot{\gamma}^N = \frac{2\Omega Ro^2}{Ro^2 - Ri^2} = \frac{2\Omega}{1 - a^2} \quad [2.7.1]$$

Ω = Velocidad angular = $2\pi N/60$

N = Revoluciones por minuto (rpm).

Ri = Radio del cilindro interior (m).

Ro = Radio del cilindro exterior (m).

$a = (Ri/Ro)$.

En una geometría de cilindros concéntricos, la fuerza de cizallamiento es proporcional al torque (M) el cual, es a su vez proporcional a la lectura del viscosímetro (Li) y viene dado por la siguiente relación (19, 34).

$$\sigma = \frac{M}{2\pi Ri^2 h} = ALi \quad [2.7.2]$$

h = longitud efectiva del cilindro interior.

A = constante $k / 2\pi Ri^2 h$.

k = constante del par motor = M / Li

M = torque.

Ri = radio del cilindro interior.

Los alimentos como el chocolate pueden ser caracterizados reológicamente por el modelo de Casson sin embargo, Steiner (1958) no contaba con una expresión no newtoniana para la velocidad de cizallamiento obtenida con los sistemas de cilindros concéntricos y relacionó $\dot{\gamma}_N$ con los parámetros de Casson (Koc , Kc) y el esfuerzo de cizallamiento llegando a la siguiente expresión.

$$\{(1+a)\sqrt{\sigma}\} = Kc \{(1+a)\sqrt{\dot{\gamma}_N}\} + 2Koc \quad [2.7.3]$$

La aproximación de Steiner es válida para valores de (a) entre 0.5-0.9 y velocidades de cizallamiento mayores que 0.1 1/s (34). Como se mencionó anteriormente, si se construye el reograma de $(1+a)$ raíz cuadrada de la velocidad de cizallamiento v.s $(1+a)$ raíz cuadrada del esfuerzo de cizalla, como en la figura 2.26, la curva de viscosidad del chocolate se convierte en una línea recta y los parámetros de Casson se pueden obtener por la pendiente $m = Kc$ y la ordenada al origen $(b/2) = Koc$. De esta manera el esfuerzo de fluencia puede ser calculado de la siguiente forma $\sigma_0 = (Koc)^2$ y la viscosidad plástica de Casson por $\eta_{ca} = (Kc)^2$.

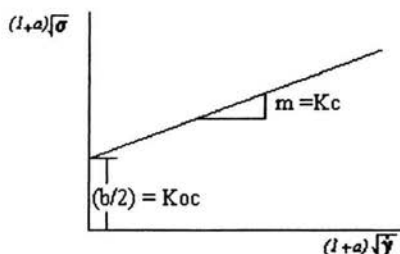


Figura 2.26 Representación gráfica de la ecuación de Steiner (19).

Durante muchos años, la viscosidad plástica y el esfuerzo de fluencia se expresaron en poises y en dinas /cm² respectivamente. Sin embargo, desde 1978, se ha recomendado que la viscosidad sea expresada en (Pa.s) y el esfuerzo de fluencia en (Pa). La velocidad de cizallamiento siempre se expresa en segundos inversos (1/s) (19).

2.7.1 Procedimiento de la OICC para la preparación y análisis de las muestras.

El procedimiento oficial publicado por la CMA (Chocolate Manufacturers Association) y la NCA (National Confectioners Association) fue adaptado a un viscosímetro Brookfield de la serie HA, usando el adaptador para muestras pequeñas de cilindros concéntricos copa SC4 y aguja 27 / 13R. La capacidad de la copa para la muestra es de 11 ml, el diámetro de la aguja es 0.465 in y el interior de la copa de 0.750 in, por lo que este instrumento presenta una relación de radios $a = 0.62$.

Determinación de la velocidad de cizallamiento.

En este caso particular, la velocidad de cizallamiento se determina multiplicando 0.34 por N, donde N son las revoluciones por minuto (rpm) a las que gira la flecha del equipo y sus unidades son (1/s). De acuerdo a las rpm que maneja el equipo las velocidades de cizallamiento serían las siguientes:

RPM	velocidad de cizalla (1/s)
5	1.70
10	3.40
20	6.80
50	17.0
100	34.0

Cuadro 2.6 Velocidades de cizalla de los sistemas Brookfield de la serie HA.

Determinación del esfuerzo de cizallamiento.

En lo que se refiere al esfuerzo de cizallamiento, la constante del par motor proporcionada por el fabricante del instrumento es $A = 17$. Por lo que el cálculo del esfuerzo de cizallamiento viene dado por multiplicar la constante del instrumento por la lectura obtenida en el viscosímetro Brookfield ($\sigma = 17 \times$ lectura del viscosímetro) (33).

Antes del análisis de las muestras, se recomienda la calibración de los viscosímetros con fluidos newtonianos como aceite mineral o de silicona, de viscosidad no menor a 2 Pa.s a la temperatura de calibración.

Preparación del viscosímetro.

El elemento más crítico en la preparación del viscosímetro, es asegurar que la temperatura en el cilindro externo sea de $40 \pm 0.1^\circ\text{C}$. Por tal razón se debe tener en cuenta que la temperatura típica de un laboratorio ($20\text{-}23^\circ\text{C}$) es considerablemente menor a la temperatura de análisis de la muestra, por lo que es recomendable ajustar el control de temperatura del baño de agua unos cuantos grados arriba de 40°C para asegurar que la temperatura en el cilindro externo sea la correcta.

La mejor manera de determinar la temperatura a la cual debe de colocarse el baño, es llenar el cilindro exterior con la muestra de chocolate (11 ml) e instalar en el viscosímetro junto con la aguja.

Cuidadosamente insertar el termopar en el chocolate y poner en marcha el viscosímetro a 5 rpm hasta que la lectura de la temperatura sea constante.

De esta forma puede ajustarse el control de temperatura del baño de agua para asegurar que la temperatura de la muestra sea la requerida ($40 \pm 0.1^\circ\text{C}$). Por otra parte, es importante señalar que tanto el cilindro exterior como la aguja deben de mantenerse a una temperatura de 40°C para no causar problemas a la temperatura de la muestra. En este caso se puede disponer de un pequeño horno incubador para almacenar el recipiente de la muestra y la aguja mientras no estén en uso.

Preparación de la muestra.

Para fundir la muestra, ésta se debe de calentar lentamente cuidando de no rebasar los 75°C de temperatura debido a que se corre el riesgo de dañar a la muestra, especialmente en los chocolates que contienen leche. Se toman unos 100 g de chocolate y se fragmentan en trozos pequeños (5 g o menos). La muestra, finamente dividida, se funde colocándola en un vaso de vidrio de 250 cm^3 , se calienta en baño de agua o en una estufa a 55°C y se agita continuamente hasta que la temperatura del chocolate alcance los 50°C . Si la agitación es mecánica, esta no debe exceder de 60 rpm para evitar que se incorpore aire a la muestra. Se enfría el chocolate fundido a 43°C agitando la muestra como se mencionó anteriormente. Se traslada al viscosímetro y se lleva a $40^\circ\text{C} \pm 0.10^\circ\text{C}$ mientras gira el viscosímetro con régimen de cizallamiento entre 5 y 25 (1/s).

Análisis de las muestras.

Es importante señalar que algunas asociaciones como la CMA (Chocolate Manufacturers Association) y la NCA (National Confectioners Association) recomiendan precizallar el chocolate a una velocidad de cizallamiento conocida ($50\text{ rpm} = 17\text{ 1/s}$ por tres minutos) antes de tomar las lecturas, para tener mayor reproducibilidad de los datos y resultados más confiables (19, 33).

A continuación se detalla el procedimiento de análisis de las muestras:

- a) Una vez instalada la aguja en el viscosímetro, desmontar el cilindro exterior y verter 11 ml de la muestra de chocolate.
- b) Eliminar al máximo el aire atrapado en la muestra, agitando vigorosamente el recipiente cilíndrico desde la parte inferior.
- c) Cuidadosamente ensamblar el cilindro con la muestra en el instrumento permitiendo que el chocolate fluya libremente alrededor de la aguja y cuidando que no quede aire atrapado en el mismo.
- d) Para mantener la temperatura de la muestra correctamente, coloque la cubierta de plástico sobre el cilindro, cuidando que ésta permita el libre movimiento de la flecha de la aguja.
- e) Periódicamente poner en marcha el viscosímetro a 0.5 rpm para asegurar que la temperatura de la muestra sea uniforme.
- f) Después de estabilizar la temperatura de medición a $40 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$, precizar la muestra a 50 rpm (17 l/s) durante 3 minutos.
- g) Cambiar la velocidad a 100 rpm y poner en marcha el instrumento.
- h) Permitir que el disco dé 5 giros, para que se estabilice la aguja de la carátula.
- i) Detener el instrumento cuando la aguja aparezca en la ventanilla.
- j) Tomar la lectura y registrarla.
- k) Liberar la aguja y cambiar la velocidad a la inmediata inferior y poner en marcha el instrumento.
- l) Repita los pasos del inciso (h) al (k), hasta obtener las lecturas deseadas.

En algunas ocasiones, es posible que debido al alto esfuerzo de cizallamiento la lectura del viscosímetro quede fuera de la escala de la carátula, en estos casos cambie la velocidad del equipo a la inmediata inferior y ponga en marcha el viscosímetro (33).

2.8 Bombeo de chocolate.

Uno de los principales problemas que se presentan en el momento de diseñar un sistema de bombeo u equipo de atemperado para chocolates es el hecho de que no se cuenta con información suficiente de viscosidad para líquidos no-newtonianos. El chocolate líquido es un fluido no newtoniano que exhibe un comportamiento del tipo de Casson, que se caracteriza por presentar un esfuerzo de fluencia, por lo que no es posible utilizar las ecuaciones de Poiseuille ni de fricción estándar para la proyección de las líneas y sistemas de bombeo ya que las mismas no toman en cuenta a este parámetro, ya que los líquidos newtonianos no presentan esfuerzo de fluencia. Debido a estas razones, Fincke y Heinz (1960) proponen la siguiente ecuación que involucra los parámetros de Casson, para el cálculo del diámetro de las tuberías y la potencia requerida por la bomba (19, 39).

$$V = \frac{\pi r^3}{\eta_{CA}} \left[\frac{\sigma_R}{4} - \frac{4\sqrt{\sigma_{CA}}\sqrt{\sigma_R}}{7} + \frac{\sigma_{CA}}{3} - \frac{\sigma_{CA}^4}{84\sigma_R^3} \right] \quad [2.8.1]$$

V = caudal (m^3/s).

η_{CA} = viscosidad plástica de Casson (Pa.s).

σ_{CA} = esfuerzo de fluencia (Pa).

σ_R = esfuerzo de cizalla en la pared de la tubería (Pa).

$= \Delta P r / 2l$ [ΔP = caída de presión (Pa)].

r = radio del tubo (m).

l = longitud del tubo (m).

Se recomienda que las presiones en las líneas sean menores a 6.9 bar (100 psi) para evitar sobrepresiones en los elementos de la bomba y la caramelización de los chocolates con leche u otros productos sensibles a las altas temperaturas (19). Las camisas de las atemperadoras se recomienda que estén por debajo de 4.14 bar (60 psi).

Otro de los problemas de diseño que se presentan, es el empleo de los parámetros reológicos del chocolate obtenidos del análisis de las muestras a 40°C, pues bajo estas condiciones no hay cristalización de la manteca de cacao en el chocolate por lo que los resultados obtenidos siempre serán menores que los de las muestras atemperadas a 30°C, debido a que la presencia de cristales disminuye la cantidad de grasa disponible aumentando la consistencia de la cobertura, lo cual ocasiona el subdimensionamiento de las líneas de flujo y equipos de atemperado que en la mayoría de los casos para solucionar el problema genera el sobredimensionamiento de los equipos.

Un ejemplo muy claro de los casos anteriores que tuve la oportunidad de presenciar, se presentó en el momento que fue necesario diseñar una atemperadora de mayor capacidad para un equipo nuevo de moldeo.

Primeramente cuando no se disponía de datos de viscosidad plástica ni de esfuerzo de fluencia de los chocolates, se proporcionó al fabricante el dato de la viscosidad aparente de éstos 60-70 Pa.s, obtenida por el viscosímetro Brookfield RVT (huso # 6, 4 rpm) a 40°C, que esta muy por arriba de la especificada para una línea de moldeo (2.36-6.41 Pa.s), lo que trajo consigo un sobredimensionamiento de la capacidad del equipo incorporando gran cantidad de aire en el chocolate y dificultando enormemente la operación del moldeo.

Ya con los datos de viscosidad plástica determinados a 40°C el problema que se presentó fue el subdimensionamiento del equipo debido a que la capacidad de la atemperadora no alcanzaba a cubrir las necesidades de flujo del equipo de moldeo lo que hacía que no se pudiera trabajar de manera continua teniendo puntos muertos durante el proceso. A recomendación del fabricante, la solución fue aumentar la capacidad del equipo en un 25 % sin conocer realmente las necesidades requeridas para el proceso.

Otro caso similar se presentó durante el dimensionamiento de una línea de bombeo para transportar chocolate atemperado de un depósito, a una cabeza dosificadora de mezclado para abastecer una línea de moldeo.

Para este fin se utilizaron los datos de viscosidad plástica del chocolate obtenidos del análisis de la muestra a 40°C, por lo que se presentaron problemas con el transporte de la cobertura de chocolate, pues los flujos obtenidos eran muy pobres y no alcanzaban a satisfacer las necesidades del equipo de moldeo por lo que nuevamente se cayó en el sobredimensionamiento del sistema para no tener tiempos muertos en el proceso de moldeo.

Es importante señalar que durante el dimensionamiento de los casos anteriores, no fue tomado en cuenta el esfuerzo de fluencia de las coberturas de chocolate y únicamente se consideró la viscosidad plástica del producto para el mismo, por lo que el presente trabajo se da a la tarea del cálculo de ambos parámetros, dada la importancia de éstos en los procesos de cobertura y moldeo, como para los casos de dimensionamiento.

III.- FASE EXPERIMENTAL.

El desarrollo experimental del presente trabajo comprende dos partes fundamentales, la primera parte fue la elaboración de las muestras de coberturas de chocolate, realizada en Cocoas y Chocolates La Corona sobre la base de las formulaciones estándar de esta empresa. La segunda se refiere a la caracterización reológica de las mismas empleando diferentes concentraciones de emulsificantes para evaluar su efecto en los parámetros del modelo de Casson, realizada en el Laboratorio de Propiedades Reológicas y Funcionales de Alimentos de la FES- C campo 1 y en el Departamento de Investigación y Desarrollo de la empresa.

OBJETIVOS.

Objetivo general.

Determinar la influencia de la lecitina de soya, el PGPR, y su mezcla en las propiedades reológicas de diferentes coberturas de chocolate, utilizando el modelo de Casson.

Objetivos particulares.

1 Determinar la influencia de la lecitina de soya en la reducción de la viscosidad plástica de Casson y el esfuerzo de fluencia, en una cobertura de chocolate oscuro.

2 Determinar la influencia del PGPR en la reducción de la viscosidad plástica de Casson y el esfuerzo de fluencia, en una cobertura de chocolate oscuro.

3 Determinar la concentración de lecitina de soya y PGPR más adecuada para la reducción de los parámetros de Casson en chocolates para moldeo y coberturas para recubrimiento.

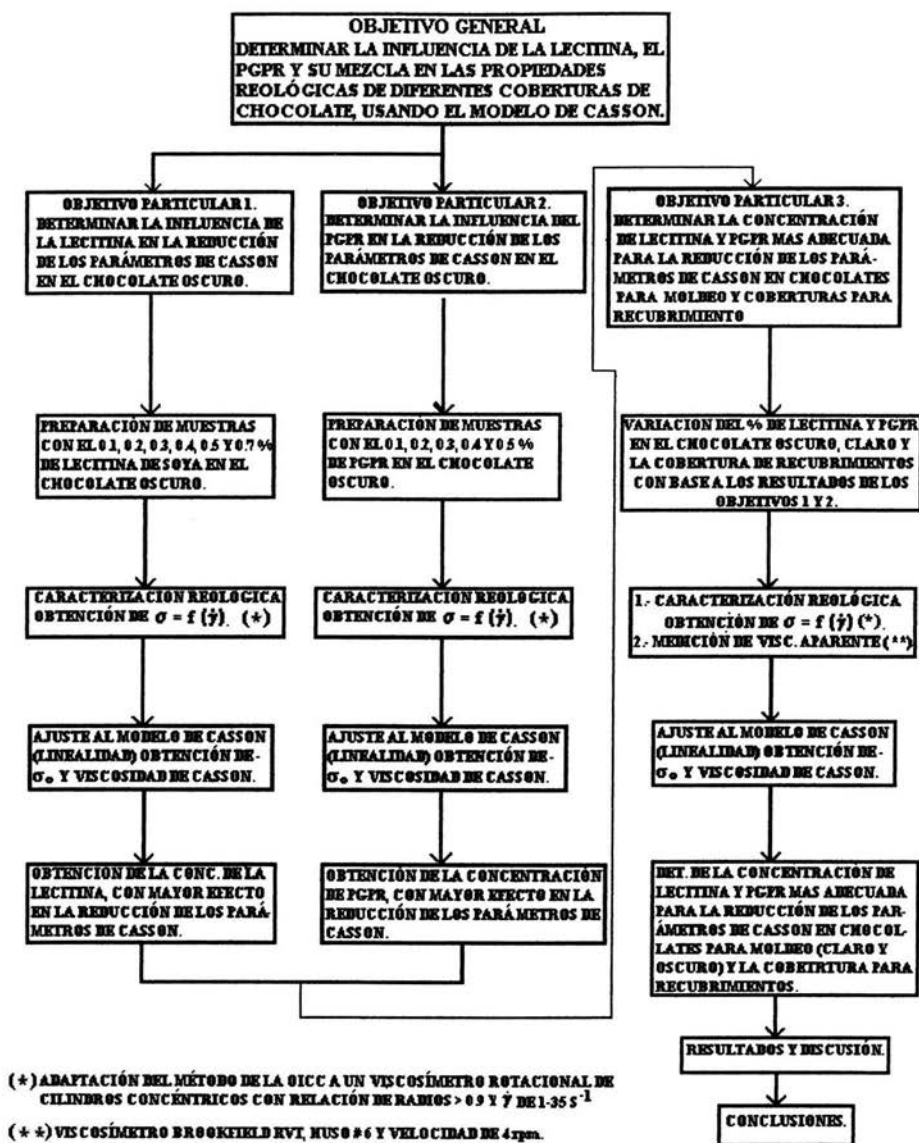


Figura 3.1 Cuadro metodológico del desarrollo experimental.

III.1 Desarrollo experimental.

Objetivo general. Determinar la influencia de la lecitina de soya, el PGPR, y su mezcla en las propiedades reológicas de diferentes coberturas de chocolate, utilizando el modelo de Casson.

Objetivo particular 1. Determinar la influencia de la lecitina de soya en la reducción de la viscosidad plástica de Casson y el esfuerzo de fluencia, en una cobertura de chocolate oscuro.

Justificación. En la revisión bibliográfica se estableció que la lecitina de soya tiene un fuerte poder reductor en las propiedades reológicas del chocolate fundido, sin embargo un estudio realizado por Finke (1965) reporta que después de una adición mayor al 0.5 % de lecitina en el chocolate, el esfuerzo de fluencia tiende a incrementarse (19, 24).

Para establecer la influencia de la lecitina de soya sobre la viscosidad plástica de Casson y el esfuerzo de fluencia en un sistema de partículas dispersas en grasa como el chocolate, se determinó variar la concentración del emulsificante, en el chocolate oscuro, basándose en las recomendaciones encontradas en la revisión bibliográfica, manteniendo los demás factores constantes (19, 24).

Actividad 1.

Preparación de las muestras de chocolate oscuro, con diferentes concentraciones de lecitina de soya, para determinar el efecto de ésta sobre los parámetros de Casson.

La preparación de las muestras, se especifica detalladamente en el punto 3.2.6 de la descripción metodológica.

Actividad 2.

Mediante el uso del viscosímetro analizar las muestras de chocolate oscuro de la actividad 1, para obtener el esfuerzo de cizalla y la viscosidad aparente en función de la velocidad de cizallamiento.

Variables involucradas.

Variable dependiente: Esfuerzo de cizalla $\sigma = f(\text{Torque})$.

Viscosidad aparente η_{ap} .

Variable independiente: Concentración de lecitina, en la muestra de chocolate.

Condiciones:

Geometría de medición (Z3 DIN), con una relación de radios de 0.9218.

Precizamiento de $\dot{\gamma} = 17$ (1/s), $t = 3$ min.

Intervalo de ascenso de $\dot{\gamma} = 1-35$ (1/s), $t = 3$ min.

Intervalo de descenso de $\dot{\gamma} = 35-1$ (1/s), $t = 3$ min.

Temperatura de medición ($40 \pm 0.1^\circ\text{C}$).

Volumen de la muestra 17 ml.

Número de replicas 2.

Niveles de variación: En el cuadro 3.1, se resumen los niveles de variación de lecitina de soya planteados para este objetivo.

Actividad 3. Análisis estadístico:

1.- La exactitud del viscosímetro se establecerá con un estándar newtoniano de 0.480 Pa.s. Se harán cinco mediciones del esfuerzo de cizalla a una velocidad de 1-500 (1/s), a una temperatura de 25°C , con 15 puntos en distribución lineal. Se aplicará un análisis de regresión lineal de los datos, esperando una relación lineal entre las variables, donde la pendiente representará la viscosidad experimental del estándar newtoniano (ver Apéndice "A").

Para determinar la exactitud del instrumento, se calculará la diferencia entre la viscosidad experimental de las mediciones y la viscosidad del estándar newtoniano en porcentaje. El resultado indicará la desviación de la lectura respecto a una entrada conocida.

2.- Para determinar la precisión de las mediciones se calculará el promedio, la desviación estándar y los coeficientes de variación del esfuerzo de cizalla en las réplicas de cada muestra, con los datos de los intervalos de ascenso y descenso a cada una de las velocidades de cizallamiento (ver Apéndice “B”).

3.- Linealidad. Los datos de velocidad y esfuerzo de cizallamiento se correlacionarán gráficamente aplicando un análisis de regresión lineal a la raíz cuadrada de la velocidad de cizalla contra la raíz cuadrada del esfuerzo de cizallamiento, esperando un comportamiento lineal entre las variables y una correlación mínima de 0.993 reportada bibliográficamente para diferentes muestras de chocolate (19, 34).

Actividad 4.

Ajuste de los datos de velocidad y esfuerzo de cizalla al modelo de Casson y obtención de los parámetros reológicos η_{ca} y σ_o (viscosidad plástica de Casson y el esfuerzo de fluencia).

Descripción de la actividad: El ajuste de datos al modelo de Casson, se hará aplicando raíces cuadradas a la velocidad y el esfuerzo de cizallamiento. Los parámetros de Casson serán obtenidos de la regresión lineal de la raíz cuadrada de la velocidad de cizalla contra la raíz cuadrada del esfuerzo de cizallamiento, donde el cuadrado de la pendiente representará la viscosidad plástica de Casson η_{ca} y el cuadrado de la ordenada al origen, al esfuerzo de fluencia σ_o .

Para la correlación de los datos y el cálculo de los parámetros reológicos, se hará uso del programa comercial de cómputo del equipo (Physica RS 120).

Actividad 5.

- (a) Construcción de curvas de flujo comparativas del efecto de la concentración de lecitina de soya sobre la viscosidad aparente y el esfuerzo de cizalla.
- (b) Elaboración de cuadros comparativos del efecto de la concentración de la lecitina de soya en el esfuerzo de fluencia y la viscosidad plástica de Casson.

Descripción de la actividad: Comparación del nivel de reducción de los parámetros de Casson alcanzado con las diferentes concentraciones de lecitina de soya usadas en la cobertura de chocolate oscuro. Para la construcción de las curvas de flujo se utilizó el programa de computo Physica US- 200.

Objetivo particular 2. Determinar la influencia del PGPR en la reducción de la viscosidad plástica de Casson y el esfuerzo de fluencia, en una cobertura de chocolate oscuro.

Justificación. De acuerdo a la revisión bibliográfica, el polirricinoleato de poliglicerol (PGPR) tiene una acción más específica en la reducción del esfuerzo de fluencia que sobre la viscosidad plástica de Casson, de tal manera que en concentraciones del 0.3 % éste tiende a desaparecer mejorando las propiedades de flujo del chocolate para procesos de cobertura o moldeo (25, 26).

Para establecer la influencia del PGPR sobre la viscosidad plástica de Casson y el esfuerzo de fluencia en el chocolate oscuro, se determinó variar la concentración del emulsificante basándose en las recomendaciones encontradas en la bibliografía, manteniendo los demás factores constantes (25, 26).

Actividad 1.

Preparación de las muestras de chocolate oscuro, con diferentes concentraciones de PGPR, para determinar su influencia sobre los parámetros de Casson.

Actividad 2.

Obtener el esfuerzo de cizalla y la viscosidad aparente, en función de la velocidad de cizalla, de las muestras de chocolate oscuro con diferentes concentraciones de PGPR.

Variables involucradas.

Variable dependiente:

Esfuerzo de cizalla $\sigma = f(\text{Torque})$.

Viscosidad aparente η_{ap} .

Variable independiente:

Concentración de PGPR, en la muestra de chocolate.

Condiciones:

Geometría de medición (Z3 DIN), con una relación de radios de 0.9218.

Precizamiento de $\dot{\gamma} = 17$ (1/s), $t = 3$ min.

Intervalo de ascenso de $\dot{\gamma} = 1-35$ (1/s), $t = 3$ min.

Intervalo de descenso de $\dot{\gamma} = 35-1$ (1/s), $t = 3$ min.

Temperatura de medición ($40 \pm 0.1^\circ\text{C}$).

Volumen de la muestra 17 ml.

Número de replicas 2.

Niveles de variación: En el cuadro 3.1, se resumen los niveles de variación del PGPR planteados para este objetivo.

Actividad 3, 4 y 5.

El desarrollo de las actividades 3, 4 y 5, es el mismo que se planteó en el objetivo # 1 del desarrollo experimental.

Objetivo particular 3. Determinar la concentración de lecitina de soya y PGPR más adecuada para la reducción de los parámetros de Casson en chocolates para moldeo y coberturas para recubrimiento.

Justificación. Desde el punto de vista tecnológico se puede decir que la importancia de la viscosidad de Casson y el esfuerzo de fluencia para bañar o moldear chocolates no es la misma, ya que se presentan dos exigencias diferentes para ambos procesos, debido a que si en el moldeo es importante tener un bajo esfuerzo de fluencia (9.1 Pa) que permita la expulsión de las burbujas de aire de los moldes y una viscosidad entre (2.36-6.41 Pa.s), para el recubrimiento de pasteles la tendencia es la de formar capas muy delgadas durante el proceso, para lo cual es indispensable tener esfuerzos de fluencia muy bajos que permitan un buen escurrimiento de la cobertura en las piezas bañadas, aunque la viscosidad de Casson se mantenga en el límite superior especificado para estos productos [2.5 Pa] (19, 32).

Es importante señalar que los niveles de variación de la concentración de lecitina de soya y PGPR en la mezcla de emulsificantes, se determinaron con base a los resultados obtenidos en los objetivos 1 y 2.

Actividad 1.

- (a) Preparación de las muestras de chocolate claro, oscuro y cobertura de recubrimientos, con diferentes concentraciones de lecitina de soya y PGPR en mezcla.
- (b) Preparación de muestras de chocolate claro con diferentes concentraciones de manteca de cacao extra en la formulación.

Descripción de la actividad: (a) Se variarán los porcentajes de lecitina de soya y PGPR en mezcla, a las coberturas de chocolate claro, oscuro y para recubrimientos para determinar la concentración más adecuada para reducir los parámetros de Casson en cada una de ellas.

(b) Se aumentara el porcentaje de manteca de cacao en la formulación del chocolate claro, para determinar su efecto en la reducción de los parámetros de Casson, comparado con el uso de emulsificantes.

Actividad 2.

Obtención del esfuerzo de cizalla y la viscosidad aparente (en función de la velocidad de cizalla) de las muestras de chocolate claro, oscuro y cobertura de recubrimientos, con diferentes concentraciones de lecitina, PGPR y manteca de cacao extra.

Variables involucradas.

Variable dependiente:

Esfuerzo de cizalla $\sigma = f(\text{Torque})$.

Viscosidad aparente η_{ap} .

Variables independientes:

Concentración de la mezcla lecitina -PGPR, en las coberturas de chocolate.

Concentración de manteca de cacao extra en el chocolate claro

Se mantienen las mismas condiciones que en los experimentos anteriores, a excepción de la temperatura de medición de la cobertura de recubrimientos ($45 \pm 0.1^\circ\text{C}$).

Los niveles de variación de la mezcla de emulsificantes y manteca de cacao extra para este experimento, se presentan en la tabla 3.1.

Actividad 2.b.

Medición de la viscosidad aparente de las muestras de chocolate claro, oscuro y de la cobertura para recubrimientos, tal y como se indica en el punto 3.2.8 de la descripción metodológica.

Actividad 3, 4 y 5.

El desarrollo de las actividades 3, 4 y 5 es el mismo que se planteó en los objetivos # 1 y 2 del desarrollo experimental.

Objetivo	Cobertura.	% Grasa total.	% Lecitina soya.	% PGPR.	% Manteca Cacao extra.
1	Oscura	25	0.0,0.2,0.4,0.5,0.7	0.0	0.0
2	Oscura	25	0.0	0.0,0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5	0.0
3	Oscura	25	0.0 0.1 0.3 0.5	0.0 0.3 0.3 0.3	0.0
3	Clara	27	0.0 0.2 0.4 0.5	0.0 0.3 0.3 0.3	0.0
3	Clara	27	0.0 0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0 0.0	0.0 5.0 7.0 9.0
3	Pastel	35	0.0 0.5 0.1 0.3 0.4 0.5	0.0 0.0 0.3 0.3 0.3 0.3	0.0

Cuadro 3.1. Resumen de los niveles de variación de concentración de emulsificantes y manteca de cacao en las coberturas planteadas en la fase experimental.

III.2 Descripción metodológica.

3.2.1 Equipos.

a) Elaboración de las muestras de chocolate:

- Báscula digital para el peso de los ingredientes, con precisión de 0.1 g.
- Balanza analítica para el peso de los emulsificantes.
- Batidora Hobart con agitador de globo de tres velocidades, con capacidad de 3 kg.
- Refinadora de 5 rodillos HB 2500 de la marca Carle & Montanari.
- Secadora eléctrica de cabello con regulación de temperatura del aire.
- Estufa de secado por convección forzada de aire, marca OHAUS.
- Micrómetro de caras lisas de la marca Mitutoyo con precisión de 0.1 micras.

b) Caracterización reológica:

- Viscosímetro de rotación Physica Rheolab MC 1.
- Geometría de medición Z3 DIN, ($R_o = 13.56$ mm, $R_i = 12.5$ mm y $h = 37.5$ mm).
- Baño termostático Brookfield para el control de temperaturas.
- Estufa de secado con control termostático de temperatura.
- Termómetro de varilla de vidrio y bulbo con mercurio de -10 a 130°C.
- Programa comercial para el análisis de los datos, Physica RS 100 / RS 120.
- Programa comercial para la visualización de los gráficos, Physica US- 200.

3.2.2 Materiales.

Las coberturas de chocolate utilizadas en el desarrollo experimental, son las formulaciones estándar de Cocos y Chocolates la Corona para un chocolate claro, oscuro y para el recubrimiento de pasteles. Las principales variaciones hechas a estas formulaciones son el empleo de emulsificantes y el contenido de grasa, que para un chocolate claro se redujo del **32 al 27%**, para un oscuro de **30 a 25%** y para la cobertura de recubrimientos se disminuyó de **42 a 35 %**. Los emulsificantes seleccionados que se emplearon en el desarrollo experimental fueron la lecitina de soya de la marca Palsgaard México y el polirricinoleato de poliglicerol (PGPR 4125) de la marca Palsgaard México.

3.2.3 Elaboración de las coberturas de chocolate.

Para la elaboración de las muestras se tomó como base la cantidad de 2.0 kg de producto que es lo mínimo que puede usarse en el equipo de refinación. En el diagrama de la **figura 3.2** se resumen las actividades realizadas para la elaboración de las coberturas de chocolate planteadas en la fase experimental:

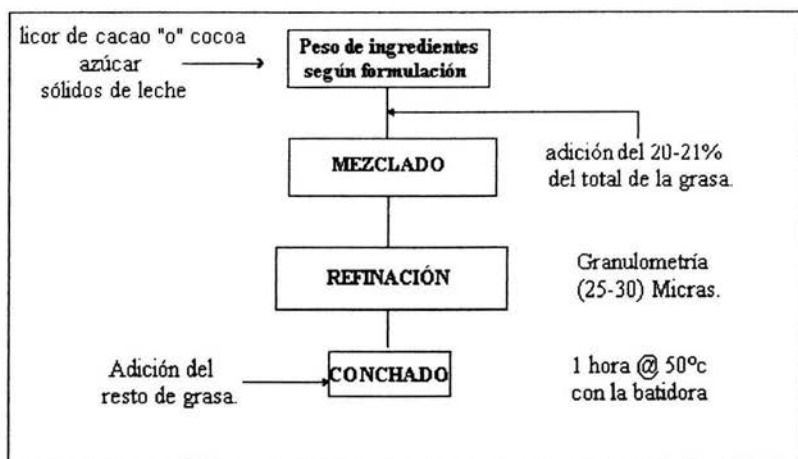


Figura 3.2 Diagrama para la elaboración de las coberturas de chocolate.

El tiempo total de mezclado se tomó cuando los ingredientes estaban totalmente incorporados en la masa, lo cual pudo apreciarse cuando ésta pudo despegarse totalmente del vaso de la batidora (10-12 min.). Para esta operación se utilizó únicamente el 21 % del total de la grasa con el fin de dar una consistencia plástica a la masa antes de ser refinada. Durante la refinación se fijaron las condiciones para obtener una granulometría uniforme entre 25-30 micras de la pasta, el conchado se realizó en la batidora agregando el resto del total de la grasa sin emulsificantes aplicando una corriente de aire caliente forzada a 50°C durante 1 hora, para la eliminación de acidez y astringencia del chocolate. Finalmente las muestras se envasaron en recipientes de plástico de 1 kg.

3.2.4 Especificaciones Físico-Químicas de las coberturas de chocolate.

Durante la elaboración de las muestras, se cuidó que tuvieran las especificaciones de calidad para las coberturas de chocolate mencionadas en el punto 3.2, exceptuando el contenido graso que como ya se explicó anteriormente fue reducido para evaluar el efecto de los emulsificantes. En el cuadro 3.2 se presentan las especificaciones de calidad de la formulación estándar de las muestras empleadas en la fase experimental.

Cobertura.	% Humedad	% Grasa (+/- 0.5 %)	Granulometría (Micras)	η^* Brookfield @ 40°C (Pa.s)
Clara.	0.3-0.5	32.0	25-29	55-65
Oscura.	0.3-0.5	30.0	25-30	60-70
Para pastel.	0.3-0.5	42.0	28-32	8-13

* Modelo RVT huso # 6, 5 rpm.

Cuadro 3.2. Especificaciones Físico-Químicas de la formulación estándar de las coberturas de chocolate (35).

3.2.5 Métodos.

Los métodos y técnicas utilizados para la caracterización reológica y determinación de las especificaciones físico-químicas de las coberturas de chocolate fueron los siguientes:

- Determinación de humedad por secado en estufa, AOAC.
- Determinación de granulometría con micrómetro, método AOAC.
- Contenido de materia grasa mediante la técnica de Soxhlet, AOAC.
- Caracterización reológica por el método de la OICC adaptado al viscosímetro Physica MC1.

Para el control de las especificaciones de calidad de las muestras, se analizaron por triplicado el contenido de humedad, la granulometría y el porcentaje de grasa. El análisis de humedad se hizo por diferencia de peso en una estufa de secado por convección forzada de aire a una temperatura de 100°C.

En el caso de la granulometría la muestra se preparó en relación 1:1 con aceite de vaselina, evaluándola micrométricamente para determinar el tamaño probable de las partículas con el micrómetro y por barrido a lo largo de una barra metálica con una pendiente de fondo plano y una profundidad que va de 0-105 micras para observar la distribución de tamaño de las partículas y el rango de granulometría donde se encuentra la mayor cantidad de las mismas (40). El contenido de grasa se determinó mediante la técnica de Soxhlet por digestión ácida con el fin de separar las grasas y determinar el porcentaje por diferencia de peso (41).

3.2.6 Preparación de las muestras.

La preparación de las muestras se hizo conforme al procedimiento de la OICC tomando aproximadamente 100 g de chocolate fragmentado en trozos pequeños, fundiéndolo en un vaso de precipitado de 250 ml colocándolo en un baño de agua a 55°C, agitando suavemente con una espátula hasta que desaparecieron todos los grumos de chocolate. Posteriormente se pesaron 40 g de la muestra fundida en un vaso de precipitado de 100 ml con la cantidad de emulsificantes especificada para cada caso en una balanza analítica y se homogenizó manualmente agitando con la espátula, golpeando cuidadosamente el vaso de forma ascendente y descendente contra la mesa de trabajo para expulsar las burbujas de aire atrapadas y no incorporarlo en la misma. Hecho lo anterior y con la muestra enfriada a 43°C se vació en el cilindro exterior del viscosímetro y una vez que alcanzó la temperatura de $40 \pm 0.1^\circ\text{C}$ en la muestra se procedió al análisis de la misma. Cabe señalar que con el fin de evitar recalentamientos entre cada determinación, el resto de la muestra se mantuvo en recipientes cerrados dentro de una estufa a una temperatura de 43°C.

3.2.7 Caracterización reológica.

La caracterización reológica de las coberturas de chocolate se hizo de acuerdo al método de la OICC adaptado a un viscosímetro de cilindros concéntricos con una relación de radios mayor a 0.9 (0.9218), por lo que no fue necesario emplear la corrección de Steiner ya que los errores en el cálculo de la velocidad de cizalla con una separación entre cilindros tan estrecha son despreciables (34). De esta forma, se trabajó directamente con el modelo de Casson.

Los parámetros del modelo de Casson se calcularon haciendo uso del programa comercial de computo del equipo. Por cada muestra se hicieron dos réplicas y se sacó el promedio de los parámetros de Casson de las curvas de ascenso y de descenso para obtener la viscosidad plástica y el esfuerzo de fluencia de cada muestra.

Para el análisis y la caracterización reológica de las muestras, se utilizó un viscosímetro rotacional dotado del programa comercial de computo Physica RS 100, con el cual se fijaron tres intervalos de medición. El primero fue un precizamiento de tres minutos de la muestra a una velocidad de 17 (1/s) para estar en equilibrio con respecto a la dependencia del tiempo, debido a que el chocolate después de estar en reposo, presenta tixotropía la cual desaparece con cierto tiempo de cizallamiento a determinada velocidad (19). El segundo se hizo ascendiendo la velocidad de cizallamiento de 1-35 (1/s) con 20 puntos en distribución lineal y el tercero descendiendo la misma. El volumen de la muestra durante las determinaciones fue siempre de 17 ml fijado por la marca de aforo del cilindro exterior. La expulsión del aire atrapado en éste durante el vaciado de la muestra, se hizo golpeándolo suavemente contra un lienzo cuidando de no dañarlo. El control de la temperatura se realizó por medio de un baño termostático alrededor del cilindro exterior manteniendo la temperatura del baño entre 40.5-40.8°C dependiendo de la viscosidad de la muestra para conservarla en $40 \pm 0.1^\circ\text{C}$ medidos directamente sobre el producto con un termómetro de mercurio. Para la visualización de los gráficos se utilizó el programa de computo US-200.

3.2.8 Determinación de la viscosidad aparente.

La determinación de la viscosidad aparente de las muestras, especificada para cada producto en Cocos y Chocolates La Corona, se realizó empleando el procedimiento establecido en esta empresa sobre una muestra de 1 kg La muestra se calentó en un vaso de precipitado de 1000 ml a una temperatura de 45°C y posteriormente se enfrió gradualmente agitando con una espátula. Una vez que la muestra se enfrió a 40°C, la viscosidad aparente se determinó con un viscosímetro Brookfield modelo RVT con el huso # 6 a una velocidad de cizallamiento de 5 rpm. La lectura de la viscosidad se tomó una vez que la aguja del viscosímetro se estabilizó.

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Influencia de la lecitina de soya y el PGPR sobre los parámetros de Casson en el chocolate oscuro.

4.1.1 Determinación de la precisión de las mediciones.

En lo que respecta a las muestras de chocolate oscuro con lecitina, los coeficientes de variación de las mediciones del esfuerzo de cizalla fueron menores al 4.0 % en todos los casos (ver apéndice “B”), por lo que se puede decir que hubo precisión en los datos de todas las muestras. Por otra parte, se puede apreciar que los coeficientes más altos se presentaron a velocidades de cizallamiento bajas, y los menores a las más altas.

Las muestras de chocolate oscuro con PGPR, también tuvieron precisión en las mediciones del esfuerzo de cizalla, debido a que los coeficientes de variación fueron menores al 10 % en todas las muestras (apéndice “B”). Es importante mencionar que los coeficientes de variación más bajos se obtuvieron en las muestras con 0.3-0.5 % de PGPR a las velocidades más altas de cizallamiento. Por el contrario, los coeficientes de variación más altos se presentaron en las muestras con menor porcentaje de PGPR (0.1-0.2 %), a las velocidades más bajas de cizallamiento.

Es necesario aclarar que con el fin de tener una mejor apreciación de los gráficos, en este capítulo se presentarán las curvas de flujo promedio de la viscosidad aparente y el esfuerzo de cizalla, debido a que las mediciones de este parámetro fueron precisas en cada velocidad de cizallamiento para las réplicas de todas las muestra (ver el apéndice “B”).

En la figura 4.1, se presentan las curvas de flujo de la cobertura de chocolate oscuro con diferentes concentraciones de lecitina de soya planteadas en la fase experimental, en las cuales podemos observar que la viscosidad aparente tiende a disminuir notablemente conforme se incrementa la concentración de lecitina en la muestra.

Después de una concentración del 0.5 % de lecitina, no hay disminución de la viscosidad aparente del chocolate, de tal manera que las curvas de flujo tienden a juntarse en una misma línea. La muestra del 0.5% de lecitina de soya es el punto crítico de la concentración, pues después de ésta no se aprecia un cambio en la viscosidad aparente.

En cuanto al esfuerzo de cizallamiento parece suceder algo muy similar que con la viscosidad aparente, éste tiende a disminuir conforme se incrementa la concentración de lecitina en el chocolate, pero a diferencia de las muestras, con el 0.5 y 0.7 % de emulsificante se requiere de un esfuerzo de cizallamiento muy similar para comenzar el flujo.

Por otra parte, conforme se incrementa la velocidad de cizallamiento observamos que las curvas de flujo comienzan a separarse quedando por debajo la muestra del 0.7 % de lecitina de soya.

En lo que respecta a la viscosidad aparente, podemos apreciar que el efecto del PGPR (figura 4.2) no es muy importante hasta una concentración del 0.2 % ya que las curvas de flujo todavía se encuentran muy juntas unas de otras y no es hasta una concentración del 0.3 % cuando se observa una disminución importante de la misma. Sin embargo después de esta concentración apreciamos que la viscosidad prácticamente no disminuye pues las curvas del 0.4 y 0.5 % de concentración tienden a cerrarse en una sola línea en donde incluso algunos de los puntos coinciden unos con otros.

Por lo que se refiere al esfuerzo de cizallamiento podemos observar que a excepción de la concentración del 0.1 % del emulsificante, el PGPR actúa de una forma más notoria sobre éste que sobre la viscosidad aparente, debido a que conforme se incrementa la concentración de emulsificante en la muestra, el esfuerzo de cizallamiento se reduce drásticamente hasta una concentración del 0.5 %, en donde vemos que el esfuerzo de cizallamiento tiende a desaparecer.

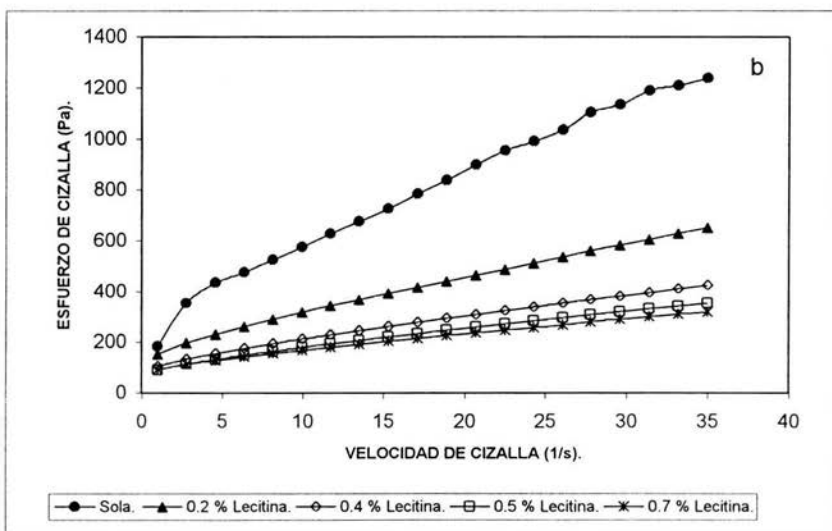
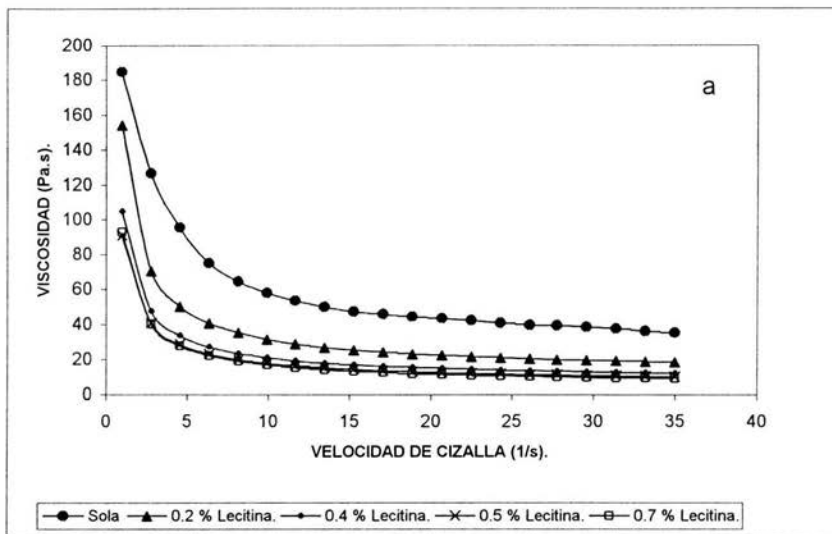


Figura 4.1 (a) Influencia de la lecitina de soja sobre la viscosidad aparente en el chocolate oscuro. (b) Influencia de la lecitina de soja sobre el esfuerzo de cizalla en el chocolate oscuro.

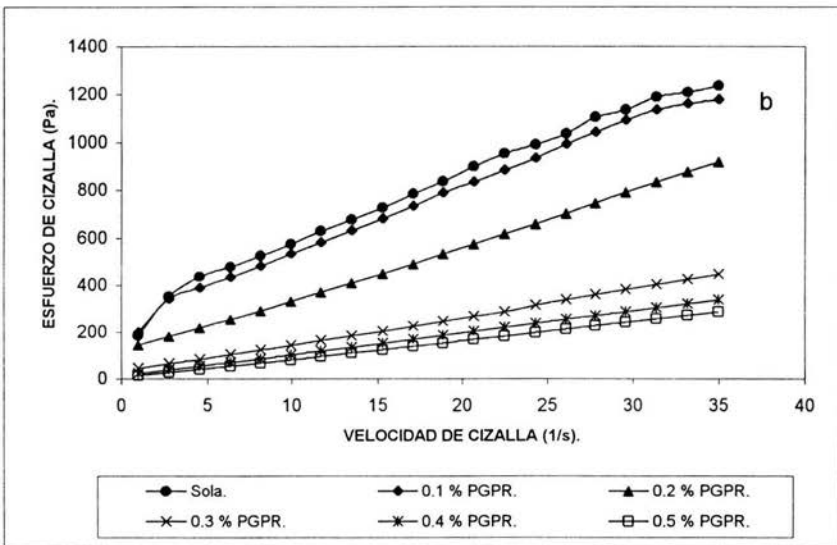
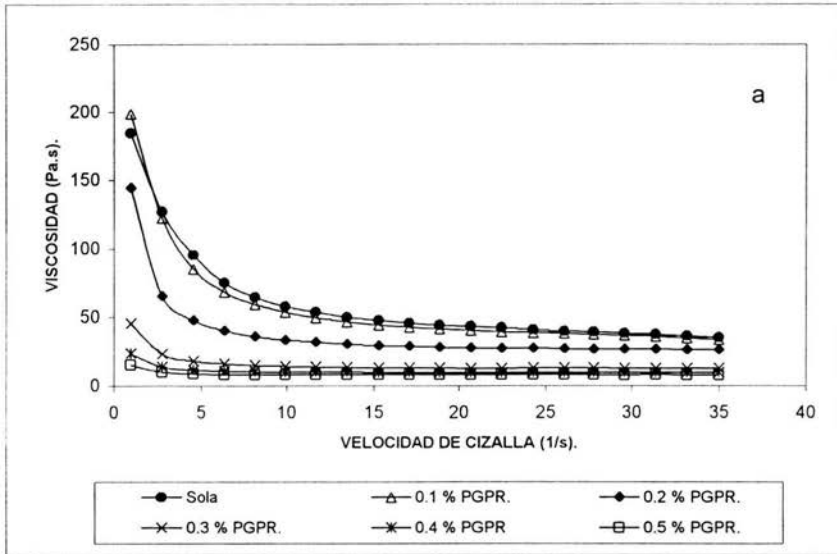


Figura 4.2 (a) Influência do PGPR sobre a viscosidade aparente em chocolate escuro.
 (b) Influência do PGPR sobre o esforço de cisalhamento em chocolate escuro.

Prueba de linealidad.

De acuerdo a los resultados del cuadro 4.1, se acepta la linealidad del ajuste de datos de velocidad y esfuerzo de cizalla del chocolate oscuro con lecitina y PGPR al modelo de Casson. Es importante señalar que los coeficientes de determinación obtenidos, son mayores a los reportados experimentalmente en reogramas de cinco puntos, Chevalley (1975).

Muestra	r^2
Cobertura oscura con 0.2 % de Lecitina.	0.999
Cobertura oscura con 0.4 % de Lecitina.	1.0
Cobertura oscura con 0.5 % de Lecitina.	1.0
Cobertura oscura con 0.7 % de Lecitina.	0.999
Cobertura oscura con 0.1 % de PGPR.	0.995
Cobertura oscura con 0.2 % de PGPR.	0.996
Cobertura oscura con 0.3 % de PGPR.	0.998
Cobertura oscura con 0.4 % de PGPR.	1.0
Cobertura oscura con 0.5 % de PGPR.	1.0

Cuadro 4.1 Coeficientes de determinación del ajuste de datos de velocidad y esfuerzo de cizalla al modelo de Casson, en el chocolate oscuro con lecitina y PGPR.

% Emulsificante		Lecitina		PGPR		
		σ_0 (Pa)	η_{pl} (Pa.s)	σ_0 (Pa)	η_{ca} (Pa.s)	η_N (Pa.s)
0.0	Prom.	125.99	16.98	125.99	16.98	-
	c.v	19.23	6.01			
0.1	Prom.	-	-	108.32	16.80	-
	c.v			5.98	1.90	-
0.2	Prom.	85.87	7.44	29.68	16.22	-
	c.v	3.12	1.69	4.55	1.68	-
0.3	Prom.	-	-	3.41	10.53	-
	c.v			3.72	1.53	-
0.4	Prom.	60.73	4.64	0.68	8.80	-
	c.v	1.57	1.31	2.58	1.21	-
0.5	Prom.	54.09	3.70	-	-	8.22
	c.v	0.8	1.27	-	-	1.07
0.7	Prom.	57.99	2.94	-	-	-
	c.v	1.43	1.02			

Prom. = promedio, c.v = coeficiente de variación.

Cuadro 4.1.1 Efecto de la lecitina y PGPR en los parámetros de Casson del chocolate oscuro.

En el cuadro 4.1.1, observamos los resultados de la influencia de la lecitina de soya y el PGPR sobre los parámetros de Casson en la cobertura de chocolate oscuro. En el caso de la viscosidad de Casson podemos observar que la lecitina de soya reduce significativamente el valor de este parámetro conforme se incrementa la concentración del emulsificante en la muestra, por lo cual podemos apreciar que la mayor reducción de la viscosidad se presentó en la muestra con el 0.7 % de lecitina sin embargo, es necesario señalar que el poder de reducción de la viscosidad del emulsificante es de 2.28 veces con 0.2 % y 3.65 veces con el 0.4 % con respecto a la muestra sin lecitina y con 0.5 y 0.7 %, observamos que la reducción de éste parámetro es solamente de 1.25 y 1.57 veces con respecto a la concentración de 0.4 %, por lo que resulta inconveniente emplear una concentración mayor al 0.5 % de lecitina, pues además de resultar innecesaria una mayor reducción de la viscosidad se corre el riesgo de alterar sensorialmente el producto (19, 26). En el caso del PGPR, observamos que la reducción en la viscosidad de Casson no es muy importante ya que al comparar su efecto con las mismas concentraciones usadas de la lecitina, observamos que la reducción de ésta es de 1.04 veces con 0.2 % y 1.92 veces con 0.4 % con respecto a la muestra sin PGPR. Por otra parte, con la concentración de 0.3 % de PGPR se presenta una reducción importante de la viscosidad plástica (1.61 veces respecto a la muestra sin PGPR) sin embargo, antes de esta concentración la reducción de éste parámetro es prácticamente nula y con el 0.4 % del emulsificante en la muestra, el poder de disminución se reduce a 1.19 veces con respecto a la muestra del 0.3 % por lo que resulta más conveniente emplearlo a esta concentración en la reducción de la viscosidad plástica.

De manera general en lo que respecta al esfuerzo de fluencia observamos en el cuadro de referencia que la lecitina de soya tiende a reducir el valor de este parámetro conforme se incrementa la concentración del emulsificante en la muestra hasta un 0.5 %. Después de esta concentración apreciamos que el esfuerzo de fluencia comienza a incrementarse y el poder de reducción del parámetro va decreciendo conforme la concentración de lecitina en la muestra se aproxima al 0.5 %.

Así con la muestra de 0.2 % se presenta una reducción del esfuerzo de fluencia de 1.46 veces con respecto a la muestra sin emulsificante, con 0.4 % de lecitina la reducción es de 1.41 veces respecto a la muestra de 0.2 % y con 0.5 % la reducción es únicamente de 1.12 veces con respecto a la concentración de 0.4 %. Con 0.7 % de lecitina, se presentó un incremento del esfuerzo de fluencia con relación a la muestra del 0.5 %.

En lo que respecta al PGPR, observamos que su uso es más específico en la reducción del esfuerzo de fluencia que el de la lecitina de soya si comparamos los resultados de ambas muestras con la misma concentración de emulsificante. Así con una concentración de 0.2 % de emulsificante en las muestras, apreciamos que la disminución del esfuerzo de fluencia con el PGPR es de 4.2 veces con relación a la muestra sin emulsificantes, mientras que con la lecitina de soya es de 1.4 veces. Con el 0.4 % de emulsificante, la reducción del esfuerzo de fluencia es de 185 veces con el PGPR por sólo 2 veces de la lecitina de soya. Por último con un 0.5 % de emulsificante, la muestra con lecitina de soya se mantiene en el mismo nivel de reducción, mientras que en la muestra con PGPR el esfuerzo de fluencia desaparece y se obtiene un comportamiento de tipo newtoniano.

En el caso de las medidas de dispersión podemos observar que los coeficientes de variación más elevados se presentaron en la cobertura de chocolate sin emulsificantes, debido a la menor fluidez de la muestra originando que el control de la temperatura de ésta no fuera uniforme y que existiera una mayor fluctuación de los datos en las determinaciones. Por el contrario, la menor variación de los resultados se presentó en las muestras con emulsificantes debido a que la mayor fluidez de éstas permitió que la temperatura de las muestras fuera más uniforme.

4.2 Determinación de la concentración de lecitina de soya y PGPR más adecuada para reducir los parámetros de Casson en el chocolate oscuro.

4.2.1 Precisión de las mediciones.

Únicamente en la muestra sin emulsificantes se presentó el 10 % de las mediciones del esfuerzo de cizalla con un coeficiente de variación mayor al 10 %. El resto de las muestras con emulsificante presentaron precisión en todas las mediciones del esfuerzo de cizalla, debido a que los coeficientes de variación no rebasaron el 5.1 % (ver apéndice “B”).

Los coeficientes de variación más bajos se obtuvieron con la concentración de 0.3 % de PGPR con 0.5 % de lecitina a las velocidades más altas de cizallamiento, y los mayores se presentaron en la muestra del 0.3 % de PGPR con 0.5 % de lecitina a las velocidades más bajas de cizalla.

En la figura 4.3 se presentan las curvas de flujo de la cobertura de chocolate oscuro con diferentes concentraciones de emulsificantes planteadas en la fase experimental. Entre los principales resultados del análisis de las curvas de flujo podemos mencionar que la concentración de lecitina en la mezcla de emulsificantes tiene un efecto inverso en la reducción del esfuerzo de cizalla en las muestras, así la curva de flujo con 0.1 % de lecitina presenta la mayor pendiente a pesar de comenzar el flujo con el menor esfuerzo de cizalla, con el 0.3 % de lecitina la curva de flujo parte con un esfuerzo de cizalla menor que con el 0.5 %, pero su pendiente es mayor conforme se incrementa la velocidad de cizallamiento.

En el caso de la viscosidad aparente, en general podemos mencionar que después de una velocidad de cizallamiento de 10 (1/s) el comportamiento de las curvas de flujo tiene una tendencia lineal y a excepción de la muestra con el 0.1 % de lecitina de soya con 0.3 % de PGPR que queda por encima de las demás, el resto de las curvas tiende a cerrarse en una sola línea de viscosidad independientemente de que la muestra con el 0.5 % de lecitina parta de una mayor viscosidad al iniciar el flujo.

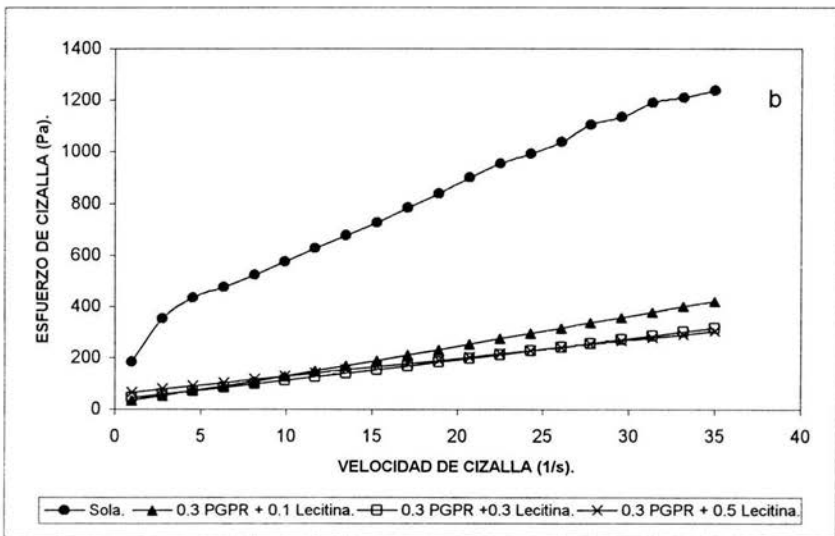
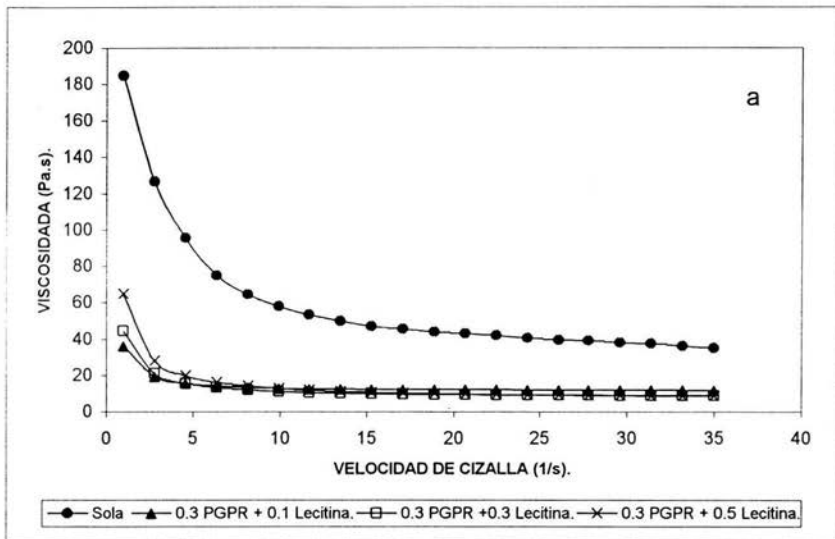


Figura 4.3 (a) Efecto de la mezcla de emulsificantes en la reducción de la viscosidad aparente del chocolate oscuro. (b) Efecto de la mezcla de emulsificantes en la reducción del esfuerzo de cizalla.

Prueba de linealidad.

De acuerdo a los datos de la tabla 4.2, se acepta la linealidad del ajuste de los datos de velocidad y esfuerzo de cizalla del chocolate oscuro con la mezcla de emulsificantes, debido a que se obtuvo una correlación mínima de 0.998, representativa de una línea recta para muestras de chocolate.

Muestra	r^2
Cobertura oscura sin emulsificantes.	0.998
Cobertura oscura con 0.3 % de PGPR + 0.1 % de Lecitina.	0.999
Cobertura oscura con 0.3 % de PGPR + 0.3 % de Lecitina.	0.998
Cobertura oscura con 0.3 % de PGPR + 0.5 % de Lecitina.	0.998

Cuadro 4.2 Coeficientes de determinación del ajuste de datos de velocidad y esfuerzo de cizalla al modelo de Casson, en el chocolate oscuro con mezcla de emulsificantes.

Emulsificante % Lecitina	% PGPR		σ_0 (Pa)	η_{ca} (Pa.s)	η^* Brookfield 40°C (Pa.s)
0.0	0.0	Prom. c.v	125.49 19.23	16.98 6.01	-
0.1	0.3	Prom. c.v	1.91 5.82	10.39 2.97	92.5
0.3	0.3	Prom. c.v	8.88 4.87	6.09 1.59	62.5
0.5	0.3	Prom. c.v	25.05 4.66	4.24 1.08	73.0

* Modelo RVT, huso # 6, 5 rpm./ Prom. = promedio, c.v = coeficiente de variación.

Cuadro 4.2.1 Reducción de los parámetros de Casson en chocolate oscuro, por la adición de lecitina y PGPR en mezcla.

En el cuadro 4.2.1 se presentan los resultados de la reducción de los parámetros de Casson con la aplicación de la mezcla de emulsificantes en la cobertura de chocolate oscuro, en donde podemos apreciar que el efecto de reducción se presenta de manera importante, aun en la mezcla de emulsificantes con la concentración más baja de lecitina.

Así en lo que respecta al esfuerzo de fluencia, se puede observar que con el 0.3 % de PGPR y 0.1 % de lecitina de soya se alcanzó el mayor efecto de reducción de este parámetro pues se obtuvo una disminución de 65.70 veces con respecto a la muestra sin emulsificantes sin embargo, el resultado de este parámetro se encuentra dentro del rango correspondiente a una cobertura de recubrimientos y no para un chocolate de moldeo, en donde generalmente se requiere de esfuerzos de fluencia de 9.1-23.2 Pa, aunque el valor de la viscosidad de Casson se encuentre en el límite superior del rango de 2.36-6.41 Pa.s. En el caso de la viscosidad de Casson apreciamos que la mayor reducción de ésta se logró con el 0.3 % de PGPR y 0.5 % de lecitina de soya sin embargo, con ésta concentración se incrementó notablemente el esfuerzo de fluencia lo cual es inapropiado para una línea de moldeo de chocolates, por lo que se considera que la mezcla de 0.3 % PGPR con 0.3 % lecitina presenta el mayor sinergismo en la reducción de los parámetros de Casson en la cobertura de chocolate oscuro pues además de presentar una viscosidad apropiada para el moldeo, el esfuerzo de fluencia se encuentra en el límite inferior indicado para esta operación (9.1 Pa) lo que facilita la expulsión del aire en los moldes y la formación de piezas durante el moldeo.

En lo que respecta a la determinación de las viscosidades puntuales con el viscosímetro Brookfield, podemos apreciar que la muestra de 0.3 % de PGPR con 0.3 % de lecitina es la que mejor se ajustó a la especificación de la viscosidad aparente del chocolate oscuro (60-70 Pa.s) pues las otras dos muestras rebasaron el límite superior determinado para esta cobertura de chocolate. En el caso de la dispersión de los resultados nuevamente podemos apreciar que es en la muestra sin emulsificantes en donde se presenta la mayor variación de los resultados, por las razones mencionadas con anterioridad.

4.3 Determinación de la concentración de lecitina de soya y PGPR más adecuada para reducir los parámetros de Casson en el chocolate claro.

4.3.1 Precisión de las mediciones.

En lo que respecta a las muestras de chocolate claro con diferentes concentraciones de lecitina y PGPR en mezcla, los coeficientes de variación de las mediciones del esfuerzo de cizalla fueron menores al 7.5 % en todos los casos (ver apéndice “B”), por lo cual podemos decir que hubo precisión en los datos de todas las muestras.

La muestra de 0.3 % de PGPR con 0.4 % de lecitina, presentó el 95 % de las mediciones con un coeficiente de variación menor al 2.85 %. Por el contrario, la muestra de 0.3 % de PGPR con 0.2 % de lecitina presentó el 50 % de las mediciones con un coeficiente de variación mayor a 5.0 %, sin embargo éste fue menor a 7.5 %.

En la figura 4.4 podemos observar las curvas de flujo de la cobertura de chocolate claro con diferentes concentraciones de lecitina de soya y PGPR planteadas en la fase experimental. De manera general podemos decir que comparado a la muestra sin emulsificantes, se aprecia una gran reducción de la viscosidad aparente y del esfuerzo de cizalla con el uso de la mezcla de emulsificantes. En cuanto a la tendencia de las viscosidades podemos decir que al igual que en la cobertura de chocolate oscuro, estas disminuyen a medida que aumenta la concentración de lecitina en la mezcla de emulsificantes, aunque en realidad después del 0.2 % de concentración de lecitina de soya las curvas de viscosidad tienden a juntarse en una sola línea por debajo de la curva con la mezcla de 0.2 % lecitina con 0.3 % PGPR compartiendo incluso algunos de los puntos. En lo que respecta a las curvas de flujo del esfuerzo de cizalla, en general podemos apreciar que éstas presentan un comportamiento lineal después de la aplicación de la mezcla de emulsificantes. El esfuerzo de cizallamiento más bajo obtenido a la menor velocidad de cizallamiento, se obtuvo con la muestra de 0.3 % de PGPR con 0.2 % de lecitina de soya, sin embargo con el incremento de ésta la curva de flujo del 0.3 % de PGPR con 0.4 % de lecitina presenta los esfuerzos de cizallamiento más bajos.

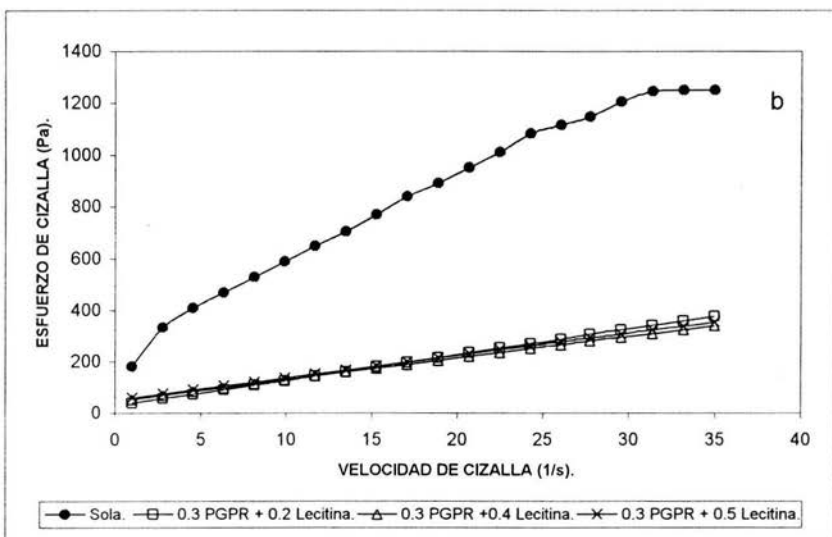
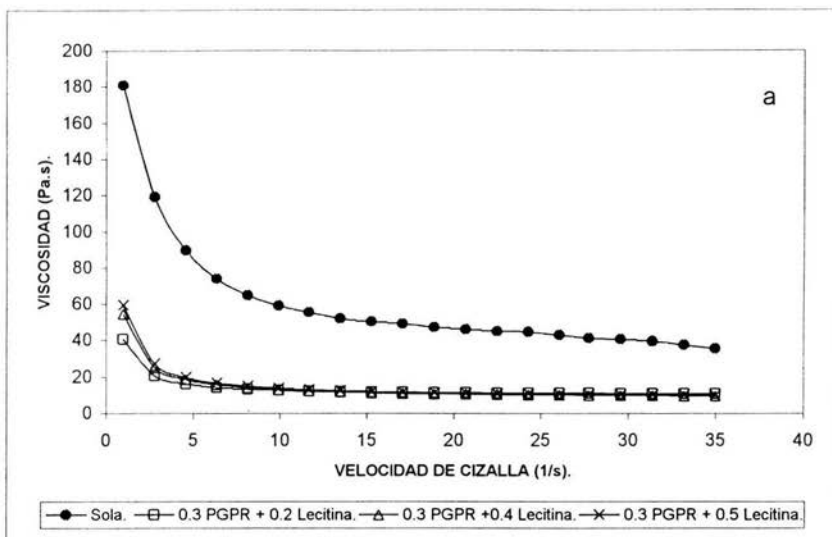


Figura 4.4 (a) Efecto de la mezcla de emulsificantes en la reducción de la viscosidad aparente del chocolate oscuro. (b) Efecto de la mezcla de emulsificantes en la reducción del esfuerzo de cizalla.

Prueba de linealidad.

Como se muestra en el cuadro 4.3, el ajuste de los datos de velocidad y esfuerzo de cizallamiento al modelo de Casson, presenten una correlación representativa de una línea recta, por lo que se acepta la linealidad de la raíz cuadrada de la velocidad de cizalla contra la raíz cuadrada de la velocidad de cizallamiento

Muestra	r^2
Cobertura clara sin emulsificantes	0.998
Cobertura clara con 0.3 % de PGPR + 0.2 % de lecitina	0.999
Cobertura clara con 0.3 % de PGPR + 0.4 % de lecitina	0.999
Cobertura clara con 0.3 % de PGPR + 0.5 % de lecitina	0.998

Cuadro 4.3 Coeficientes de determinación del ajuste de datos de velocidad y esfuerzo de cizalla al modelo de Casson, en el chocolate claro con mezcla de emulsificantes.

Emulsificante			σ_0 (Pa)	η_{ca} (Pa.s)	η^* Brookfield 40°C (Pa.s)
% Lecitina	% PGPR				
0.0	0.0	Prom. c.v	128.10 31.94	17.47 11.51	-
0.2	0.3	Prom. c.v	5.27 8.81	8.33 5.37	72.75
0.4	0.3	Prom. c.v	15.15 7.42	5.91 3.41	54.5
0.5	0.3	Prom. c.v	17.32 7.30	5.98 3.10	58.75

* Modelo RVT, huso # 6, 5 rpm./ Prom. = promedio, c.v = coeficiente de variación.

Cuadro 4.3.1 Reducción de los parámetros de Casson en chocolate claro, por la adición de lecitina y PGPR en mezcla.

En el cuadro 4.3.1, se presentan los resultados de la reducción de los parámetros de Casson en la cobertura de chocolate claro con la aplicación de la mezcla de lecitina de soya y PGPR. Como en los casos anteriores se observa que aún con las concentraciones más bajas de lecitina de soya en la mezcla de emulsificantes se logra una gran reducción de la viscosidad plástica de Casson y del esfuerzo de fluencia en comparación a la muestra sin emulsificantes.

Así, podemos apreciar que en la muestra con el 0.2 % de lecitina y 0.3 % de PGPR se obtuvo la mayor reducción del esfuerzo de fluencia (24.3 veces menor que en la muestra sin emulsificantes) y la menor viscosidad de Casson obtenida con la muestra de 0.4 % de lecitina en la mezcla de emulsificantes logró una reducción de 2.95 veces con respecto a la muestra de referencia sin embargo, por arriba de las concentraciones mencionadas el esfuerzo de fluencia se incrementa y la viscosidad de Casson se mantiene en el mismo nivel. Por otra parte, en lo que se refiere a las necesidades de fluidez de esta cobertura para el proceso de moldeo observamos que la muestra del 0.2 % de lecitina en la mezcla de emulsificantes presenta un esfuerzo de fluencia muy bajo, lo cual puede ocasionar un escurrimiento excesivo de chocolate y una deficiente formación de las piezas para contener el relleno, independientemente de que el valor de la viscosidad de Casson se mantenga relativamente alto. El caso contrario se muestra con la concentración de 0.5 % de lecitina en la mezcla de emulsificantes debido a que el producto presenta una viscosidad de Casson apropiada para el moldeo (2.36-6.41 Pa.s) sin embargo, el esfuerzo de fluencia obtenido es 1.14 veces mayor que el de la muestra con 0.4 % de lecitina y 2.87 veces mayor al de la muestra con 0.2 % de lecitina en la mezcla de emulsificantes. De esta manera, se determinó que el mayor efecto de reducción de los parámetros de Casson en el chocolate claro se logró con la muestra de 0.4 % de lecitina y 0.3 % de PGPR pues además de tener la viscosidad de Casson más baja, el esfuerzo de fluencia es el más apropiado para esta operación. En lo que respecta a la determinación de las viscosidades puntuales, podemos observar que la muestra seleccionada presenta una viscosidad aparente más baja que la de las otras dos muestras, ajustándose más a las necesidades de fluidez para el moldeo de este producto cayendo en el límite inferior especificado para el chocolate claro (55-65 Pa.s). En lo que respecta a la dispersión de los resultados, apreciamos que la mayor variación de nueva cuenta se da con la muestra sin emulsificantes.

4.4 Efecto del incremento de manteca de cacao en la reducción de los parámetros de Casson del chocolate claro, comparado con el uso de emulsificantes.

4.4.1 Precisión de las mediciones.

Todas las mediciones del esfuerzo de cizalla del chocolate claro con manteca de cacao extra fueron precisas, presentando el 98 % de los datos un coeficiente de variación menor al 5.0 % (ver apéndice “B”). Los coeficientes de variación más bajos, se presentaron en la muestra con el 9.0 % de manteca de cacao extra en la formulación.

En la figura 4.5, se presenta las curvas de flujo experimentales del chocolate claro, comparadas con la muestra de 0.3 % de PGPR con 0.4 % de lecitina. En lo que respecta a la viscosidad aparente, podemos apreciar que la curva del un 5 % de manteca de cacao presenta la menor reducción de está después de la muestra sin emulsificantes, ya que tiene la viscosidad más alta y la menor disminución con el incremento de la velocidad de cizalla. Por otra parte, observamos que el mejor resultado en la reducción de la viscosidad se obtuvo con la muestra del 9 % de manteca de cacao, pues a diferencia de la muestra anterior ésta presenta la menor viscosidad y la mayor reducción conforme se incrementa la velocidad de cizalla. En lo que respecta a la muestra con emulsificantes observamos que su curva de flujo cae por debajo de la muestra del 5 % de manteca de cacao y desciende tanto como la curva del 7 %, sin embargo su comportamiento es más regular debido a que después de una velocidad de cizalla de 15 (1/s) la viscosidad se estabiliza, a diferencia de la muestra del 7 % que todavía desciende ligeramente.

En lo que respecta al esfuerzo de cizallamiento podemos apreciar que la mayor reducción se presentó con la muestra de 9 % de manteca de cacao extra en la formulación del chocolate claro y la menor reducción se obtuvo con la muestra del 5 %. Por otro lado la curva de flujo de la muestra con emulsificantes presenta una pendiente menor que la curva del 5 % de manteca de cacao y mayor que la de la curva con el 7 % de manteca sin embargo, a la menor velocidad de cizallamiento ésta presenta un esfuerzo de cizalla tan bajo como el de la muestra con 9 % de manteca de cacao extra.

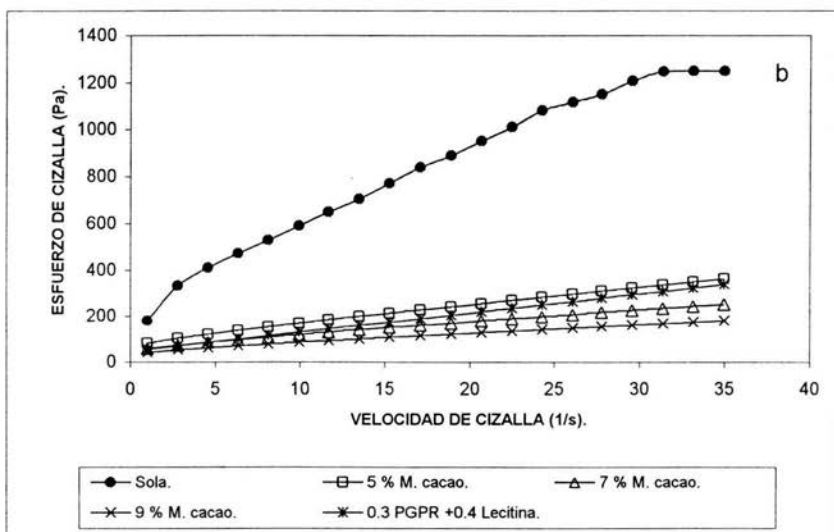
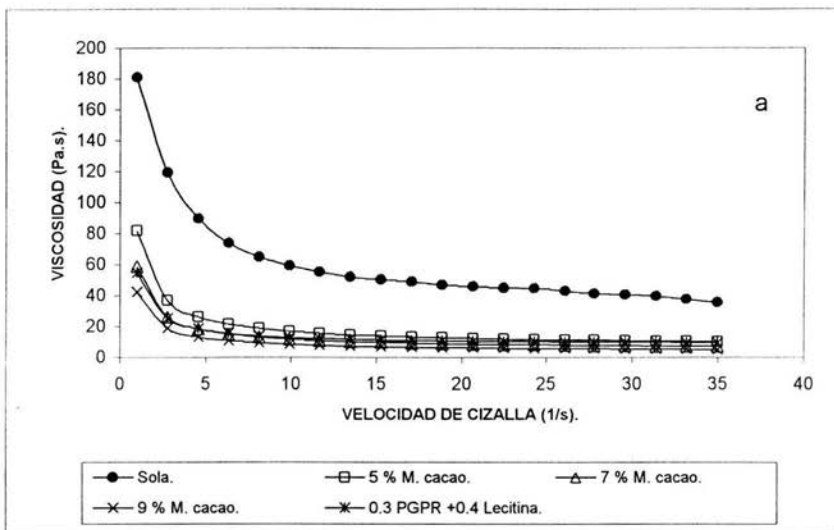


Figura 4.5 (a) Reducción de la viscosidad aparente por el incremento de manteca de cacao en el chocolate claro. (b) Reducción del esfuerzo de cizalla por el incremento de manteca de cacao.

Prueba de linealidad.

Como se aprecia en el cuadro 4.4, el ajuste de los datos de velocidad y esfuerzo de cizalla al modelo de Casson, presentan una correlación representativa de una línea recta, por lo que se acepta que hay una relación lineal entre la raíz cuadrada de la velocidad y el esfuerzo de cizallamiento.

Muestra	r^2
Chocolate claro con 5 % de manteca de cacao extra	0.999
Chocolate claro con 7 % de manteca de cacao extra	0.999
Chocolate claro con 9 % de manteca de cacao extra	0.999

Cuadro 4.4 Coeficientes de determinación del ajuste de datos de velocidad y esfuerzo de cizalla al modelo de Casson, del incremento de manteca en el chocolate claro.

Muestra		σ (Pa)	η_{ca} (Pa.s)
Sin emulsificantes, ni manteca de cacao extra.	Prom.	128.1	17.47
	c.v	31.94	11.51
5 % de manteca de cacao extra	Prom.	41.42	4.49
	c.v	5.85	4.73
7 % de manteca de cacao extra	Prom.	30.42	3.04
	c.v	2.95	1.93
9 % de manteca de cacao extra	Prom.	22.13	2.12
	c.v	1.75	0.70
0.4 % lecitina + 0.3% PGPR.	Prom.	15.15	5.91
	c.v	7.42	3.41

Prom. = promedio, c.v = coeficiente de variación.

Cuadro 4.4.1 Efecto del incremento de manteca de cacao en la reducción de los parámetros de Casson, comparado con el uso de emulsificantes en el chocolate claro.

En el cuadro 4.4.1, se presentan los resultados de la disminución de los parámetros de Casson por el incremento de la manteca de cacao en la formulación de la cobertura de chocolate claro en comparación del uso de emulsificantes, en donde se aprecia la constante de que los resultados con mayor desviación son los de las muestras sin emulsificantes por las razones ya mencionadas.

En lo que respecta al esfuerzo de fluencia, con la muestra del 5 % de manteca de cacao únicamente se logra reducir en tres veces el valor de este parámetro con respecto a la muestra sin emulsificantes lo que resulta insuficiente para una línea de moldeo pues como se vio anteriormente, se requiere de menores esfuerzos para poder tener un buen deslizamiento de la muestra, lo cual se puede conseguir con el uso de una gran cantidad de manteca de cacao como se aprecia en la muestra del 9 %, sin lograr el mismo efecto que con los emulsificantes, sin embargo esto resulta muy costoso si tomamos en cuenta los bajos niveles de dosificación de los emulsificantes y el alto costo de la manteca de cacao.

Según información de 1997 (36), el precio unitario de la manteca de cacao fue de \$ 25/ kg, del PGPR \$ 70/ kg y el de la lecitina de soya \$ 5/ kg, por lo que ajustar las propiedades de flujo de 1.0 ton del chocolate con manteca de cacao, resultaría un 900 % más costoso que con el uso de la mezcla de emulsificantes, debido a que se requiere de por lo menos un 9.0 % de ésta para el ajuste.

En lo que se refiere a las viscosidades de Casson, podemos apreciar que la manteca de cacao tiene un efecto más importante en la reducción de este parámetro que el de los emulsificantes, sin embargo se requiere de por lo menos un 5 % más para obtener un efecto comparable al de la mezcla de emulsificantes. Por otro lado podemos apreciar en las muestras del 7 y 9 % de manteca de cacao que la viscosidad de Casson cae en el límite inferior de las especificaciones establecidas para el moldeo del chocolate (2.36-6.41 Pa.s) lo cual, como ya se mencionó no es tan importante para el proceso pues para este fin es más necesario un esfuerzo de fluencia bajo que permita un buen deslizamiento del chocolate y la liberación de las burbujas de aire de los moldes para tener un buen acabado de las piezas por lo que podemos ver que el uso de emulsificantes resulta más eficiente que el empleo de grandes cantidades de manteca de cacao.

4.5 Determinación de la concentración de lecitina y PGPR más adecuada para reducir los parámetros de Casson en la cobertura de recubrimientos.

4.5.1 Precisión de las mediciones

En todas las muestras de la cobertura para recubrimientos hubo precisión de las mediciones del esfuerzo de cizalla, debido a que se presentó un coeficiente de variación menor al 7.5 % en todos los datos (ver apéndice “B”). Los coeficientes de variación más altos se registraron en la muestra sin emulsificantes, y en las velocidades de cizallamiento más bajas. Por el contrario, los coeficientes de variación más bajos se alcanzaron en las muestras con emulsificantes a las velocidades de cizallamiento más altas.

En la figura 4.6, apreciamos las curvas de flujo de la cobertura para recubrimientos con diferentes concentraciones de la mezcla de lecitina de soya y PGPR planteadas en la fase experimental, en las que se aprecia una gran reducción de la viscosidad y el esfuerzo de cizalla con la concentración del 0.5 % de lecitina respecto a la muestra de referencia. En lo que respecta a la viscosidad aparente, podemos observar que la muestra con el 0.5 % de lecitina sin PGPR, presenta la viscosidad más alta y la menor reducción de ésta con el incremento de la velocidad de cizallamiento, el resto de las muestras a excepción de la curva de 0.3 % de PGPR con 0.1 % de lecitina parece cerrarse en una sola línea de viscosidad. Por otro lado con la aplicación de la mezcla de emulsificantes en la cobertura para recubrimientos, parece ocurrir un hecho muy interesante pues independientemente de lo mencionado anteriormente, advertimos que después de una velocidad de 5 (1/s) la viscosidad permanece constante en las muestras, lo cual sugiere un comportamiento de tipo newtoniano. En lo que respecta al esfuerzo de cizallamiento, podemos apreciar que los valores más altos, después de la muestra sin emulsificantes, se obtuvieron con la concentración del 0.5 % de lecitina, y los más bajos en las muestras con la mezcla de emulsificantes. Conforme se incrementa la velocidad de cizallamiento, las curvas con la mezcla de emulsificantes comienzan a separarse quedando por debajo de las demás, las muestras del 0.4 y 0.5 % de lecitina con 0.3 % de PGPR.

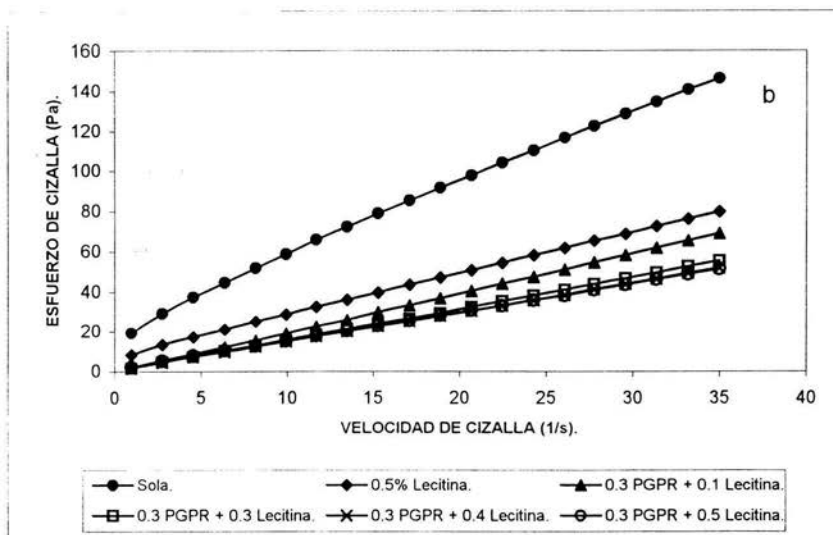
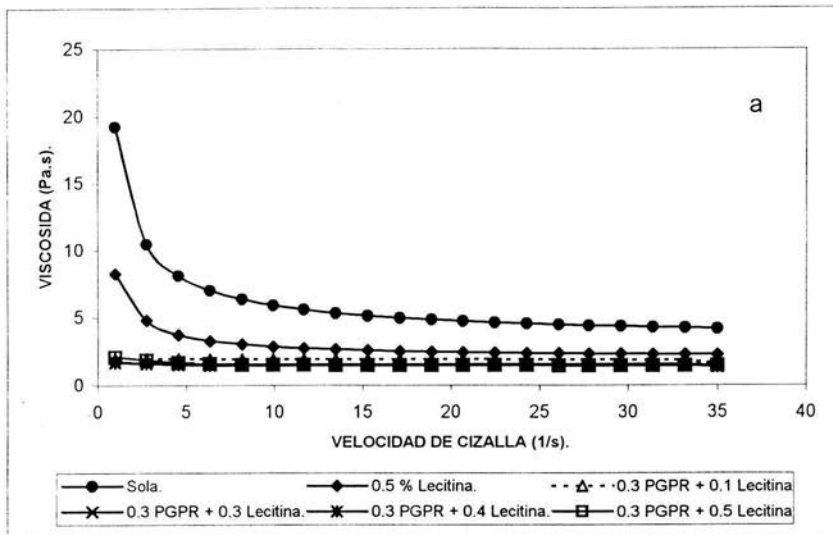


Figura 4.6 (a) Redução da viscosidade aparente por adição de emulsificantes na cobertura de recubrimentos. (b) Redução do esforço de cisalhamento por adição de emulsificantes.

Prueba de linealidad.

En el cuadro 4.5, se aprecia los datos de velocidad y esfuerzo de cizalla, ajustan mejor al modelo de Newton, debido a que se presenta una correlación de 1.0 en todas las muestras con la mezcla de emulsificantes. La muestra sin emulsificantes y con lecitina, ajustaron mejor al modelo de Casson, presentando una correlación de 1.0.

Muestra	r ²
Cobertura de recubrimientos sin emulsificantes (Casson)	1.0
Cobertura de recubrimientos con 0.5 % de lecitina (Casson)	1.0
Cobertura de recubrimientos con 0.3 % de PGPR con 0.1 % de lecitina (Newton)	1.0
Cobertura de recubrimientos con 0.3 % de PGPR con 0.3 % de lecitina (Newton)	1.0
Cobertura de recubrimientos con 0.3 % de PGPR con 0.4 % de lecitina (Newton)	1.0
Cobertura de recubrimientos con 0.3 % de PGPR con 0.5 % de lecitina (Newton)	1.0

Cuadro 4.5 Coeficientes de determinación del ajuste de datos de velocidad y esfuerzo de cizalla al modelo de Casson y Newton, en la cobertura de recubrimientos.

Emulsificante			σ_0 (Pa)	η_{ca} (Pa.s)	η_N (Pa.s)	η^* Brookfield 40°C (Pa.s)
% Lecitina	% PGPR					
0.0	0.0	Prom. c.v	7.07 11.66	2.53 5.55	-	37.00
0.5	0.0	Prom. c.v	1.92 0.14	1.60 0.01	-	10.00
0.1	0.3	Prom. c.v	0 -	-	1.72 1.04	7.50
0.3	0.3	Prom. c.v	0 -	-	1.56 1.51	6.40
0.4	0.3	Prom. c.v	0 -	-	1.45 0.37	5.60
0.5	0.3	Prom. c.v	0 -	-	1.36 0.36	5.35

* Modelo RVT, huso # 6, 5 rpm./ Prom. = promedio, c.v = coeficiente de variación.

Cuadro 4.5.1 Reducción de los parámetros de Casson en la cobertura de recubrimientos, por la adición de lecitina y PGPR en mezcla.

En el cuadro 4.5.1, se presentan los resultados de la disminución del esfuerzo de fluencia y la viscosidad de Casson por la adición de lecitina de soya y PGPR en la cobertura para recubrimiento de pasteles, en donde podemos apreciar en principio que ésta muestra sin emulsificantes presenta los valores más bajos de esfuerzo de fluencia y viscosidad de Casson en relación con las anteriores coberturas, y por otro lado a excepción de la muestra sin emulsificantes existe una menor desviación de los resultados en comparación a las coberturas clara y oscura debido a una menor concentración de las partículas sólidas en la fase continua, lo que origina que exista un mayor control de la temperatura en las muestras. Es necesario señalar que la muestra que contiene únicamente el 0.5 % de lecitina de soya corresponde a la formulación estándar de la cobertura para recubrimiento de pasteles y de esta manera en lo que respecta al esfuerzo de fluencia podemos apreciar que es precisamente en ésta donde se presentó el menor efecto de reducción de este parámetro, a diferencia de las muestras en que se aplicó la mezcla de emulsificantes en donde advertimos que desde la combinación de 0.1 % de lecitina con 0.3 % de PGPR se anula el esfuerzo de fluencia.

En lo que respecta a la viscosidad plásticas de Casson observamos que los resultados de todas las pruebas se encuentran dentro del rango especificado para las coberturas de recubrimientos sin embargo en comparación a la muestra estándar apreciamos que la menor reducción se presentó con la concentración del 0.1 % de lecitina de soya en la mezcla de emulsificantes y el mejor resultado se logró con el 0.5 % de lecitina en la mezcla, pero debido a que en una línea de coberturas es más importante la reducción del esfuerzo de fluencia para aumentar el rendimiento de los recubrimientos y la viscosidad de Casson se encuentra dentro del rango especificado (0.5-2.5 Pa.s) para las coberturas en todas las muestras, podemos decir en base a la reducción de costos que el mejor resultado se obtuvo con la muestra del 0.1 % de lecitina de soya en la mezcla de emulsificantes.

Por otro lado, en lo que respecta a la determinación de la viscosidad aparente, podemos observar que la muestra seleccionada está por debajo del límite inferior especificado para esta cobertura (8-13 Pa.s) sin embargo, por tratarse de una cobertura para recubrimientos esta muestra ofrece más ventajas tecnológicas y económicas que la formulación estándar.

4.6 Modelo reológico al que mejor ajustan las diferentes coberturas de chocolate, en comparación al modelo de Casson.

Muestra	% L P		Modelo reológico.	σ_0 (Pa)	η_{pl} (Pa.s)	η_{ca} (Pa.s)	η_N (Pa.s)	r^2
	L	P						
Cobertura oscura	0	0	Casson.	125.99	-	16.98	-	0.998
			Bingham.	225.92	29.09	-	-	0.996
	0.1	0.3	Casson.	1.91	-	10.39	-	0.999
			Bingham.	22.28	11.5	-	-	1.0
	0.3	0.3	Casson.	8.88	-	6.09	-	0.998
			Bingham.	34.53	7.88	-	-	1.0
	0.3	0.5	Casson.	25.05	-	4.24	-	0.998
			Bingham.	59.58	6.99	-	-	1.0
Cobertura Clara.	0	0	Casson.	128.10	-	17.47	-	0.998
			Bingham.	268.04	30.30	-	-	0.993
	0.2	0.3	Casson.	5.27	-	8.33	-	0.999
			Bingham.	27.59	10.83	-	-	1.0
	0.4	0.3	Casson.	15.15	-	5.91	-	0.999
			Bingham.	49.93	8.58	-	-	1.0
	0.5	0.3	Casson.	17.32	-	5.98	-	0.998
			Bingham.	59.58	6.99	-	-	1.0
Cobertura Pastel.	0	0	Casson.	7.07	-	2.53	-	1.0
			Bingham.	19.88	3.45	-	-	0.999
	0.5	0	Casson.	1.92	-	1.60	-	1.0
			Bingham.	8.12	2.05	-	-	1.0
	0.1	0.3	Newton.	0	-	-	1.72	1.0
	0.3	0.3	Newton.	0	-	-	1.56	1.0
	0.4	0.3	Newton.	0	-	-	1.54	1.0
	0.5	0.3	Newton.	0	-	-	1.47	1.0

L = Lecitina de soya, P = PGPR y r^2 = coeficiente de determinación.

Cuadro 4.6 Comparación del modelo de Casson con el modelo reológico que mejor ajusta a las diferentes muestras de cobertura de chocolate.

En el cuadro 4.6 se presentan los parámetros reológicos de Casson de las coberturas de chocolate de la fase experimental, en comparación al modelo reológico al que mejor ajustan los datos experimentales. De manera general, podemos decir que las muestras de cobertura de chocolate sin emulsificantes presentan la correlación de los datos más altas con el modelo de Casson por lo que éstas se pueden caracterizar mejor reológicamente a través de este modelo. En lo que respecta a las muestras con la mezcla de emulsificantes podemos observar que las coberturas de chocolate claro y oscura se caracterizan mejor reológicamente por medio del modelo de Bingham pues además de presentar una correlación mayor que la del modelo de Casson, las curvas de flujo correspondientes presentan esta tendencia de comportamiento al flujo. Por otro lado, las muestras de cobertura pastel con mezcla de emulsificantes se caracterizaron mejor reológicamente con el modelo de Newton debido a que no presentaron esfuerzo de fluencia a diferencia de las muestras con lecitina y sin emulsificantes que son del tipo de Casson.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Antes de iniciar con la etapa de conclusiones y recomendaciones, es necesario señalar que debido a la importancia que tienen las fases de la transformación del grano de cacao y el proceso tecnológico de elaboración de chocolates, se considera de gran importancia abordar algunas consideraciones fundamentales sobre estas fases y no limitar las conclusiones únicamente a los datos experimentales, sin determinar antes los puntos críticos de los procesos de transformación del cacao y del proceso tecnológico de la elaboración de chocolates y coberturas.

V.-Conclusiones.

1.- En lo que se refiere a los aspectos tecnológicos de la transformación del grano de cacao, podemos decir que previamente a esta etapa es de vital importancia el tratamiento que se le da al grano de cacao en las plantas de fermentación, pues del buen control del proceso de fermentación y maduración de los granos de cacao, depende la formación de precursores de sabor y aroma característicos del chocolate que más adelante se desarrollará en el proceso de torrefacción o tostado del cacao, pues una deficiencia en el proceso de fermentación tiene como resultado una pobre producción de sabor y aroma en el producto final y de igual modo un exceso de fermentación tiene como consecuencias el desarrollo de sabores no deseados principalmente por astringencia y acidez del producto final (1, 3). Por otra parte podemos mencionar que los cambios más relevantes en la transformación del grano de cacao, se han dado en las operaciones del tostado y del tratamiento del licor de cacao, logrando de manera muy significativa la optimización del proceso mejorando la calidad y eficiencia del mismo a diferencia del proceso de fermentación del cacao que actualmente sigue realizándose de manera muy tradicional (4).

2.- En cuanto a la fase del proceso de elaboración de coberturas de chocolate podemos decir que así como en la transformación del grano de cacao es de vital importancia el proceso de torrefacción, para la elaboración de coberturas de chocolate, la etapa del conchado es de igual o mayor importancia, debido a que ésta es una continuación del desarrollo del sabor típico del chocolate y donde se obtiene la consistencia y textura final del producto para poder ser llevado a las líneas de moldeo o recubrimiento (19).

Una consideración de gran importancia durante la fase del conchado es el momento del proceso en el cual deben de adicionarse los emulsificantes, debido a que la acción de los mismos obedece a un efecto de superficie. La adición de éstos se debe de realizar al final del proceso de conchado y no al comienzo del mismo pues se corre el riesgo de que sean absorbidos por las partículas de cacao disminuyendo su eficiencia (24).

Otra consideración de importancia de la adición de emulsificantes y en especial de la lecitina de soya al final de la etapa del conchado es que al principio de la misma no todas las partículas del chocolate están cubiertas de grasa y la humedad del producto es mayor que hacia la etapa final del mismo, por lo que se corre el riesgo de que la humedad no sea eliminada con el conchado y el agua quede emulsionada con la lecitina de soya generando un bajo deslizamiento de la cobertura de chocolate y por lo tanto un incremento del esfuerzo de fluencia en la misma (19).

Por otra parte cabe mencionar que se debe de tener especial cuidado en el proceso de refinación de las pastas de cobertura de chocolate, pues como ya se señaló anteriormente en la etapa correspondiente, una producción alta de partículas subfinas durante el proceso de refinación, tiene como consecuencia una mayor demanda de manteca de cacao durante el proceso de elaboración de la cobertura de chocolate, incrementando por lo tanto los costos de producción sin mejorar significativamente la textura del producto (17, 22).

3.- En cuanto a la adaptación del método de la OICC para la caracterización reológica del chocolate (especificado para equipos Brookfield HA), al viscosímetro Physica MC 1 podemos señalar lo siguiente:

La principal ventaja que se tiene con relación a los equipos de referencia, es emplear un sistema de medición con relación de radios mayor a 0.9 (0.9218), por lo que no es necesario emplear la corrección de Steiner para ajustar los datos de velocidad y esfuerzo de cizalla al modelo de Casson (34). Lo anterior se pudo apreciar al momento de aplicar la regresión lineal a los datos ajustados al modelo de Casson, ya que las correlaciones obtenidas (0.998-1.0) fueron mayores a las reportadas para diferentes muestras de chocolate con los equipos Brookfield HA (0.993-0.999) (19).

Otra ventaja importante con relación a los equipos HA permitió programar un precizamiento de tres minutos a las muestras a una velocidad de cizalla de 17 (1/s), con el fin de estar en equilibrio con respecto a la dependencia del tiempo antes de realizar las mediciones (19). Es importante señalar que un estudio realizado por Seguine, 1986 indica que el precizamiento de las muestras evita que existan grandes diferencias de las mediciones en el sentido ascendente y descendente de la velocidad, lo cual se pudo apreciar en la precisión de las mediciones del esfuerzo de cizallamiento, debido a que los coeficientes de variación en la mayoría de los casos fueron menores al 10 %.

4.- Los coeficientes de variación de los parámetros de Casson obtenidos en el presente trabajo, con las variaciones hechas al método oficial de la OICC, para las muestras con emulsificantes (3.41-7.42 %), son menores a los presentados por el método tradicional con un viscosímetro Brookfield (OICC 1973) para coberturas de moldeo (28.5-44.3 %) según se muestra en un estudio realizado en 1994 (32).

5.- Las propiedades de fluencia del chocolate líquido se describen mediante el modelo de Casson con la viscosidad plástica de Casson y el esfuerzo de fluencia. Se ha establecido bibliográficamente que numerosos factores como la temperatura, humedad, contenido graso, granulometría, los emulsificantes y el atemperado son los que afectan en el valor de estos parámetros, sin embargo la granulometría, la humedad, el atemperado, y el tiempo de conchado tienen una acción más importante sobre el esfuerzo de fluencia (19).

6.- El efecto de la lecitina de soya sobre los parámetros de Casson es más importante en la reducción de la viscosidad plástica que en la disminución del esfuerzo de fluencia debido a que desde el punto de vista tecnológico la reducción alcanzada sobre este parámetro no es suficiente para los requerimientos de una línea de recubrimientos y de moldeo de chocolate. Por otra parte es necesario señalar que se debe tener cuidado de que la concentración del emulsificante no exceda del 0.5 % de aplicación, debido a que después de ésta, el esfuerzo de fluencia tiende a incrementarse y se provoca también un efecto de espesamiento medido como viscosidad aparente en la cobertura de chocolate, lo cual representa una desventaja al momento de manejarlo independientemente del uso que se destine para el producto.

7.- El efecto del PGPR sobre la reducción de los parámetros de Casson, es muy específico en la disminución del esfuerzo de fluencia, de tal manera que conforme se incrementa la concentración del emulsificante en el chocolate, se presenta la tendencia de anular el valor de este parámetro; sin embargo, el efecto de reducción no se muestra de manera importante sino hasta una concentración del 0.2 %. En cuanto a la viscosidad de Casson podemos decir que únicamente después de una concentración del 0.3 % de PGPR se observa una reducción importante en el valor de este parámetro, sin embargo a diferencia del esfuerzo de fluencia, el incremento en la concentración del emulsificante no tiene la tendencia de reducir en mayor medida el valor de la viscosidad plástica o de Casson.

8.- La elección correcta de un emulsificante o mezcla emulsificantes, permite obtener las condiciones de flujo necesarias en una cobertura de chocolate para una determinada aplicación. Así la mezcla de lecitina de soya y PGPR a bajos niveles de dosificación, ofrece un excelente sinergismo para los casos donde se requiere de una viscosidad y esfuerzo de fluencia bajos, logrando sustituir hasta el 9.0 % del contenido total de grasa en las formulaciones de las coberturas de chocolate, lo que se traduce en un ahorro del 900 % del costo en el ajuste de las propiedades de flujo de una tonelada de chocolate, como se vio anteriormente.

9.- Además de los beneficios económicos ya mencionados, el empleo de la lecitina de soya y el PGPR ofrece mayores ventajas tecnológicas que el uso de la manteca de cacao u otras grasas para mejorar las propiedades de flujo de las coberturas de chocolate en determinada aplicación.

Así el rendimiento de las coberturas y la uniformidad de los baños conseguido por los bajos esfuerzos de fluencia en las líneas de recubrimientos, no se pueden alcanzar con el incremento de grasa en la formulación de la cobertura y del mismo modo los bajos esfuerzos de fluencia logrados para el escurrimiento del chocolate en el proceso de moldeo, permiten la formación uniforme de las cavidades para los chocolates rellenos y la expulsión de las burbujas de aire de los moldes para una adecuada formación de las piezas lo cual no se consigue ni con un 9 % más de manteca de cacao en la formulación del chocolate.

10.- La aplicación del 0.3 % de PGPR y 0.3 % de lecitina de soya en el chocolate oscuro, es la concentración más adecuada para reducir los parámetros de Casson del chocolate logrando reducir un 5.0 % de manteca de cacao en la formulación estándar de éste, mejorando las propiedades de flujo del mismo durante la operación de moldeo y facilitando la expulsión de aire de los moldes evitando la formación de burbujas u hoyos en las piezas. Por otra parte el buen escurrimiento del chocolate permite la formación uniforme de las coquillas o cascarones de chocolate para contener el relleno, lo cual evita que se fugue el relleno durante el colado de las tapas del chocolate y permita un buen sellado del producto.

11.- La aplicación de la mezcla de 0.3 % de PGPR con 0.4 % de lecitina de soya en el chocolate claro, es la concentración más adecuada para reducir la viscosidad de Casson y el esfuerzo de fluencia en este producto, permitiendo reducir el 5.0 % del contenido total de manteca de cacao en la formulación estándar del mismo, sin afectar negativamente las propiedades de flujo del chocolate.

En lo que se refiere al manejo de la cobertura en las líneas de fabricación, podemos decir que al igual que en el caso de la cobertura de chocolate oscuro, se logró mejorar la operación de moldeo del producto debido a que el proceso demanda de un bajo esfuerzo de fluencia para facilitar la expulsión de las burbujas de aire de los moldes y dar un acabado de calidad al producto final, así como la formación uniforme de las piezas que además de permitir un buen sellado de las tapas en el producto, facilita la solidificación del chocolate en los moldes.

12.- La aplicación de la mezcla de 0.3 % de lecitina de soya con 0.3 % PGPR en la cobertura para recubrimientos, es la concentración de emulsificantes más adecuada para reducir los parámetros de Casson en la cobertura, permitiendo reducir un 7.0 % del total de grasa CBS en la formulación del producto, mejorando las propiedades de flujo del mismo. Por otra parte, en lo que se refiere al manejo del producto en las líneas de recubrimientos podemos decir que debido a la anulación del esfuerzo de fluencia de la cobertura, se lograron obtener baños más uniformes y delgados de los recubrimientos que con la muestra de referencia, mejorando el proceso de recubrimiento y aumentando el rendimiento de las coberturas durante su aplicación.

13.- Las coberturas de chocolate sin emulsificantes ajustan mejor al modelo de Casson que aquellas donde se aplicó la mezcla de lecitina-PGPR que presentan una mayor correlación de los datos experimentales con el modelo de Bingham.

14.- Únicamente las muestras de cobertura pastel con emulsificantes presentan un tipo de comportamiento al flujo newtoniano debido a la anulación del esfuerzo de fluencia por lo que no es posible caracterizarlas mediante el modelo de Casson.

15.- Finalmente podemos decir que el uso de los emulsificantes para mejorar las propiedades de flujo de las coberturas de chocolate rebasa las expectativas que se tenían de ellos, debido a que además de permitir una reducción del 5-7 % de grasa en las formulaciones estándar de las coberturas, se logró mejorar los procesos de recubrimiento y moldeo.

V.-Recomendaciones.

1.- Tener un buen control de la temperatura durante el análisis de las muestras en el viscosímetro es esencial para poder tener una buena reproducibilidad de los resultados, debido a que la variación de la viscosidad con la fluctuación de la temperatura es muy grande, por lo cual es necesario disponer de un dispositivo enchaquetado conectado al baño termostático que envuelva al cilindro exterior que contiene a la muestra para poder tener mayor control de la temperatura que colocando el baño alrededor del cilindro exterior.

2.- En el caso de los emulsificantes, es necesario señalar que el empleo de la lecitina de soya tiene el inconveniente de impartir sabor en los chocolates lo cual representa un grave problema en los casos donde se requiere de un perfil de sabor con notas a chocolate muy suaves. Por otro lado es frecuente que se tengan que ajustar las propiedades de flujo de las coberturas de chocolate debido a que la calidad de la lecitina de soya lote a lote no es constante por lo cual es más conveniente el empleo de la lecitina sintética pues, además de tener un sabor más suave y neutro su poder de reducción de la viscosidad es mayor por lo que permite que se utilice en menores dosificaciones que la lecitina de soya, aunque hay que señalar que su costo es relativamente mayor pero los beneficios obtenidos son muy altos como ya se mencionó.

3.- Para los casos de dimensionamiento de equipos de atemperado y líneas de bombeo se requiere contar con valores de viscosidad de Casson y esfuerzo de fluencia muy precisos debido a que es muy frecuente que se presenten eventualidades por subdimensionamiento y sobredimensionamiento de los mismos.

Por lo anterior, se recomienda en posteriores trabajos que el análisis reológico de las coberturas de chocolate se realice con las muestras atemperadas, debido que a estas condiciones (disminución de la temperatura y agitación continua) aumenta el porcentaje de sólidos por la presencia de cristales β en la muestra, incrementando los valores del esfuerzo de fluencia y la viscosidad plástica de Casson.

4.- Para los casos de control de procesos, desarrollos de nuevos productos y diseño de equipos de atemperado, donde se requiere de mediciones muy precisas y ahorro de tiempo en el cálculo de los parámetros reológicos, se recomienda disponer de un viscosímetro de cilindros concéntricos computarizado con mayor control de la temperatura de las muestras (enchaquetado) y una relación de radios > 0.9 como el Hakee VT 550 o similares.

5.- Modificar el método tradicional de la OICC especificado para equipos Brookfield, adaptándolo a un viscosímetro rotacional de cilindros concéntricos con las características mencionadas en el punto anterior para la caracterización reológica de coberturas de chocolate.

6.- Es necesario mencionar que no debe reducirse más el contenido de manteca de cacao u reemplazantes de manteca de cacao (CBR) en las coberturas de chocolate de la fase experimental, ya que además de afectar las propiedades reológicas de éstas, se corre el riesgo de influir negativamente en la calidad sensorial de los productos. Así, en lo que se refiere a la textura, los chocolates para moldeo pueden perder consistencia volviéndose más frágiles y las coberturas para recubrimiento perder cohesividad provocando que las cubiertas se fracturen.

APENDICE "A"

EXACTITUD. La exactitud de un instrumento indica la desviación de la lectura respecto a una entrada conocida. Comúnmente se expresa como un porcentaje de la lectura a escala total; de esta manera, si un medidor de presión de 100 psi tiene una exactitud de 1.0 %, será exacto dentro de ± 1.0 psi sobre el intervalo de entrada del medidor.

Vel. cizalla (1/s)	Esf. cizalla (Pa)	Esf. cizalla (Pa)	Esf. cizalla (Pa)	Esf. cizalla (Pa)	Esf. cizalla (Pa)
1	0	0	0	0	0
36.6	17.4	17.2	17.4	17.6	18
72.2	34.9	34.9	35.2	35.2	35.3
108	52.4	52.2	52.2	52.6	52.8
144	69.8	69.7	69.7	70.3	70.1
179	87.5	87	87.1	87.6	87.4
215	105	104	104	105	105
251	122	121	121	122	122
286	139	139	138	139	139
322	157	156	156	157	156
357	174	173	173	174	174
393	191	190	190	191	191
429	208	207	207	208	208
464	225	224	224	225	225
500	243	241	241	242	242

Cuadro A-1. Esfuerzos de cizalla experimentales del estándar newtoniano, medidos a 25°C con el viscosímetro Physica MC 1.

m (Pa.s)	0.485	0.485	0.485	0.483	0.483
r^2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Cuadro A-2. Coeficientes de determinación, y valores de viscosidad experimental del estándar newtoniano.

En el cuadro A-1, se presentan los valores experimentales del esfuerzo de cizalla del estándar newtoniano, medidos a 25°C a diferentes velocidades de cizallamiento con el viscosímetro Physica MC 1. La correlación de los datos de velocidad y esfuerzo de cizallamiento presentan un comportamiento lineal (cuadro A-2), donde la pendiente representa la viscosidad, y el promedio de éstas la viscosidad experimental del estándar newtoniano. Para el cálculo de la exactitud del viscosímetro se empleará la siguiente relación, que representa la diferencia entre el valor de la viscosidad experimental y la del estándar newtoniano en porcentaje.

$$E = \frac{\eta_E - \eta_{ST}}{\eta_{ST}} \times 100$$

Donde:

η_E = Viscosidad experimental de la medición.

η_{ST} = Viscosidad del estándar newtoniano.

E = Exactitud del instrumento.

$$E = \frac{0.484 - 0.480}{0.480} \times 100$$

Por lo que la exactitud del viscosímetro será de, $E = \pm 0.83 \%$ con respecto a los valores de las lecturas del instrumento.

APENDICE "B".

Coefficientes de variación de las mediciones del esfuerzo de cizalla.

Cobertura oscura con 0.2 % de Lecitina.

Shear Rate	Shear Stress	Shear Stress	Shear Stress	Shear Stress	Promedio	S	c.v
[1/s]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]			
1	159	151	158	149	154.25	4.3229041	2.802531
2.79	200	196	198	195	197.25	1.9202864	0.9735292
4.58	233	231	231	230	231.25	1.0897247	0.4712323
6.37	263	262	260	260	261.25	1.2990381	0.4972395
8.16	291	291	288	289	289.75	1.2990381	0.4483307
9.95	318	319	315	317	317.25	1.4790199	0.4662001
11.7	345	345	340	344	343.5	2.0615528	0.6001609
13.5	369	371	365	368	368.25	2.1650635	0.5879331
15.3	395	396	389	394	393.5	2.6925824	0.6842649
17.1	419	421	413	417	417.5	2.9580399	0.7085125
18.9	444	445	438	442	442.25	2.6809513	0.6062072
20.7	469	469	463	465	466.5	2.5980762	0.5569295
22.5	492	493	485	488	489.5	3.2015621	0.6540474
24.3	514	517	508	511	512.5	3.354102	0.6544589
26.1	538	542	531	537	537	3.9370039	0.7331478
27.8	562	566	556	561	561.25	3.5619517	0.6346462
29.6	585	589	579	584	584.25	3.5619517	0.6096623
31.4	608	612	602	606	607	3.6055513	0.5939953
33.2	632	635	624	628	629.75	4.145781	0.6583217
35	655	657	647	649	652	4.1231056	0.6323782

Cobertura oscura con 0.4% de Lecitina.

Shear Rate	Shear Stress	Shear Stress	Shear Stress	Shear Stress	Promedio	S	c.v
[1/s]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]			
1	105	99.5	110	105	104.875	3.7144145	3.541754
2.79	131	129	137	135	133	3.1622777	2.3776524
4.58	152	151	160	158	155.25	3.8324274	2.4685523
6.37	171	171	180	179	175.25	4.2646805	2.4334839
8.16	190	189	198	197	193.5	4.0311289	2.0832707
9.95	208	206	217	215	211.5	4.6097722	2.1795613
11.7	225	222	234	233	228.5	5.1234754	2.2422212
13.5	241	238	251	250	245	5.6124861	2.2908106
15.3	258	254	267	266	261.25	5.4486237	2.0855976
17.1	274	269	283	282	277	5.7879185	2.0895012
18.9	289	285	300	297	292.75	6.0156047	2.0548607
20.7	303	300	315	313	307.75	6.3786754	2.0726809
22.5	318	314	331	328	322.75	6.9776429	2.1619343
24.3	333	329	346	344	338	7.17635	2.1231805
26.1	347	343	361	360	352.75	7.8859051	2.2355507
27.8	361	358	376	374	367.25	7.854139	2.1386355
29.6	375	371	390	389	381.25	8.377798	2.1974552
31.4	390	388	405	404	396.75	7.7902182	1.9635081
33.2	403	404	420	420	411.75	8.2575723	2.005482
35	417	417	435	434	425.75	8.7571399	2.0568737

c.v = Coeficiente de variación, s = Desviación estándar.

Cobertura oscura con 0.5 % de Lecitina.

Shear Rate [1/s]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Promedio	S	c.v
1	91.8	88	93.3	91.2	91.075	1.9330998	2.1225362
2.79	114	112	116	116	114.5	1.6583124	1.4483078
4.58	131	131	132	134	132	1.2247449	0.927837
6.37	147	146	150	151	148.5	2.0615528	1.3882511
8.16	162	162	166	167	164.25	2.2776084	1.3866718
9.95	176	176	182	182	179	3	1.6759777
11.7	190	190	197	196	193.25	3.2691742	1.6916813
13.5	203	203	211	210	206.75	3.7666298	1.8218282
15.3	216	216	225	224	220.25	4.2646805	1.9362908
17.1	229	228	239	237	233.25	4.8153401	2.0644545
18.9	241	241	251	251	246	5	2.0325203
20.7	253	253	264	263	258.25	5.2618913	2.0375184
22.5	265	265	277	276	270.75	5.7608593	2.1277412
24.3	276	277	290	289	283	6.5192024	2.3036051
26.1	288	288	302	301	294.75	6.7592529	2.2932156
27.8	300	300	314	313	306.75	6.7592529	2.2035054
29.6	311	311	327	326	318.75	7.7580603	2.4339013
31.4	323	323	338	338	330.5	7.5	2.269289
33.2	334	334	351	350	342.25	8.2575723	2.4127311
35	345	345	362	362	353.5	8.5	2.4045262

Cobertura oscura con 0.7 % de Lecitina.

Shear Rate [1/s]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Promedio	S	c.v
1	95.5	91.1	93.7	90.4	92.675	2.0425168	2.2039567
2.79	114	112	112	112	112.5	0.8660254	0.7698004
4.58	130	128	127	127	128	1.2247449	0.9568319
6.37	143	142	142	142	142.25	0.4330127	0.3044026
8.16	157	155	156	155	155.75	0.8291562	0.5323635
9.95	170	168	168	168	168.5	0.8660254	0.5139617
11.7	182	180	180	180	180.5	0.8660254	0.4797925
13.5	193	192	192	192	192.25	0.4330127	0.2252342
15.3	204	203	203	203	203.25	0.4330127	0.2130444
17.1	215	214	214	214	214.25	0.4330127	0.2021063
18.9	226	225	226	225	225.5	0.5	0.2217295
20.7	238	236	236	236	236.5	0.8660254	0.3661841
22.5	248	247	247	246	247	0.7071068	0.286278
24.3	258	257	257	257	257.25	0.4330127	0.1683237
26.1	269	266	268	267	267.5	1.118034	0.4179566
27.8	279	279	277	278	278.25	0.8291562	0.2979896
29.6	291	290	287	288	289	1.5811388	0.5471069
31.4	301	300	297	298	299	1.5811388	0.528809
33.2	311	310	307	308	309	1.5811388	0.5116954
35	320	320	316	316	318	2	0.6289308

c.v = coeficiente de variación, s = Desviación estándar.

Cobertura oscura con 0.1 % de PGPR.

Shear Rate [1/s]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Promedio	S	c.v
1	186	184	232	212	203.5	19.817921	9.7385362
2.79	331	298	357	358	336	24.46426	7.2810297
4.58	357	347	431	426	390.25	38.453706	9.8536082
6.37	402	397	477	481	439.25	39.814413	9.0641806
8.16	457	464	529	540	497.5	37.286056	7.4946847
9.95	494	482	581	597	538.5	50.992647	9.4693865
11.7	545	528	635	654	590.5	54.747146	9.2713202
13.5	576	572	690	709	636.75	63.124381	9.9135267
15.3	622	622	745	766	688.75	67.161652	9.751238
17.1	644	667	725	736	693	38.568122	5.5033855
18.9	700	719	824	833	769	59.962488	7.7974627
20.7	743	759	879	889	817.5	66.833749	8.1753821
22.5	797	804	913	916	857.5	57.063561	6.6546427
24.3	885	870	1,020	1,050	956.25	79.637852	8.3281414
26.1	903	904	1,080	1,100	996.75	93.518381	9.3823306
27.8	947	951	1,100	1,160	1039.5	92.963703	8.9431171
29.6	1,100	1117	1,200	1,250	1166.75	61.169335	5.2427113
31.4	1,080	1,020	1,250	1,250	1150	102.22524	8.8891514
33.2	1,080	1,070	1,250	1,250	1162.5	87.571399	7.5330236
35	1,120	1,100	1,250	1,250	1180	70.356236	5.9623929

Cobertura oscura con 0.2 % de PGPR.

Shear Rate [1/s]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Promedio	S	c.v
1	139	130	164	145	144.5	12.459936	8.6227929
2.79	171	170	202	188	182.75	13.21694	7.2322516
4.58	201	208	236	226	217.75	13.935118	6.3995947
6.37	239	247	274	264	256	13.7659	5.3773046
8.16	271	285	312	304	293	16.046807	5.4767258
9.95	313	323	351	346	333.25	15.753968	4.7273722
11.7	349	363	390	386	372	16.807736	4.5182087
13.5	387	402	431	427	411.75	18.102141	4.3963912
15.3	422	442	472	467	450.75	20.116846	4.462972
17.1	462	484	513	510	492.25	20.78912	4.2232849
18.9	501	525	557	553	534	22.693611	4.24974
20.7	545	567	599	594	576.25	21.764363	3.776896
22.5	588	608	643	637	619	22.259829	3.5960952
24.3	629	649	684	682	661	23.119256	3.4976182
26.1	672	693	725	725	703.75	22.50972	3.1985393
27.8	716	736	767	771	747.5	22.677081	3.0337232
29.6	761	779	811	814	791.25	22.207825	2.8066762
31.4	811	823	852	858	836	19.583156	2.3424828
33.2	854	862	896	899	877.75	19.979677	2.2762378
35	898	900	939	942	919.75	20.78912	2.2603011

c.v = coeficiente de variación, s = Desviación estándar.

Cobertura oscura con 0.3 % de PGPR.

Shear Rate [1/s]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Promedio	S	c.v
1	46.2	45.1	46.8	44	45.525	1.0709225	2.3523833
2.79	64.7	64.6	64.9	63.3	64.375	0.6299802	0.97861
4.58	83.2	84.5	83.6	81.9	83.3	0.9354143	1.1229464
6.37	103	105	103	103	103.5	0.8660254	0.8367395
8.16	122	125	121	122	122.5	1.5	1.2244898
9.95	141	146	142	142	142.75	1.9202864	1.3452094
11.7	162	168	161	163	163.5	2.6925824	1.6468394
13.5	180	189	181	184	183.5	3.5	1.9073569
15.3	200	210	200	205	203.75	4.145781	2.0347391
17.1	220	232	224	226	225.5	4.330127	1.9202337
18.9	240	254	242	248	246	5.4772256	2.2265145
20.7	261	277	261	270	267.25	6.7221648	2.5153096
22.5	280	300	283	291	288.5	7.7620873	2.6904982
24.3	326	323	304	313	316.5	8.6746758	2.7408138
26.1	349	347	325	336	339.25	9.6014322	2.8301937
27.8	371	369	347	355	360.5	9.9373035	2.7565336
29.6	393	393	371	376	383.25	9.9089606	2.5855083
31.4	415	416	387	397	403.75	12.275484	3.0403675
33.2	438	438	415	418	427.25	10.802199	2.5283087
35	460	461	437	436	448.5	12.010412	2.6779068

Cobertura oscura con 0.4 % de PGPR.

Shear Rate [1/s]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Promedio	S	c.v
1	24.8	22.7	24.3	22.8	23.65	0.917878	3.8810909
2.79	40.3	37.3	40	37.4	38.75	1.4044572	3.6244057
4.58	55.1	52	55.5	52.8	53.85	1.4840822	2.7559558
6.37	71.1	66.7	71.3	67.8	69.225	2.0141686	2.9095971
8.16	86.7	82.9	87.4	84	85.25	1.8580904	2.1795782
9.95	104	98.6	104	100	101.65	2.401562	2.3625794
11.7	121	115	121	116	118.25	2.7726341	2.3447223
13.5	137	131	139	133	135	3.1622777	2.3424279
15.3	154	148	155	150	151.75	2.8613808	1.8855887
17.1	171	165	172	167	168.75	2.8613808	1.6956331
18.9	188	181	189	185	185.75	3.1124749	1.6756258
20.7	205	198	207	202	203	3.391165	1.6705246
22.5	222	215	224	219	220	3.391165	1.5414386
24.3	239	232	241	236	237	3.391165	1.4308713
26.1	257	249	258	254	254.5	3.5	1.3752456
27.8	273	266	275	272	271.5	3.354102	1.2353967
29.6	290	283	293	289	288.75	3.6314598	1.2576484
31.4	306	301	309	306	305.5	2.8722813	0.9401903
33.2	323	318	326	323	322.5	2.8722813	0.8906299
35	339	336	342	342	339.75	2.4874686	0.7321468

c.v = coeficiente de variación, s = Desviación estándar.

Cobertura oscura con 0.5 % de PGPR.

Shear Rate [1/s]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Promedio	S	c.v
1	15.8	16	15.2	14.8	15.45	0.4769696	3.0871819
2.79	28.8	28.6	28.6	26.5	28.125	0.9417404	3.3484103
4.58	41.9	40.8	40.8	38.1	40.4	1.4017846	3.4697638
6.37	55	54.3	53.6	51.1	53.5	1.4713939	2.750269
8.16	69	68.2	67.5	63.3	67	2.2011361	3.2852777
9.95	82.4	82.9	80.7	76.8	80.7	2.394786	2.9675167
11.7	97.3	97.9	95.5	90.4	95.275	2.9498941	3.096189
13.5	112	113	110	104	109.75	3.49106	3.1809203
15.3	127	124	125	119	123.75	2.9474565	2.3817831
17.1	142	137	140	133	138	3.391165	2.4573659
18.9	156	152	153	148	152.25	2.8613808	1.8793962
20.7	172	168	168	163	167.75	3.1917863	1.9027042
22.5	187	183	183	178	182.75	3.1917863	1.7465315
24.3	202	198	198	192	197.5	3.5707142	1.8079566
26.1	217	213	211	207	212	3.6055513	1.7007317
27.8	232	229	226	222	227.25	3.6996621	1.6280141
29.6	246	245	239	237	241.75	3.8324274	1.5852854
31.4	262	258	255	252	256.75	3.6996621	1.440959
33.2	276	275	270	268	272.25	3.344772	1.2285664
35	292	292	284	283	287.75	4.2646805	1.4820784

Cobertura oscura sin emulsificantes.

Shear Rate [1/s]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Promedio	S	c.v
1	209	180	190	160	184.75	17.682972	9.57
2.79	408	345	353	308	353.5	35.752622	10.11
4.58	512	436	419	381	437	47.680256	10.9
6.37	534	491	455	431	477.75	38.867564	8.13
8.16	574	548	504	479	526.25	37.016044	7.03
9.95	622	605	550	529	576.5	38.21	6.62
11.7	674	661	600	582	629.25	39.047247	6.2
13.5	725	702	648	634	677.25	37.479161	5.53
15.3	772	757	697	684	727.5	37.65966	5.17
17.1	838	821	749	737	786.25	43.871261	5.57
18.9	879	884	795	795	838.25	43.286112	5.16
20.7	963	950	843	842	899.5	57.1861	6.3
22.5	1,030	1,040	886	863	954.75	72.214611	7.56
24.3	1,060	1,070	929	908	991.75	65.92837	6.64
26.1	1,120	1,080	974	973	1036.75	64.812711	6.25
27.8	1,190	1,150	1,030	1,050	1105	66.895441	6.05
29.6	1,210	1,160	1,080	1,090	1135	53.150729	4.68
31.4	1,250	1,250	1,130	1,130	1190	60	5.04
33.2	1,250	1,250	1,140	1,200	1210	40.496913	3.33
35	1,250	1,250	1,240	1,210	1237.5	16.393596	1.34

c.v = coeficiente de variación, s = Desviación estándar.

Cobertura oscura 0.3 % PGPR + 0.1 % lecitina.

Shear Rate [1/s]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Promedio [Pa]	S	c.v
1	37.2	33.9	38.9	35.5	36.375	1.8673176	5.1	
2.79	55	51.8	56.9	53.4	54.275	1.8912628	3.4	
4.58	73.8	68.8	75.9	71.2	72.425	2.674299	3.6	
6.37	92.1	87.1	94.3	89.2	90.675	2.7444262	3.3	
8.16	112	106	114	108	110	3.1622777	2.8	
9.95	132	125	134	128	129.75	3.49106	2.6	
11.7	154	144	154	148	150	4.2426407	2.8	
13.5	173	164	175	168	170	10.874282	6.3	
15.3	194	184	197	188	190.75	5.0682837	2.6	
17.1	216	205	219	209	212.25	5.53963	2.6	
18.9	236	226	240	230	233	5.3851648	2.3	
20.7	257	248	262	251	254.5	5.4083269	2.1	
22.5	278	269	283	272	275.5	5.4083269	2.1	
24.3	299	289	304	293	295.5	5.7172983	2	
26.1	320	306	320	314	315	5.7445626	1.8	
27.8	339	328	341	337	336.25	4.9686517	1.4	
29.6	360	350	359	360	357.25	4.205651	1.1	
31.4	379	373	381	382	378.75	3.49106	0.9	
33.2	399	396	409	405	402.25	5.0682837	1.2	
35	417	417	429	429	423	6	1.4	

Cobertura oscura 0.3 % PGPR + 0.3 % Lecitina.

Shear Rate [1/s]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Promedio [Pa]	S	c.v
1	46.4	44.3	45.5	43.7	44.975	1.047318	2.328667	
2.79	60.7	58.1	59.2	57.8	58.95	1.1368817	1.9285525	
4.58	73.8	71.4	72.2	71.5	72.225	0.9601432	1.3293779	
6.37	87.1	85.4	85.4	84.5	85.6	0.9407444	1.0990005	
8.16	102	99.2	98.6	98	99.45	1.5321553	1.5406288	
9.95	115	113	112	112	113	1.2247449	1.083845	
11.7	130	127	126	125	127	1.8708287	1.4730935	
13.5	144	141	139	139	140.75	2.0463382	1.4538815	
15.3	159	155	153	153	155	2.4494897	1.580316	
17.1	173	169	167	167	169	2.4494897	1.4494022	
18.9	188	185	181	181	183.75	2.9474565	1.604058	
20.7	202	200	194	195	197.75	3.344772	1.6914144	
22.5	217	214	209	209	212.25	3.4186986	1.6106943	
24.3	232	229	226	223	227.5	3.354102	1.4743305	
26.1	245	244	241	238	242	2.7386128	1.1316582	
27.8	261	258	255	253	256.75	3.0310889	1.1805604	
29.6	275	272	270	268	271.25	2.5860201	0.9533715	
31.4	290	290	284	282	286.5	3.5707142	1.2463226	
33.2	306	303	298	298	301.25	3.4186986	1.1348377	
35	320	319	313	312	316	3.5355339	1.1188398	

c.v = coeficiente de variación, s = Desviación estándar.

Cobertura oscura 0.3 % PGPR + 0.5 % Lecitina.

Shear Rate [1/s]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Promedio	S	c.v
1	67.3	63.8	65.6	63.3	65	1.5795569	2.4300875
2.79	80.4	77.5	78.9	77	78.45	1.3238202	1.68747
4.58	92.6	89.7	91.5	90.8	91.15	1.0547512	1.1571598
6.37	105	103	104	103	103.75	0.8291562	0.7991867
8.16	118	115	117	116	116.5	1.118034	0.9596858
9.95	131	127	130	128	129	1.5811388	1.225689
11.7	143	140	142	141	141.5	1.118034	0.79013
13.5	156	152	155	153	154	1.5811388	1.0267135
15.3	168	165	167	165	166.25	1.2990381	0.7813763
17.1	181	176	179	178	178.5	1.8027756	1.0099583
18.9	193	189	192	190	191	1.5811388	0.8278214
20.7	205	201	204	202	203	1.5811388	0.7788861
22.5	218	213	217	214	215.5	2.0615528	0.956637
24.3	229	225	229	228	227.75	1.6393596	0.7198066
26.1	242	238	242	240	240	1.6583124	0.689527
27.8	255	250	254	253	253	1.8708287	0.739458
29.6	267	263	268	265	265.75	1.9202864	0.7225913
31.4	278	275	279	278	277.5	1.5	0.5405405
33.2	289	287	292	290	289.5	1.8027756	0.6227204
35	301	301	304	304	302.5	1.5	0.4958678

Cobertura clara sin emulsificantes.

Shear Rate [1/s]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Promedio	S	c.v
1	189	167	192	176	352.5	10.074721	2.8580768
2.79	332	316	358	327	333.25	15.417117	4.6262917
4.58	415	401	434	394	411	15.280707	3.7179335
6.37	474	463	491	455	470.75	13.497685	2.8672724
8.16	528	525	551	512	529	14.053469	2.6566105
9.95	588	586	612	574	590	13.784049	2.3362794
11.7	644	647	674	634	649.75	14.804982	2.278566
13.5	692	710	722	695	704.75	12.070108	1.7126793
15.3	767	778	779	762	771.5	7.2284161	0.9369302
17.1	836	857	835	831	839.75	10.133484	1.2067263
18.9	849	930	885	901	891.25	29.243589	3.2811881
20.7	909	1,000	934	966	952.25	34.178758	3.5892631
22.5	950	1,090	978	1,030	1012	53.40412	5.2770869
24.3	1,040	1,170	1,020	1,100	1082.5	58.470078	5.4013929
26.1	1,060	1,190	1,080	1,140	1117.5	51.173724	4.5793041
27.8	1,090	1,200	1,120	1,190	1150	46.368092	4.032008
29.6	1,160	1,250	1,170	1,250	1207.5	42.646805	3.5318265
31.4	1,250	1,250	1,240	1,250	1247.5	4.330127	0.3471044
33.2	1,250	1,250	1,250	1,250	1250	0	0
35	1,250	1,250	1,250	1,250	1250	0	0

c.v = coeficiente de variación, s = Desviación estándar.

Cobertura clara 0.3 % PGPR + 0.2 % Lecitina.

Shear Rate	Shear Stres	Shear Stres	Shear Stres	Shear Stres	Promedio	S	c.v
[1/s]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]		
1	41.6	39.4	42.5	39.1	40.65	1.439618	3.4606202
2.79	59.5	57.5	58.6	55.2	57.7	1.6077935	2.7864706
4.58	77	74.6	74.4	70.7	74.175	2.2520824	3.0361744
6.37	95.4	92.5	91.1	86.5	91.375	3.2135455	3.5168761
8.16	116	111	107	102	109	5.1478151	4.7227661
9.95	135	129	124	117	126.25	5.1478151	4.0774773
11.7	155	148	141	134	144.5	6.609652	4.5741537
13.5	173	167	159	150	162.25	7.8262379	4.8235673
15.3	192	187	176	167	180.5	8.642193	4.7879186
17.1	212	205	192	182	197.75	11.583933	5.8578674
18.9	231	224	209	200	216	12.186058	5.6416933
20.7	252	244	225	216	234.25	14.394009	6.1447211
22.5	270	263	243	233	252.25	14.889174	5.9025466
24.3	289	281	260	249	269.75	15.990231	5.9277966
26.1	308	301	276	265	287.5	17.613915	6.1265791
27.8	329	321	291	282	305.75	19.715159	6.4481305
29.6	349	341	307	299	324	21.377558	6.5980118
31.4	369	363	323	315	342.5	23.764469	6.9385312
33.2	390	386	336	333	361.25	26.808348	7.4209959
35	409	407	352	355	380.75	27.2798	7.1647538

Cobertura clara 0.3 % PGPR + 0.4 % Lecitina.

Shear Rate	Shear Stres	Shear Stres	Shear Stres	Shear Stres	Promedio	S	c.v
[1/s]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]		
1	57	53.4	55.5	52.4	54.575	1.7921705	3.2838671
2.79	72.7	70.1	70.5	68.4	70.425	1.5319514	2.1752948
4.58	88.8	85.5	85.3	82.5	85.525	2.2320114	2.6097766
6.37	104	100	100	97.1	100.275	2.4549694	2.4482368
8.16	120	115	115	111	115.25	3.1917863	2.7694458
9.95	136	131	130	126	130.75	3.5619517	2.7242461
11.7	151	146	145	140	145.5	3.9051248	2.6839346
13.5	167	161	160	155	160.75	4.2646805	2.6529894
15.3	181	176	174	169	175	4.3011626	2.4578072
17.1	197	191	189	183	190	5	2.6315789
18.9	213	207	204	198	205.5	5.4083269	2.6317893
20.7	229	223	218	212	220.5	6.264982	2.8412617
22.5	244	237	233	227	235.25	6.1796035	2.626824
24.3	259	253	248	241	250.25	6.609652	2.6412196
26.1	275	268	260	257	265	7.0356236	2.6549523
27.8	290	285	274	271	280	7.7781746	2.7779195
29.6	305	300	289	286	295	7.7781746	2.6366694
31.4	319	314	304	301	309.5	7.2972598	2.3577576
33.2	333	330	318	316	324.25	7.3612159	2.2702285
35	347	347	333	332	339.75	7.2586156	2.1364579

c.v = coeficiente de variación, s = Desviación estándar.

Cobertura clara 0.3 % PGPR + 0.5 % Lecitina.

Shear Rate [1/s]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Promedio	S	c.v
1	59.7	56.3	61.8	59.8	59.4	1.9761073	3.3267799
2.79	75.6	72.7	78	77.2	75.875	2.0265426	2.6708964
4.58	91.1	88.2	92.7	93.8	91.45	2.1077239	2.3047828
6.37	107	103	109	110	107.25	2.6809513	2.4997215
8.16	122	118	124	125	122.25	2.6809513	2.1930072
9.95	137	132	141	140	137.5	3.5	2.5454545
11.7	152	147	158	156	153.25	4.205651	2.7443073
13.5	167	161	174	171	168.25	4.8669806	2.8927076
15.3	182	176	190	188	184	5.4772256	2.976753
17.1	197	190	208	202	199.25	6.609652	3.3172658
18.9	212	205	225	218	215	7.3824115	3.4336798
20.7	227	220	241	234	230.5	7.8262379	3.395331
22.5	242	234	258	250	246	8.9442719	3.6358829
24.3	257	249	273	265	261	8.9442719	3.4269241
26.1	271	264	289	282	276.5	9.656604	3.4924427
27.8	286	279	305	298	292	10.124228	3.4672015
29.6	300	294	320	315	307.25	10.615437	3.4549835
31.4	314	313	336	332	323.75	10.35314	3.197881
33.2	326	327	350	349	338	11.510864	3.4055812
35	340	342	366	366	353.5	12.519984	3.5417211

Cobertura base pastel sin emulsificantes.

Shear Rate [1/s]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Promedio	S	c.v
1	21.2	19.9	18.1	17.6	19.2	1.4370108	7.4844312
2.79	31.8	30.3	27.9	26.9	29.225	1.9330998	6.6145418
4.58	40.7	38.1	35.4	34.8	37.25	2.3478714	6.6145418
6.37	48.5	46.1	42	41.4	51.825	2.933428	6.3030104
8.16	56.2	53.6	48.8	48.7	51.825	3.2096534	5.6602567
9.95	63.8	60.8	55.4	55	58.75	3.7077621	6.1932531
11.7	71.3	67.8	62.1	61.5	65.675	4.0733125	6.3110845
13.5	77.9	75.1	67.9	67.6	72.125	4.4868558	6.2022269
15.3	85	82	74.4	73.7	78.775	4.8489045	6.2209439
17.1	91.9	88.6	80.6	80	85.275	5.1143792	6.155385
18.9	98.7	95.4	86.5	85.9	91.625	5.553096	5.997513
20.7	105	102	92.5	91.8	97.825	5.7785703	6.0606777
22.5	112	109	98.5	97.7	104.3	6.2964276	5.9070486
24.3	118	115	104	104	110.25	6.3393612	6.0368433
26.1	125	122	110	110	116.75	6.8328252	5.7499875
27.8	131	129	116	115	122.75	7.2929761	5.8525269
29.6	137	135	122	121	128.75	7.2929761	5.9413247
31.4	143	142	127	127	134.75	7.7580603	5.6644474
33.2	149	148	133	133	140.75	7.7580603	5.5119434
35	155	155	138	138	146.5	8.5	5.8020478

c.v = coeficiente de variación, s = Desviación estándar.

Cobertura base pastel con 0.5 % de lecitina.

Shear Rate [1/s]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Promedio	S	c.v
1	8.48	7.66	8.59	8.37	8.275	0.36349	4.3926287
2.79	13.8	12.8	13.6	13.5	13.425	0.376663	2.8056833
4.58	17.3	17.1	17.5	17	17.225	0.1920286	1.1148252
6.37	21.3	20.8	21.3	20.9	21.075	0.2277608	1.0807157
8.16	25.2	24.9	25.3	24.5	24.975	0.3112475	1.2462362
9.95	28.8	28.3	29	28.4	28.625	0.2861381	0.999609
11.7	32.7	32.1	32.8	32.1	32.425	0.3269174	1.0082264
13.5	36.4	35.9	36.6	35.7	36.15	0.3640055	1.0069308
15.3	40	39.3	40.4	39.5	39.8	0.4301163	1.0806941
17.1	43.7	43.1	44.1	43.3	43.55	0.3840573	0.8818767
18.9	47.5	46.4	47.7	46.7	47.075	0.5402546	1.1476465
20.7	51	50.2	51.2	50.1	50.625	0.481534	0.9511783
22.5	54.7	53.8	55	53.9	54.35	0.5123475	0.9426818
24.3	58.2	57.5	58.6	57.7	58	0.4301163	0.7415798
26.1	61.7	61.4	62.3	61.3	61.675	0.3897114	0.6318791
27.8	65.4	64.8	65.8	65.1	65.275	0.3699662	0.5667809
29.6	68.8	68.4	69.2	68.5	68.725	0.3112475	0.4528883
31.4	72.4	72.2	72.9	72.2	72.425	0.2861381	0.3950819
33.2	76	75.7	76.2	75.9	75.95	0.1802776	0.2373635
35	79.5	79.4	79.9	79.7	79.625	0.1920286	0.2411663

Cobertura base pastel 0.3 % PGPR +0.1 % Lecitina.

Shear Rate [1/s]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Promedio	S	c.v
1	1.35	1.54	1.61	1.6	1.525	0.1045227	6.8539492
2.79	5.51	5.24	5.46	5.18	5.3475	0.1402453	2.6226334
4.58	8.89	8.11	8.96	8.15	8.5275	0.3985207	4.6733592
6.37	11.9	11.8	12.4	12.2	12.075	0.2384848	1.9750294
8.16	15.5	14.7	16.2	15.2	15.4	0.543139	3.5268768
9.95	18.9	18.1	19.7	18.6	18.825	0.5804093	3.0831837
11.7	22.6	21.6	23.7	22.4	22.575	0.7495832	3.3204129
13.5	25.8	24.8	27.1	26	25.925	0.8166241	3.1499485
15.3	29.7	28.6	31.1	29.9	29.825	0.8870597	2.9742154
17.1	33.1	31.9	34.9	33	33.225	1.0755812	3.2372648
18.9	36.5	35.6	38.1	36.9	36.775	0.8982622	2.4425893
20.7	39.9	39.1	41.8	40.7	40.375	0.9984363	2.4729072
22.5	43.3	42.6	45.5	44.5	43.975	1.1121488	2.5290479
24.3	46.8	46	49.1	47.7	47.4	1.1510864	2.4284524
26.1	50.3	49.1	52.9	51.4	50.925	1.4006695	2.7504555
27.8	53.8	53	56.3	55.4	54.625	1.2968712	2.374135
29.6	57.2	56.4	60	59.3	58.225	1.4737283	2.5310919
31.4	60.5	60	63.3	62.9	61.675	1.4428704	2.3394737
33.2	63.9	63.6	67	66.6	65.275	1.5352117	2.3519138
35	67.2	67.1	70.7	70.5	68.875	1.7268106	2.5071661

c.v = coeficiente de variación, s = Desviación estándar.

Cobertura base pastel 0.3 % PGPR + 0.3 % Lecitina.

Shear Rate	Shear Stress	Shear Stress	Shear Stress	Shear Stress	Promedio	S	c.v
[1/s]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]			
1	1.42	1.37	1.59	1.52	1.475	0.0855862	5.8024552
2.79	4.61	4.65	4.75	4.32	4.5825	0.1599023	3.4894122
4.58	7.3	7.07	7.49	7.31	7.2925	0.1490596	2.0440117
6.37	10.3	10.3	10.2	10.2	10.25	0.05	0.4878049
8.16	13.1	12.3	13.1	13	12.875	0.3344772	2.5978812
9.95	15.7	15	16	15.5	15.55	0.3640055	2.3408713
11.7	18.2	17.9	19.1	18.3	18.375	0.443706	2.4147264
13.5	21	20.7	21.6	21.3	21.15	0.3354102	1.5858638
15.3	23.6	23.6	24.8	24.1	24.025	0.4918079	2.0470672
17.1	26.4	26.1	27.6	26.7	26.7	0.5612736	2.1020547
18.9	29.2	29.1	30.3	29.5	29.525	0.4710361	1.5953805
20.7	32.2	32	33.3	32.5	32.5	0.4949747	1.5229992
22.5	34.9	34.7	36.2	35.4	35.3	0.5787918	1.639637
24.3	37.5	37.3	39.1	38.2	38.025	0.7048936	1.8537636
26.1	40.5	40	42	41.1	40.9	0.7449832	1.8214749
27.8	43.4	43.1	44.7	44	43.8	0.6123724	1.3981106
29.6	46	46	47.5	47.2	46.675	0.6832825	1.4639154
31.4	48.8	48.7	50.4	50.1	49.5	0.7582875	1.531894
33.2	51.7	51.7	53.2	53.2	52.45	0.75	1.4299333
35	54.5	54.5	56.1	55.9	55.25	0.753326	1.3634859

Cobertura base pastel 0.3 % PGPR + 0.5 % Lecitina.

Shear Rate	Shear Stress	Shear Stress	Shear Stress	Shear Stress	Promedio	S	c.v
[1/s]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]			
1	1.96	2.23	2.08	2.39	2.165	0.1613227	7.451393
2.79	5.04	5.57	4.86	5.37	5.21	0.2768574	5.3139609
4.58	7.99	7.51	8	7.49	7.7475	0.2476262	3.1962082
6.37	10.4	10.1	10.3	10	10.2	0.1581139	1.5501361
8.16	13	12.3	12.7	12.6	12.65	0.25	1.9762846
9.95	15.3	15	15.4	15.1	15.2	0.1581139	1.0402229
11.7	17.6	17.5	18.2	17.7	17.75	0.2692582	1.5169478
13.5	20.5	20.1	20.4	20.2	20.3	0.1581139	0.7788861
15.3	22.9	22.6	23	22.8	22.825	0.147902	0.6479825
17.1	25.4	25.1	25.5	25.2	25.3	0.1581139	0.6249561
18.9	28.2	28	28.1	28	28.075	0.0829156	0.2953361
20.7	30.6	30.5	31	30.5	30.65	0.2061553	0.672611
22.5	33.2	33	33.3	33.1	33.15	0.1118034	0.3372652
24.3	35.9	35.6	35.9	35.8	35.8	0.1224745	0.3421075
26.1	38.3	37.9	38.4	38	38.15	0.2061553	0.5403808
27.8	41	40.6	41	40.8	40.85	0.1658312	0.4059516
29.6	43.7	43.2	43.7	43.3	43.475	0.2277608	0.5238892
31.4	46.2	45.9	46.2	45.9	46.05	0.15	0.3257329
33.2	48.8	48.6	48.8	48.7	48.725	0.0829156	0.1701706
35	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	0	0

c.v = coeficiente de variación, s = Desviación estándar.

Cobertura clara con 5 % de manteca de cacao extra.

Shear Rate [1/s]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Promedio	S	c.v
1	79.9	75.8	89.5	82.9	82.025	4.997687	6.0928826
2.79	100	97.3	110	105	103.075	4.8597196	4.7147413
4.58	117	116	129	124	121.5	5.3150729	4.3745456
6.37	133	132	146	142	138.25	5.9319053	4.290709
8.16	149	148	162	159	154.5	6.1032778	3.9503416
9.95	163	163	179	175	170	7.1414284	4.2008403
11.7	178	177	195	191	185.25	7.8859051	4.2568989
13.5	192	192	210	206	200	8.1240384	4.0620192
15.3	206	206	226	221	214.75	8.9267855	4.1568268
17.1	220	219	241	236	229	9.6695398	4.2225065
18.9	233	232	256	251	243	10.653638	4.3842131
20.7	246	246	270	265	256.75	10.894379	4.2431857
22.5	260	259	283	280	270.5	11.056672	4.0874943
24.3	273	272	297	294	284	11.55422	4.0683873
26.1	286	285	312	309	298	12.5499	4.211376
27.8	298	298	325	323	311	13.019217	4.1862433
29.6	311	310	338	337	324	13.509256	4.1695235
31.4	324	323	352	352	337.75	14.254385	4.2203953
33.2	336	336	366	365	350.75	14.754237	4.2064823
35	349	348	380	379	364	15.508062	4.2604567

Cobertura clara con 7 % de manteca de cacao extra.

Shear Rate [1/s]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Shear Stress [Pa]	Promedio	S	c.v
1	58.9	57	61.3	58.3	58.875	1.559447	2.6487423
2.79	72.8	72.7	75.3	72.8	73.4	1.0977249	1.495538
4.58	85.2	85.7	87.2	86	86.025	0.7361216	0.8557066
6.37	95.9	97.9	98.5	97.7	97.5	0.969536	0.9943959
8.16	107	109	110	109	108.75	1.0897247	1.0020457
9.95	117	120	121	120	119.5	1.5	1.2552301
11.7	128	131	131	130	130	1.2247449	0.9421114
13.5	141	141	141	141	141	0	0
15.3	152	151	152	150	151.25	0.8291562	0.5482024
17.1	162	160	162	161	161.25	0.8291562	0.5142054
18.9	172	170	171	170	170.75	0.8291562	0.4855966
20.7	182	179	182	179	180.5	1.5	0.8310249
22.5	191	189	191	188	189.75	1.2990381	0.6846051
24.3	201	197	200	198	199	1.5811388	0.7945421
26.1	210	206	209	207	208	1.5811388	0.7601629
27.8	219	216	218	216	217.25	1.2990381	0.5979462
29.6	228	225	227	225	226.25	1.2990381	0.5741605
31.4	236	235	236	234	235.25	0.8291562	0.3524575
33.2	244	244	244	243	243.75	0.4330127	0.1776462
35	253	253	253	253	253	0	0

c.v = coeficiente de variación, s = Desviación estándar.

Cobertura clara con 9 % de manteca de cacao extra.

Shear Rate [1/s]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Shear Stres [Pa]	Promedio	S	c.v
1	42.9	41.4	43	41.4	42.175	0.775806	1.8394927
2.79	53.3	51.8	53.3	52.3	52.675	0.6495191	1.2330689
4.58	61.7	61.4	62.2	61.9	61.8	0.2915476	0.4717599
6.37	70.1	69.3	70.6	69.9	69.975	0.4656984	0.6655211
8.16	78.2	77.7	78.5	78	78.1	0.2915476	0.3733004
9.95	86.1	85.2	86	85.6	85.725	0.3561952	0.4155091
11.7	93	92.8	93.4	93.4	93.15	0.2598076	0.2789132
13.5	100	99.9	101	100	100.225	0.449305	0.4482964
15.3	107	107	108	107	107.25	0.4330127	0.4037414
17.1	114	114	115	114	114.25	0.4330127	0.3790046
18.9	121	121	122	121	121.25	0.4330127	0.3571239
20.7	128	127	129	128	128	0.7071068	0.5524272
22.5	134	134	135	135	134.5	0.5	0.3717472
24.3	141	141	141	141	141	0	0
26.1	147	147	148	147	147.25	0.4330127	0.2940664
27.8	154	154	155	154	154.25	0.4330127	0.2807214
29.6	161	160	161	161	160.75	0.4330127	0.2693703
31.4	167	167	167	167	167	0	0
33.2	173	173	174	173	173.25	0.4330127	0.2499352
35	180	180	180	179	179.75	0.4330127	0.2408972

c.v = coeficiente de variación, s = Desviación estándar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- 1.- Minifie, B.W., 1980. Chocolate cocoa and confectionery, science and technology 2ª edición, Copyright by AVI Publishing Company, inc., Wesport Connecticut pp: 3-18 y 135-142.
- 2.- Anónimo., 1998. Cultivos perennes de México. VII Censo Agropecuario, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática pp: 27-31.
- 3.- Anónimo., 1993. Manual de fermentadoras del cacao, Cocos y Chocolates La Corona, pp: 3-7.
- 4.- Bonora, B.,1984. Transformación, elaboración, tratamiento del cacao y producción del chocolate, Carle Montanari Noticias, Milán 10.(14-19).
- 5.- Anónimo., 1992. Maquinaria y equipo para el procesamiento de cacao, Carle Montanari Noticias, Milán 14 (17-22).
- 6.- Anónimo., 1983. Machines and plants for cocoa procesing, Carle Montanari Noviembre, Suiza (16-39)
- 7.- Petronio, D., 1974. Torrefacción del cacao: Parámetros de valoración para la obtención de un producto de buena calidad, Carle Montanari Noticias, Milán 4 (4-10).
- 8.- Chiappa, O., 1987. Rotura y Separación de la Cáscara de Cacao crudo con ligero Secado, Carle Montanari Noticias, Milán 12 (7-16).
- 9.- Anónimo., 1977. Potasado “o” alcalinización, Carle Montanari Noticias, Milán 7 (4-13).

- 10.- Richardson, T., 1982. Cocoa: alkalized, dutched, natural and black, The Manufacturing Confectioner, 10 (50,51).
- 11.- Anónimo., 1986. Informe técnico sobre el análisis del cacao en Tabasco y Chiapas, Procter and Gamble Co., pp: 2-24.
- 12.- Anónimo., 1990. Catalogo de equipos para transformación del cacao, Martín Lloveras S.A, Barcelona pp: 7-11.
- 13.- Bonora, B., 1981. Progresos técnicos en la molienda del cacao y su influencia en las elaboraciones sucesivas, Carle Montanari Noticias, Milán 9 (4-11)
- 14.- Anónimo., 1971. El primer estabilizador continuo para todo tipo de cacao, Carle Montanari Noticias, Milán 1 (6-11).
- 15.- Giovenzani, L., 1975. Algunas experiencias de investigación en el campo de la preparación de polvos de cacao de elevado poder de dispersión, Carle Montanari Noticias, Milán 5 (12-19).
- 16.- Anónimo., 1973. Equipos de dosaje y mezclado, Carle Montanari Noticias, Milán 3 (8-13).
- 17.- Anónimo., 1973. La refinación estilo Carle Montanari, Noticias 3 (18-24).
- 18.- Anónimo., 1972. Realidad del Concaje, Carle Montanari Noticias, Milán 2 (4-11).
- 19.- Beckett, S.T., 1994. Fabricación y utilización Industrial del chocolate, Editorial Acribia, Zaragoza España pp: 159-176 y 265-287.

- 20.- Ripani, S., 1984. Las instalaciones de moldeo del chocolate en la industria confitera, Carle Montanari Noticias Milán 10 (26-32).
- 21.- Campbell, L. B y Pavlasek, S. J., 1987. Dairy products as ingredients in chocolate and confections, Food Technology, 10 (78-85).
- 22.- Jeffery, M.S., 1993. Key functional properties of sucrose in chocolate and sugar confectionery, Food Technology , 1 (141-144).
- 23.- Gunnerald, J., 1987. La fabricación del chocolate, Karlshamns, Suecia 8 (1-5).
- 24.- Minifie, B.W., 1982. Chocolate, cocoa and confectionery, science and technology, 2ª edición AVI Publishing Company, inc., Wesport Connecticut pp:105-115.
- 25.- Hui, Y.H., 1996. Bayley's industrial oil and fat products 5ª Edición Volúmen 3, Editorial Advisory Board, New York pp: 363-366.
- 26.- Anónimo., 1993. Manual de usos del PGPR 4125, Palsggard Industri A/S, Dinamarca pp: 15-24.
- 27.- Anónimo., 1985. Monographs for emulsifiers for foods, European Food Emulsifier Manufacturers Association e.V. 2ª edición, pp: 83-87.
- 28.- Anónimo., 1970. The aplication of admul wol in chocolate manufacture, Food Industries Limited, England pp: 1-7.
- 29.- Muller, H.G., 1977. Introducción a la reología de los alimentos, Editorial Acribia, Zaragoza (España) pp:75-82.

- 30.- De Man J.M, Voisey P.W, Rasper V.F y Stanley D.W.,1976. Rheology and texture in food quality, AVI publishing Co. Wesport pp: 448-450 y 458-468.
- 31.- Rao, M.A and Steffe, J.F., 1997. Measuring yield stress of fluid foods, *Food Technology* 2: 50-52.
- 32.- De Hombre, R. y Valdés, C.,1996. Propiedades reológicas de pastas de chocolate fundido, *Alimentaria* 278 (12): 119-120.
- 33.- Anónimo., 1988. Application of the Casson viscosity method for chocolate to the Brookfield viscometer, *The Manufacturing Confectioner*, 1:76-81.
- 34.- Rao, M.A., 1999. Rheology of fluid and semisolid foods, principles and applications, A Chapman y Hall Food Science Book, Aspen publication Gaithersburg, Maryland pp: 25- 31 y 63-67.
- 35.- Anónimo., 1993. Manual de políticas de aseguramiento de calidad, Cacaos y Chocolates La Corona pp: 5-9.
- 36.- Anónimo., 1997. Manual de costos y administración, Cacaos y Chocolates La Corona pp: 9-11.
- 37.- Barboza, R., (16 de Febrero de 1999). Graves secuelas de explotación de PEMEX en cultivos de plátano y cacao, *El Universal Sección Estados* pp: 1 y 2.
- 38.- Zaraga, F., 1985. Automatización del proceso de producción del chocolate, *Carle Montanari Noticias Milán* 11 (22-23).

39.- Steffe, J.F., 1996. Rheological methods in food process engineering, 2ª edición Freeman Press East Lansing, MI 48823 USA pp: 19-24, 27-35, 150.

40.- Weiss, T.J., 1970. Food oils and their uses, The Avi Publishing Co. Wesport Connecticut pp: 192-193.

41.- Hortwitz, W., 2000. Official methods of analysis of AOAC international, 17ª Edición Maryland 20877-2417 USA, Capitulo 31 pp: 10.

42.- Badui, S.D., 1982. Química de los Alimentos, Editorial Alhambra Mexicana pp: 172-173.