# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

## Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Diseño del Sistema de Esterilización Experimental en la Obtención de Licor de Cacao"

## TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

## INGENIERO DE ALIMENTOS

Presentada por:

Banner Iván Guerrero Albán

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2006

# A G R A D E C I M I E N T O

A Dios por permitir llegar hasta aquí.

A familiares y personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente en el Ing. Luís Miranda y a mi Director de Tesis Ing. José Rodríguez, por su invaluable ayuda.

# D E D I C A T O R I A

MIS PADRES

A MI HERMANO

A MI NOVIA

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

| | |
|---|---|
| _____ | _____ |
| Ing. Omar Serrano V.<br>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL<br>DE GRADUACION | Ing. José Rodríguez W.<br>DIRECTOR DE TESIS |
| _____ | _____ |
| Ing. Luís Miranda S.<br>VOCAL | Ing. Priscila Castillo S.<br>VOCAL |

# DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de ESPOL)

_____

Banner Guerrero Albán

# RESUMEN

En la obtención de licor de cacao, es necesario una esterilización para disminuir la carga microbiana a fin de cumplir los parámetros de las normas establecidas, tanto en el mercado local como el internacional.

En nuestra investigación se va a establecer las actuales condiciones, esto es: descripción del proceso industrial para la obtención del licor de cacao, determinación de la carga microbiana en cada etapa del proceso y conocer las características organolépticas que presenta el licor en dichas condiciones.

Se diseñará y construirá un esterilizador experimental, para comprobar si es o no posible la reducción de la carga microbiana y la determinación del tiempo de proceso. Para esto debemos conocer las características del licor de cacao; cálculo de la conductividad térmica y la determinación de las características reológicas del licor; tales como: índice de consistencia y comportamiento de flujo; para posteriormente caracterizarlo y establecer su modelo matemático.

Una vez conocidas las propiedades del licor de cacao se procederá a la construcción del modelo experimental, llevando acabo un escalado inverso para las características del esterilizador industrial.

Por ultimo se harán pruebas organolépticas para comparar las características del licor de cacao antes y después de la esterilización propuesta.

# ÌNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN……...II

ÌNDICE GENERAL……....III

ABREVIATURAS……..IV

SIMBOLOGÌA……V

ÌNDICE DE FIGURAS……..VI

ÌNDICE DE TABLAS……VII

INTRODUCCION……1

CAPITULO 1

1. GENERALIDADES……..... 2

Materia Prima……..2

Proceso para la Obtención de Licor de Cacao……..6

Características del licor de cacao……..15

CAPITULO 2

2. ANALISIS DEL CASO……..….16

Situación Actual……16

2.1.1 Determinación de la carga microbiana

en cada etapa del proceso……18

2.1.2 Características organolépticas del licor de cacao ……..20

Planteamiento del Problema……..27

Solución Propuesta……..28

CAPITULO 3

3. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL ESTERILIZADOR EXPERIMENTAL…..……..29

Conductividad Térmica de los Alimentos…….29

Calculo de la Conductividad Térmica para el Licor de Cacao……..…….32

Características Reológicas del licor de cacao…….37

Escalado del Esterilizador Experimental……..46

Semejanza Geométrica……..…47

Semejanza Cinemática……..51

Transferencia de Calor……55

CAPITULO 4

4. VALIDACION EXPERIMENTAL DEL PROCESO PROPUESTO.....65

Pruebas Experimentales……....65

Análisis de Resultados…….……..71

Determinación de la nueva carga microbiana en el proceso……...……..76

Características Organolépticas del licor de cacao ……..78

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES……..….86

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

# ABREVIATURAS

| | |
|---|---|
| $C_1$ | Distancia de Paleta sobre la base del Tanque Experimental |
| $C_2$ | Distancia de Paleta sobre la base del Tanque Industrial |
| $D_{int}$ | Diámetro Interno |
| $D_{ext}$ | Diámetro Externo |
| $D_{a1}$ | Diámetro de Paleta Experimental |
| $D_{a2}$ | Diámetro del Paleta Industrial |
| $D_{T1}$ | Diámetro del tanque Experimental |
| $D_{T2}$ | Diámetro del tanque Industrial |
| $\bar{d}$ | Diferencia de los promedios |
| $H_1$ | Altura del Tanque Experimental |
| $H_2$ | Altura del Tanque industrial |
| $j_1$ | Ancho de la chaqueta para el tanque Experimental |
| $j_2$ | Ancho de la chaqueta para el tanque Industrial |
| $K_i$ | Conductividad Térmica del Componente puro |
| $N_1$ | Número de Revoluciones para el agitador Experimental |
| $N_2$ | Número de Revoluciones para el agitador Industrial |
| $P_1$ | Potencia necesaria para el Motor del Tanque Experimental |
| $P_2$ | Potencia necesaria para el Motor del Tanque Industrial |
| S | Desviación Standart |
| $X_i$ | Fracción de Volumen de Cada Componente |
| $X_{vi}$ | Fracción de Volumen |
| $X_{fi}$ | Fracción de Masa |
| $\rho_T$ | Densidad Total |
| $\rho_{ce}$ | Densidad del Componente Ceniza |
| $\rho_c$ | Densidad del Componente Carbohidratos |
| $\rho_f$ | Densidad del Componente Fibra |
| $\rho_g$ | Densidad del Componente Grasa |
| $\rho_p$ | Densidad del Componente proteína |

| | |
|---|---|
| $\rho_w$ | Densidad del Componente Agua |
| $Q_{producto}$ | Cantidad de Calor del Producto |
| R | Relación de Aumento de Escala |
| $r_a$ | Radio del Recipiente |
| $r_b$ | Radio del Rotor |
| $T_l$ | Temperatura del medio Calefactor |
| $T_i$ | Temperatura inicial del líquido en el Tanque |
| $T_f$ | Temperatura final del líquido en el Tanque |
| $\mu_w$ | Viscosidad del producto en la pared del Tanque |
| $Cp_p$ | Calor especifico en el Tanque |
| $Cp_{aceite}$ | Calor específico en el Tanque |
| $\theta$ | Tiempo Transcurrido |
| $W$ | Flujo del líquido calefactor |
| $W_1$ | Ancho de la Paleta del Tanque Experimental |
| $W_2$ | Ancho de la Paleta del Tanque Industrial |

# SIMBOLOGIA

| | |
|---|---|
| A | Área |
| $C_p$ | Calor Específico |
| $Cm^2$ | Centímetro Cuadrado |
| D | Diámetro |
| $\frac{\partial v}{dy}$ | Velocidad de cizalla |
| $h_i$ | Coeficiente Convectivo Interno |
| $h_o$ | Coeficiente Convectivo Externo |
| J | Joules |
| K | Conductividad Térmica |
| *K* | Índice de Comportamiento |
| Kg | Kilogramo |
| KJ | Kilo Joules |
| L | Longitud |
| m | Masa |
| M | metros |
| Min | Minutos |
| N | Número de Revoluciones |
| *Nu* | Número de Nusselt |
| n | Índice de consistencia |
| $\rho$ | Densidad |
| P | Potencia |
| Pa | Pascal |
| $Pr$ | Número de Prandlt |
| r | Radio |
| *Re* | Número de Reynolds |
| Seg | Segundos |
| $\tau$ | Torque |
| ºT | Temperatura |
| $U_c$ | Coeficiente Global |
| $U_D$ | Coeficiente Global Sucio |
| $\mu$ | Viscosidad |
| $\nu$ | Volumen |

# ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.


Figura 1.1 Diagrama de flujo para la obtención de Licor de Cacao……..... 7
Figura 1.2 Recepción Del Cacao…….....8
Figura 1.3 Limpiadora De Granos De Cacao…….....9
Figura 1.4 Tostador……....10
Figura 1.5 Descascarilladora……....11
Figura 1.6 Molino De Pines……....12
Figura 1.7 Molino De Bolas……....13
Figura 1.8 Equipo De Esterilización……....14
Figura 2.1 Temperatura y Tiempo de Esterilización……..17
Figura 2.2 Reducción De La Carga Microbiana……....19
Figura 2.3 Panel de Degustación…….....21
Figura 2.3 Lavado Del Cacao En Grano…….....28
Figura 3.1 Variación De La Densidad……...35
Figura 3.2 Variación De La Conductividad Térmica……...37
Figura 3.3 Variación De La Viscosidad……....38
Figura 3.4 Recta log ($\tau$) vs. log ($2\pi$ N / 60)……....42
Figura 3.5 Caracterización Reológica Del Licor De Cacao……...44
Figura 3.6 Curvas De Flujo Típicas……..45
Figura 3.7 Dimensiones Del Equipo……....47
Figura 3.8 Equipo Construido……....54
Figura 4.1 Aerobios Totales En La Etapa De Recepción……....66
Figura 4.2 Reducción De Aerobios Totales por Efecto de Lavado……..67
Figura 4.3 Validación Del Tiempo De Esterilización……..71
Figura 4.4 Validación De La Muerte Microbiana……72
Figura 4.5 Diagrama de flujo Propuesto.....75
Figura 4.6 Reducción De Aerobios Totales (Proceso Real)…….. ..76
Figura 4.7 Reducción De Aerobios Totales (Proceso Propuesto)……...77
Figura 4.8 Evolución De La Aroma En El Licor De Cacao…….....79
Figura 4.9 Panel de Degustación con la muestra Obtenida…….... 82

# ÍNDICE DE TABLAS

Pág.


Tabla 1 Clasificación Del Cacao En Grano…….....5
Tabla 2 Características Del Cacao Clonal CCN – 51…….....6
Tabla 3 Características Físicas – Químicas Del Licor De Cacao……...15
Tabla 4 Ufc / Gr. En Cada Etapa…….....18
Tabla 5 Grado De Aceptación De Dos Muestras……...22
Tabla 6 Características Organolépticas Del Licor De Cacao……...25
Tabla 7 % De Acidez En El Licor De Cacao A Diferentes Temperaturas.....26
Tabla 8 Composición Química Del Licor De Cacao……..33
Tabla 9 Datos Obtenidos Del Viscosímetro Rotacional……....39
Tabla 10 Esfuerzo Cortante ($\tau$) Expresado En N / $M^2$……...40
Tabla 11 Valores De Log ($2\pi$ N/60) Y Log ($\tau$)……41
Tabla 12 Valores De Esfuerzo Cortante $\tau$, Gradiente De Velocidad $\left(-\frac{\partial v}{\partial y}\right)$ Y Viscosidad……..43

Tabla 13 Dimensiones Y Medidas Del Esterilizador Industrial……..48
Tabla 14 Dimensiones Y Medidas Del Esterilizador Experimental……...53
Tabla 15 Valores De Reynolds En Función Del Índice De Flujo……...59
Tabla 16 Valores De A, B, N, Según El Tipo De Agitador Y El Re……...60
Tabla 17 Valores De Tiempos, Carga Microbiana Y % De Error……..68
Tabla 18 Valores Experimentales De La Esterilización……..69
Tabla 19 Valor Experimental Del % De Acidez Del Licor De Cacao…....70
Tabla 20 Validación Del % De Acidez Del Licor De Cacao……....73
Tabla 21 UFC / Gr. En Cada Etapa…….....78
Tabla 22 Grado De Aceptación De La Esterilización Propuesta……..83
Tabla 23 Características Organolépticas Del Licor Con Esterilización Propuesta……...85

# INTRODUCCION

En la industria de derivados de cacao, la obtención de licor requiere una previa esterilización, para llevar acabo esta etapa se usa un equipo de esterilización con agitación mecánica, cuyo proceso dura 15 horas a 112°C. El objetivo de este trabajo es el de analizar el proceso de obtención de licor de cacao para reducir la carga microbiana en un menor tiempo y temperatura, a fin de obtenerlo dentro de parámetros de las normas de calidad y manteniendo la calidad del producto.

Para lograr este objetivo, se requerirá aumentar una etapa de lavado al proceso con el fin de lavar la fruta y reducir la carga microbiana.
Se ha determinado la conductividad térmica del licor de cacao basándose en sus componentes y a una determinada temperatura, de la misma manera se determino las propiedades reológicas de dicho producto.

Para el desarrollo de esta tesis fue necesario realizar un escalado hacia abajo del esterilizador industrial y construirlo, para realizar las respectivas pruebas experimentales a nivel de laboratorio y comprobar la reducción de la carga microbiana por efecto de la etapa de lavado. De esta manera se va a reducir los parámetros de esterilización a 13 horas y 110 ºC, finalmente validamos el proceso propuesto mediante pruebas microbiológicas y análisis sensorial.

# CAPÍTULO 1

## 1. GENERALIDADES.

Durante mucho tiempo el Ecuador ha sido, y sigue siendo, el más importante productor de cacao fino o de aroma del mundo. El distintivo sabor tradicional conocido como Arriba, particularmente buscado por los fabricantes de chocolates finos y de alta calidad, es una característica especial de la variedad Cacao Nacional, nativa del Ecuador.

### 1.1 Materia Prima

El fruto (la nuez de cacao) puede alcanzar una longitud de 15-25 centímetros. Cada fruto contiene entre 30 y 40 semillas, que una vez secas y fermentadas se convierten en cacao en grano. Las semillas son de color marrón-rojizo en el exterior y están cubiertas de una pulpa blanca y dulce.

El cacao es probablemente mas conocido hoy como la materia prima para la elaboración de chocolate, que absorbe aproximadamente el 90% de la producción mundial del cacao (ver Apéndice A y B). En Ecuador se producen cada año en promedio unos 3 millones de toneladas de cacao en grano. (www 1, 2006)

**Clasificación Del Cacao**

La mayor parte del cacao comercial pertenece a una sola especie *(Theobroma cacao)*, que comprende tres complejos genéticos: los criollos, forasteros, y trinitarios. (www 1, 2006)

**Cacao Criollo**

Cacao de sabor suave. Las variedades derivadas del criollo tienen su origen en América Central y México. El exquisito sabor y el excepcional aroma del cacao criollo son muy apreciados por los chocolateros del mundo entero. No es extraño que los granos de este tipo de cacao se usen siempre en combinación con otras variedades menos caras.

**Forastero**

La variedad forastero es el cacao más cultivado en el mundo, alrededor de un 80 % (www 1, 2006). No se clasifica como “cacao fino” y se emplea mezclándolo como base junto a otras variedades superiores. Existe, no obstante, una excepción en Ecuador, el Cacao Nacional.

El cacao “Nacional” del Ecuador ha sido clasificado de tipo forastero puesto que posee algunas características fenotípicas peculiares, que lo diferencian de otros tipos de cacao. A diferencia de los otros forasteros, el cacao nacional posee un “sabor y aroma” floral característico.

Desde sus inicios se conocía al mejor cacao ecuatoriano como de *Arriba*, ya que este cacao, únicamente destinado a la exportación.

En la TABLA 1, se puede apreciar los principales parámetros considerados para la clasificación del cacao. Las siglas de cada clasificación se exponen a continuación:

- ASE: Arriba Superior Época
- ASS: Arriba Superior Selecto
- ASSS: Arriba Superior Summer Selecto
- ASSPS: Arriba Superior Summer Plantación Selecta.

**TABLA 1**

**CLASIFICACIÓN DEL CACAO EN GRANO**

| | ASE | ASS | ASSS | ASSPS |
|---|---|---|---|---|
| Peso gr. | 105 - 110 | 120 - 125 | 130 - 135 | 135 - 140 |
| %Fermentación | 24 | 60 | 65 | 75 |
| % Humedad | 8 | 8 | 8 | 8 |

Fuente: Norma INEN 176

**Cacao Trinitario**

Finalmente existen diversas variedades híbridas de cacao, entre las cuales la más conocida es el cacao trinitario. Como su nombre sugiere, es originario de Trinidad donde, después de un terrible huracán que en 1727 destruyo prácticamente todas las plantaciones de la isla, surgió como resultado de un proceso de crecimiento. De este modo heredo la robustez del cacao forastero y el delicado sabor del caco criollo.

**CLON CCN – 51**

El cacao CCN – 51 es un cacao que presenta alta tolerancia a las enfermedades y que posee una alta productividad. Tiene un rendimiento promedio de 40 a 50 quintales por hectárea y presenta una marcada precocidad en la producción. La variedad clonal inicia su producción a los 18 meses de edad. La TABLA 2 indica las características del cacao clonal CCN – 51.

**TABLA 2.**

**CARACTERÍSTICAS DEL CACAO CLONAL CCN – 51**

| | |
|---|---|
| Peso de 100 pepas | 154 gr. |
| % de grasa | 52 % |
| % de cáscara | 15 % |
| % de proteína | 12 % |

Fuente: Norma INEN

## 1.2 Proceso De Obtención Del Licor De Cacao

A continuación, en la figura 1.1, se describe el proceso de obtención del licor de cacao, a partir de los granos de cacao.

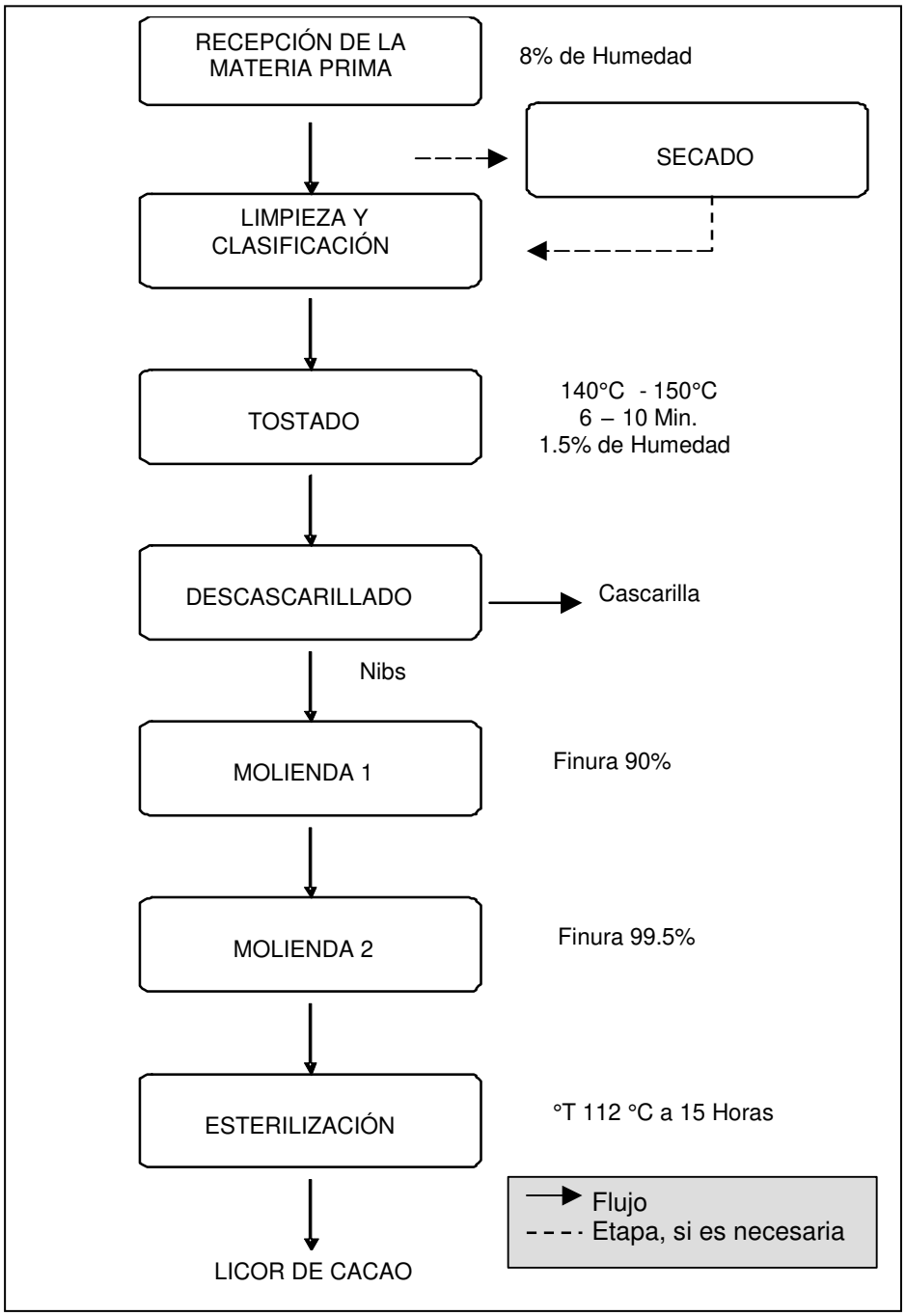


Figura 1.1. Diagrama de flujo para la obtención de Licor de Cacao

**Recepción de la materia prima**

El cacao que ingresa se lo ubica en la bodega de almacenamiento y para que este sea utilizado en el proceso se debe tener en cuenta los siguientes parámetros y consideraciones:

- Su humedad en la etapa de recepción está alrededor del 8 %.
- La cantidad de granza, palos, piedras, etc., debe de ser mayor al 50% de una muestra representativa
- El peso promedio de las 100 pepas no debe de ser inferior a 105 g., (optimo 115g.). (BRAUDEAU, 1975).

Figura 1.2. Recepción Del Cacao

**Secado**

El cacao pasa por esta etapa, solo si la humedad es mayor al 8%. El secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua de un material sólido con el fin de reducir el contenido de liquido residual hasta un valor aceptable (8%), el tiempo de secado dependerá del porcentaje de humedad.

**Limpieza de las habas de cacao**

Las habas de cacao en estado natural contienen gran cantidad de impurezas, debido a que luego de la fermentación realizada en las haciendas, estas son tendidas en el piso para secarlas, allí se contaminan con restos de piedras, sogas, pelos de animales, pedazos de metal, etc.

Figura 1.3. Limpiadora De Granos De Cacao

Este primer proceso tiene como objetivo retirar la mayor parte de las impurezas que pueden afectar los procesos posteriores o introducir sabores extraños al licor.

Se realiza una separación mecánica utilizando tamices vibratorios a través de los cuales se hace pasar un flujo continuo de habas de cacao, separando en los distintos tamices todos aquellos elementos extraños, granza, palos, pelotas y deja pasar el cacao a otro tamiz más pequeño, que separa el cacao quebrado.

**Tostado**

El cacao crudo ingresa a una cámara de precalentamiento, el objetivo de tostar el cacao es bajar el contenido de humedad del 8% a 1.5 - 2% con temperatura de 140°C por siete minutos y desarrollar el aroma y sabor.

Figura 1.4. Tostador

Con este tratamiento térmico se elimina la mayor parte de la carga microbiana y se producen reacciones químicas (tipo maillard), que originan los precursores del sabor y le dan ese olor y sabor característicos, además se eliminan gran cantidad de ácidos volátiles (ácido acético) que pueden afectar el perfil sensorial del licor de cacao.

La reacción de maillard está directamente relacionada con el desarrollo del aroma y sabor del chocolate, es una reacción de pardeamiento no enzimático que se divide en tres etapas:

El paso inicial y que mejor ha sido estudiado y comprendido, es la unión de los azucares reductores y los aminoácidos, formando compuestos llamados glucosilaminas o fructosilaminas, dependiendo del azúcar reductor inicial. (Rollin, 1964)

En el paso intermedio, se forman y reaccionan muchos compuestos, que dan numerosas notas de sabor, los aldehídos, ketonas y otros carbonilos, reaccionan a la forma de pyrazinas, furanos y otros compuestos encontrados en el chocolate.

De la etapa final es donde proviene el término “reacción de pardeamiento”, pues aquí se producen pigmentos insolubles llamados melanoidinas, que dan el tono pardo.

**Descascarillado**

En la descascaradora se produce la operación de rotura de las habas de cacao, en donde se separa la cáscara y su interior (Nibs), el cual es usado en el proceso productivo de transformación de cacao.

Figura 1.5. Descascarilladora

**Molienda gruesa y molienda fina**

Los nibs de cacao tostados, pasan a una primera molienda en un molino de pines, (pre molino) este recibe los nibs, lo premuele, a una finura de 85 %.El producto resultante de este proceso es el licor corriente grueso.

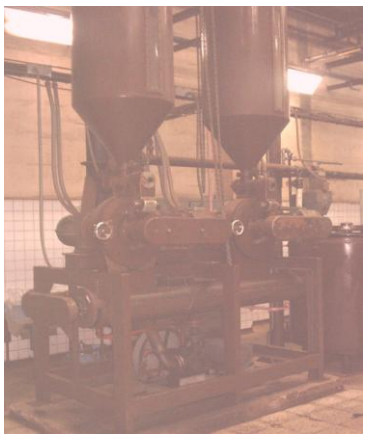

Figura 1.6. Molino De Pines

Este contiene todavía partículas demasiado “grandes” para los procesos siguientes, por lo que se somete a una segunda molienda en molinos de bola, el cual reduce el tamaño de partículas hasta alcanzar una finura de 98.5 % - 90 %.

Figura 1.7. Molino De Bolas

La humedad del licor en esta etapa es menor a 1.5%, este valor es importante pues la humedad y viscosidad están íntimamente relacionados, mientras mayor humedad tenga, más difícil es bombear el licor de cacao, a la siguiente etapa

El calor generado durante la molienda, derrite la grasa contenida en la almendra, de ahí el nombre de “licor de caco”. También se denomina “pasta de cacao”, “pasta de chocolate”, masa de cacao, o, por ejemplo en las normas de identificación de alimentos de los Estados Unidos, simplemente “chocolate”. Cuando está aún más refinado se le denomina también “chocolate repostero no edulcorado”.

**Esterilización**

El licor se esteriliza durante 15 horas, dentro de los Esterilizadores que posee agitación mecánica. La temperatura dentro de estos tanques es de 94°C inicialmente, esto se logra debido a que se encuentran recubiertos por camisas por donde circula aceite térmico a ºT de 100 – 130°C. El tiempo de esterilización es de 5 horas a temperatura constante de 112°C. La finalidad de este proceso térmico es la de bajar la carga microbiana, para obtener licor de cacao dentro de parámetros establecidas por normas de calidad, ver Apéndice C y D.

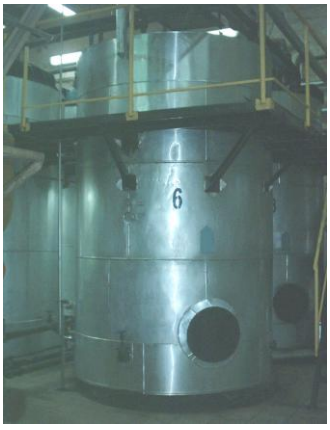


Figura 1.8. Equipo De Esterilización

## 1.3 Características del Licor de Cacao

Licor o pasta de cacao*,* es una pasta de color café que se obtiene de la molienda del grano tostado, sin adicionar o extraer ninguno de sus componentes, al cual previamente se le han eliminado las impurezas y la cascarilla. El licor de cacao mantiene todo el contenido de grasa y las características organolépticas del cacao con que fue preparado. La TABLA 3, nos indica las características físicas y químicas del licor

**TABLA 3**
**CARACTERISTICAS FISICAS – QUIMICAS DEL LICOR DE CACAO**

| | |
|---|---|
| % MANTECA | 56% |
| % HUMEDAD | Máx. 2.0% |
| % CENIZA | Máx. 6.0 % |
| GRANULOMETRIA | Min. 98% |
| Ph | 5.5 – 6.0 |

Fuente: www 2, 2005

La pasta obtenida puede servir para la producción de manteca de cacao y polvo de cacao o bien es utilizado en la preparación de chocolates.

# CAPÍTULO 2

## 2. ANALISIS DEL CASO.

### 2.1 Situación Actual

Como se ha indicado, para obtener licor de cacao, este debe ser esterilizado, para la cual se cuenta con un esterilizador enchaquetado, cuyo medio calefactor es aceite térmico, y agitación mecánica. Esta es la parte mas importante del proceso, pues es aquí donde se logra reducir la carga microbiana del licor de cacao.

El equipo de esterilización posee un tiempo de llenado de 8 horas y una capacidad de 7 toneladas, el licor de cacao entra a una temperatura de 94ºC, esto se debe a la fricción del nibs en los molinos y alcanza una temperatura de 112 ºC, el tiempo trascurrido entre este intervalo es de 10 horas, una vez alcanzada este temperatura, el producto se mantiene por cinco horas más, para lograr la reducción de la carga microbiana. La figura 2.1, muestra un registro de temperatura vs. tiempo del proceso de esterilización.

En el gráfico se puede observar que dicha etapa tiene un tiempo de duración de 15 horas.

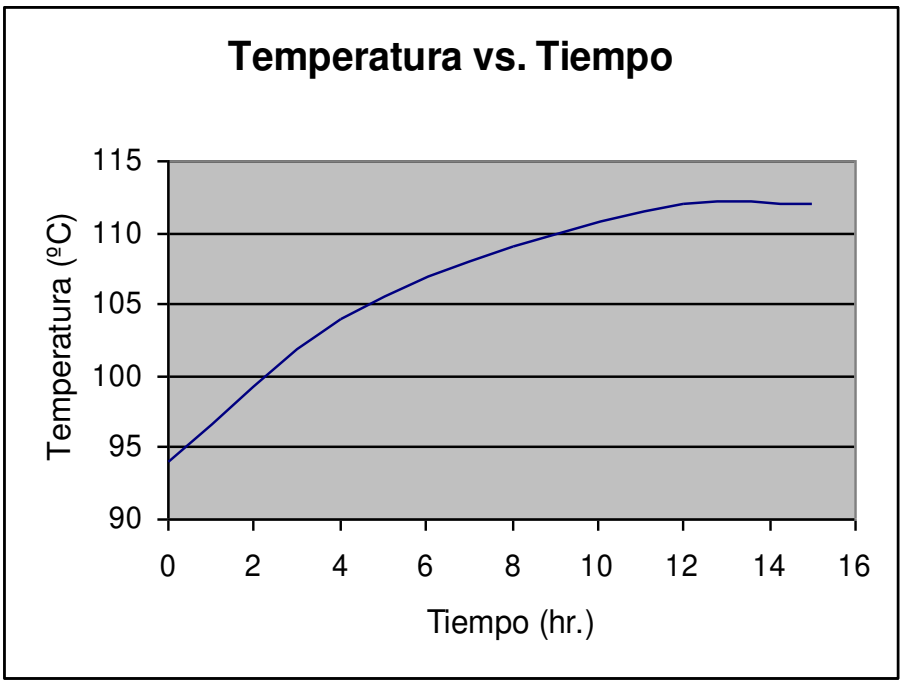


Figura 2.1. Temperatura y Tiempo de Esterilización

Estos parámetros fue una solución a la alta carga microbiana con que se obtenía el licor, pero a su vez un problema, debido a que el calentamiento reduce la calidad organoléptica del producto.

### 2.1.1 Determinación de la carga microbiana en cada etapa del proceso

Una vez conocido el proceso de obtención del licor de cacao, realizamos un análisis microbiológico posterior a cada etapa del proceso para conocer la cantidad de colonias al inicio y final de la etapa. La TABLA 4 presenta los resultados del análisis realizado en cada etapa del proceso.

**TABLA 4**

**UFC / gr. En cada Etapa**

| Etapa | UFC /gr. |
|---|---|
| Recepción | 304000 |
| Limpiadora | 304000 |
| Tostado | 121000 |
| Descascarillado | 65000 |
| Molienda | 51000 |
| Esterilización | 4000 |

Elaborado Por: Banner Guerrero A.

Como podemos darnos cuenta la alta cantidad de microorganismo en la etapa de recepción es elevada, debido a que la fruta proviene de fincas donde esta expuesta a contaminación.

Al pasar a la etapa de tostado, es donde se reduce la mayor cantidad de microorganismos por el efecto de la temperatura, de la misma manera en el descascarillado, por la separación de la cáscara, que es la expuesta al ambiente se logra una disminución más.

Sin embargo en la etapa de esterilización el licor entra con una cantidad de microorganismo muy elevada, por el cual son necesarios los parámetros establecidos.

El siguiente gráfico representa la reducción de microorganismo en la etapa de esterilización.

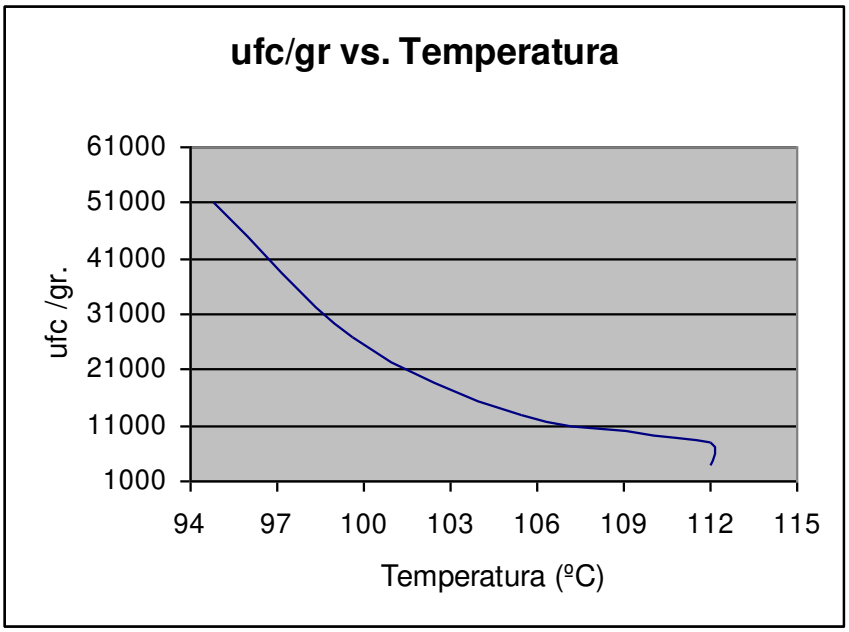


Figura 2.2. Reducción De La Carga Microbiana

### 2.1.2 Características organolépticas del licor de cacao

Una vez realizado el estudio microbiológico en el proceso de obtención del licor, determinaremos las propiedades organolépticas con los parámetros descritos; mediante análisis sensorial, usaremos la prueba; Escala Hedónica, que tiene como objetivo averiguar el grado de satisfacción que el consumidor obtiene en un producto determinado. La prueba se va a efectuar para todas las características organolépticas, obteniendo un perfil organoléptico del grado de satisfacción del consumidor.

La escala hedónica puede tener una forma y una amplitud variable, pero la mas utilizada es la escala descriptiva mixta bipolar, de nueve puntos en la que cada uno de ellos esta marcado por un numero y una expresión descriptiva que refleja la intensidad de la sensación de aceptación o rechazo provocadas por el alimento. El cuestionario de esta prueba se lo presenta en el Apéndice E.

La prueba fue realizada por un grupo de veinte jueces semientrenados. Se presentaron dos muestras de licor: identificados con los números 156 y 407, la primera se la obtuvo del proceso y la segunda es una muestra estándar, la cual nos fue facilitada por una empresa transnacional. En la figura 2.3 se muestra el panel de degustación.

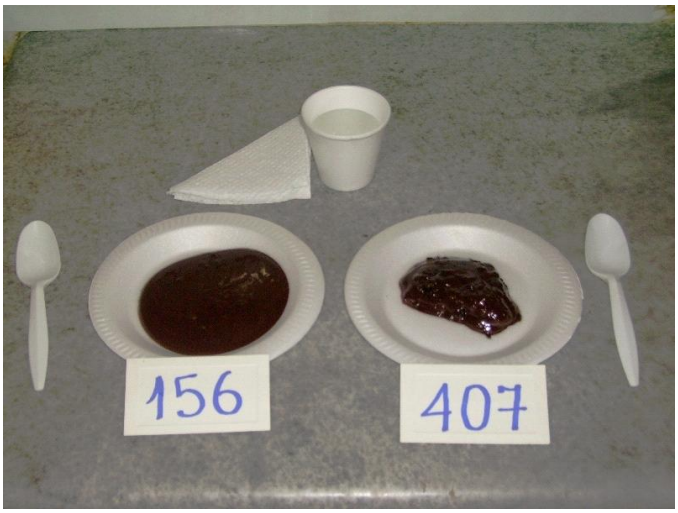


Figura 2.3. Panel de Degustación

Los resultados obtenidos del análisis sensorial, se los tabulan en forma numérica para realizar el estudio estadístico en la tabla siguiente:

**TABLA 5**

**GRADO DE ACEPTACIÓN DE DOS MUESTRAS**

| **Jueces** | **156** | **407** | **Diferencia** |
|---|---|---|---|
| 1 | 4 | 7 | -3 |
| 2 | 6 | 8 | -2 |
| 3 | 4 | 5 | -1 |
| 4 | 3 | 6 | -3 |
| 5 | 6 | 7 | -1 |
| 6 | 5 | 7 | -2 |
| 7 | 7 | 6 | 1 |
| 8 | 4 | 7 | -3 |
| 9 | 5 | 8 | -3 |
| 10 | 3 | 6 | -3 |
| 11 | 6 | 8 | -2 |
| 12 | 2 | 4 | -2 |
| 13 | 5 | 6 | -1 |
| 14 | 4 | 7 | -3 |
| 15 | 6 | 7 | -1 |
| 16 | 6 | 7 | -1 |
| 17 | 2 | 5 | -3 |
| 18 | 5 | 8 | -3 |
| 19 | 3 | 6 | -3 |
| 20 | 5 | 8 | -3 |
| Totales | 91 | 133 | -42 |
| **Promedio totales** | **4.55** | **6.55** | **-2.1** |

Elaborado Por: Banner Guerrero A.

Los valores para cada nuestra son dados numéricamente desde me gusta extremadamente (9) a me disgusta extremadamente (1), los resultados son analizados por análisis de varianzas. Como se utilizan dos muestras los resultados promedios recibidos para cada uno son analizados por la distribución T, Apéndice F.

Obtenemos la diferencia de los promedios ( $\bar{d}$ ) de 156 y 407 sin considerar el signo:

$$\bar{d} = 4.55 - 6.65 = -2.1$$

Aplicamos la siguiente expresión parar obtener la desviación standart (S): (Ec. 2.1)

$$S = \sqrt{\frac{\sum d_i^2 - \left[\sum \left(d^2/n\right)\right]}{n-1}}$$

Donde:

$\sum d_i^2$ = Sumatoria de las diferencias al cuadrado

n = Numero de pares que existen

n = 20

Esto es:

$$\sum d_i^2 = 112$$

$\sum d^2$ = Cuadrado de la suma de las diferencias

Esto es:

$$\sum d^2 = (-42)^2 = 1764$$

Aplicando la Ec. 2.1., obtenemos:

$$S = \sqrt{\frac{112 - [1764/20]}{20 - 1}}$$

$$S = 1.119$$

Encontramos el valor T en la tabla del Apéndice F, con n = 19 y un grado de significancia del 5%, dando como resultado:

$$T = 1.729$$

Si existe una diferencia significativa, siempre mayor, entre:

$$\frac{\bar{d}}{S/\sqrt{n}} > T$$

Se concluye que existe una preferencia significativa; reemplazando valores tenemos que:

$$\frac{2.1}{\left(1.119/\sqrt{19}\right)} > 1.729$$

$$8.18 > 1.729$$

Por lo tanto, decimos que existe una preferencia significativa de la muestra 407 con 156.

Realizado este análisis sensorial entre las dos muestras, dando resultado la preferencia de B, se puede elaborar la TABLA 6, mediante los resultados y comentarios emitidos por los jueces para determinar el estado de la muestra A.

**TABLA 6**
**CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS DEL LICOR DE CACAO**

| | |
|---|---|
| ASPECTO | Pasta con presencia de grumos, color marrón oscuro. |
| ORGANOLEPTICO | Sabor no característico, aroma (humo y acido ligero) y sabor extraño (ligeramente quemado) |

Elaborado Por: Banner Guerrero A.

Como se aprecia en la TABLA 6, el licor no presenta las características organolépticas propias del licor, esto se debe a las severas condiciones de trabajo en la etapa de esterilización; como lo son la alta temperatura y el tiempo, a las cuales el producto se encuentra expuesto.

Además se realizo análisis del porcentaje de acidez a la manteca contenida en el licor de cacao, en la etapa de esterilización para ver su comportamiento en diferentes temperaturas.

Para lograr esto se tuvo que extraer la grasa por medio de solventes como el éter de petróleo y se utilizo el equipo Soxhlet. Obteniendo los siguientes resultados:

**TABLA 7**
**% DE ACIDEZ EN EL LICOR DE CACAO A DIFERENTES TEMPERATURAS**

| Temperatura (°C) | Acidez en el licor de cacao (%) |
|---|---|
| 94 | 1.32 |
| 104 | 1.47 |
| 109 | 1.56 |
| 112 | 1.80 |
| 112 | 2.10 |

Elaborado Por: Banner Guerrero A.

La TABLA 7, muestra que, el porcentaje de acidez a temperatura de 112 ºC es de 2.10%. La norma para la acidez de la manteca es de 1.75%. Por lo tanto la acidez es otro factor que es afectado por las condiciones de trabajo.

## 2.2 Planteamiento del Problema

El principal problema para obtener licor de cacao radica en la etapa de esterilización. Los altos parámetros de tiempo y temperatura, descritos ya anteriormente (Figura 2.1.), nos genera resultados positivos logrando reducir la carga microbiana a 4000 ufc. / gr. como se muestra en la TABLA 4, sin embargo este proceso de esterilización, afecta a las características organolépticas del licor, es decir no presentaba el sabor ni aroma característicos del cacao con que fue elaborado, mostrado en la TABLA 5.

Esto también afecta el porcentaje de acidez de la manteca contenida en el licor de cacao como lo indican los resultados de la TABLA 6. Estos cambios se deben a las severas condiciones que se expone el producto en esta etapa.

Es aquí donde surge la interrogante, si son necesarias tantas horas a tan altas temperaturas para obtener un producto que no agrade al consumidor. Es por este motivo, se propuso el presente trabajo, para cumplir las exigencias internacionales y mantener las cualidades organolépticas del licor. A fin de lograr un mejor nivel de competitividad de un producto que proviene de una fruta que es el orgullo de nuestro País.

## 2.3 Solución Propuesta

Una vez conocido el problema, la solución propuesta mas viable y que no representa altos costos a la empresa, es la de adicionar al proceso una etapa de lavado ubicándola al inicio. Con la finalidad de reducir la carga microbiana inicial del cacao, para de esta manera a la etapa de esterilización llegar con una menor carga y no exponer el licor de cacao a las condiciones actuales.

Figura 2.4. Lavado Del Cacao En Grano

Realizado el lavado del cacao, se procederá a realizar pruebas para establecer los nuevos valores de carga microbiana y parámetros del proceso de esterilización. Para esto también se propone el diseño y construcción del equipo esterilizador a nivel experimental, para luego realizar la validación de los resultados con el agitador industrial.

# CAPÍTULO 3

## 3. DISEÑO DEL ESTERILIZADOR EXPERIMENTAL.

Para realizar el diseño y construcción del equipo de esterilización experimental se tuvo que determinar las características y propiedades reológicas del licor de cacao, luego se realizó un escalado hacia abajo del equipo industrial manteniendo las condiciones de trabajo y se realizó un estudio de transferencia de calor.

### 3.1 Conductividad Térmica de los Alimentos

La conductividad térmica varía con la composición de los alimentos, Chois & Oikos en 1987 estimaron la conductividad de los alimentos de acuerdo a su composición, mediante la siguiente expresión:

$$K = \Sigma(\kappa_i \chi_{vi}) \qquad \text{(Ec. 3.1)}$$

Donde: $\kappa_i$ = Conductividad Térmica del componente puro.

$\chi_{vi}$ = Fracción de Volumen de cada componente.

A continuación se presentan las ecuaciones de la conductividad térmica para cada componente ($K_i$):

- Para el agua ($K_w$)

$$K_w = 0.57109 + 0.0017625\ ºT - 6.7306 \times 10^{-6}\ ºT^2 \qquad \text{(Ec. 3.2)}$$

- Para proteína ($K_p$)

$$K_p = 0.1788 + 0.0011958\ ºT - 2.7178 \times 10^{-6}\ ºT^2 \qquad \text{(Ec. 3.3)}$$

- Para grasa ($K_g$)

$$K_g = 0.18071 + 0.0027604\ ºT - 1.7749 \times 10^{-7}\ ºT^2 \qquad \text{(Ec. 3.4)}$$

- Para Carbohidratos ($K_c$)

$$K_c = 0.2014 + 0.0013874\ ºT - 4.3312 \times 10^{-6}\ ºT^2 \qquad \text{(Ec. 3.5)}$$

- Para cenizas ($K_{ce}$)

$$K_{ce} = 0.3296 + 0.001401\ ºT - 2.9069 \times 10^{-6}\ ºT^2 \qquad \text{(Ec. 3.6)}$$

- Para fibra ($K_f$)

$$K_f = 0.18331 + 0.0012497\ ºT - 3.1683 \times 10^{-6}\ ºT^2 \qquad \text{(Ec. 3.7)}$$

Donde ºT es la temperatura en ºC.

A continuación se presenta la formula general para el cálculo de la fracción de volumen:

$$\chi_{vi} = \frac{\chi_i \rho_T}{\rho_i} \qquad \text{(Ec. 3.8)}$$

Donde $\chi_i$ = Fracción de masa

$\rho_i$ = Densidad individual

$\rho_T$ = Densidad del Producto

La Densidad del producto se obtiene usando la siguiente expresión:

$$\rho_T = \frac{1}{[\Sigma(\chi_i / \rho_i)]} \qquad \text{(Ec. 3.9)}$$

Y para las densidades individuales se tienen las siguientes ecuaciones:

Agua:

$\rho_w$ = 997.18 + 0.0031439ºT – 0.0037574 ºT$^2$ (Ec. 3.10)

Proteína:

$\rho_p$ = 1329.9 – 0.51814 ºT (Ec. 3.11)

Grasa:

$\rho_g$ = 925.59 – 0.41757 ºT (Ec. 3.12)

Carbohidratos:

$\rho_c$ = 1599.1 – 0.31046 ºT (Ec. 3.13)

Fibra:

$\rho_f$ = 1311.5 – 0.36589 ºT (Ec. 3.14)

Ceniza:

$\rho_{ce}$ = 2423.8 – 0.28063 ºT (Ec. 3.15)

Teniendo en cuenta que la densidad esta expresada en Kg. / $m^3$ y la temperatura en ºC.

### 3.1.1 Calculo de la Conductividad Térmica para el Licor de Cacao

Para conocer la conductividad del licor de cacao, se debe de conocer su composición, la cual se presenta en la siguiente tabla expresada en g /100g de muestra:

**TABLA 8**

**COMPOSICION QUIMICA DEL LICOR DE CACAO**

| CONSTITUYENTES | CONTENIDO |
|---|---|
| Humedad | 1.9 |
| Proteínas | 12.1 |
| Grasa | 56.5 |
| Cenizas | 3.5 |
| Fibra Cruda | 2.5 |
| Carbohidratos | 23.5 |

Fuente: www 2, 2005

Lo primero que se va calcular son las densidades individuales ($\rho_i$), cuyas ecuaciones se habían planteado anteriormente para cada componente. Para realizar los cálculos vamos a tomar temperatura de 110ºC, puesto que es la que se quiere alcanzar.

De esta manera obtenemos las densidades para cada uno de los componentes:

$\rho_w$ = 952.06 Kg. / m$^3$ $\rho_c$ = 1564.94 Kg. / m$^3$

$\rho_p$ = 1272.90 Kg. / m$^3$ $\rho_{ce}$ = 2392.93 Kg. / m$^3$

$\rho_g$ = 879.65 Kg. / m$^3$ $\rho_f$ = 1271.25 Kg. / m$^3$

Aplicando la ecuación, (Ec. 3.9) Calculamos la densidad del producto:

$$\rho_T = \frac{1}{9.4174X10^{-4}}$$

$$\rho_T = 1061.85 \text{ Kg. / m}^3$$

A continuación en la figura 3.1 se grafica una recta con su respectiva ecuación para densidades a diferentes temperaturas.

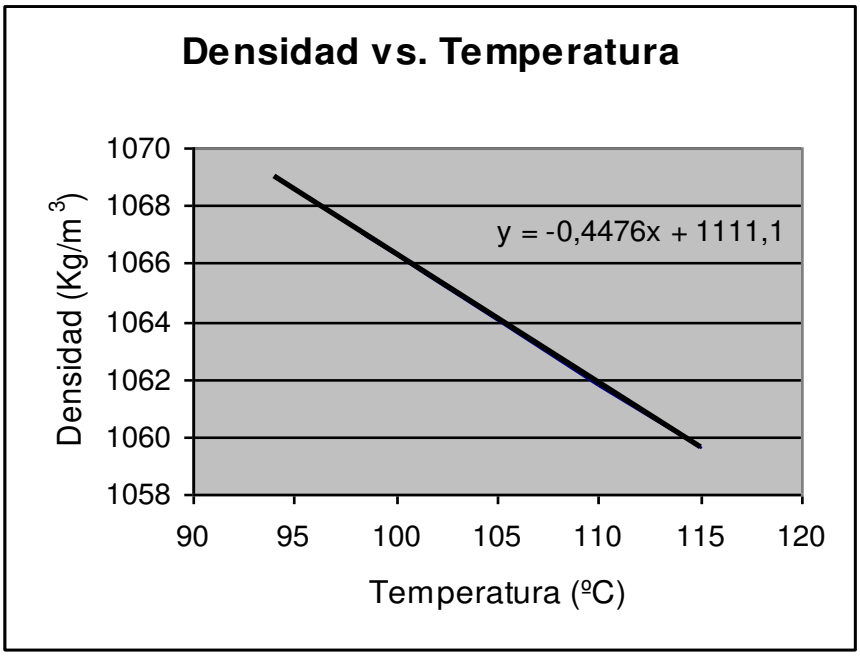


Figura 3.1 Variación De La Densidad

Con la ecuación, (Ec. 3.8) obtenemos la fracción de volumen para cada componente, esto es:

$\chi_{vw} = 0.02119$ $\chi_{v\,g} = 0.6820$

$\chi_{v\,p} = 0.1009$ $\chi_{v\,f} = 0.0208$

$\chi_{v\,ce} = 0.0155$ $\chi_{v\,c} = 0.1594$

Luego calculamos la conductividad térmica para cada componente ($K_i$), obtiene los siguientes resultados:

$K_w$ = 0.683 Kcal. / mhºC $K_c$ = 0.301 Kcal. / mhºC

$K_p$ = 0.277 Kcal. / mhºC $K_{ce}$ = 0.448 Kcal. / mhºC

$K_g$ = 0.482 Kcal. / mhºC $K_f$ = 0.282 Kcal. / mhºC

Y por ultimo para conocer la conductividad térmica del licor de cacao se aplicara la ecuación, (Ec. 3.1)

$$K = 0.683(0,02119) + 0.277(0.1009) + 0.448\ (0.0155) +$$

$$+ 0.482(0.6820) + 0.282(0.0208) + 0.301(0.1594)$$

Obteniendo:

$$K = 0.4319 \text{ w /m ºC} = 0.371 \text{ Kcal. / m h ºC}$$

El siguiente gráfico ilustra la variación de la conductividad térmica con respecto a la temperatura

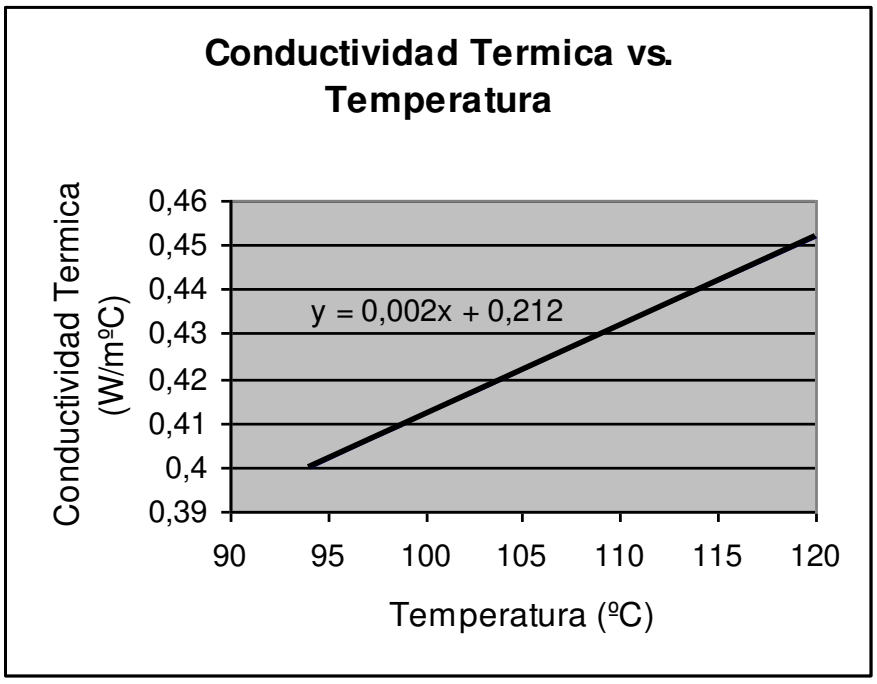


Figura 3.2 Variación De La Conductividad Térmica

### 3.2 Caracterización Reológica del Licor de Cacao

Para determinar la reología del licor de cacao se uso un viscosímetro rotacional la magnitud del esfuerzo cortante puede determinarse mediante la siguiente expresión (ROSALBA, 1988):

(Ec. 3.16)

$$\tau = \frac{M'}{2\pi L R_b^2}$$

Donde: $\tau$ = Esfuerzo Cortante

$M'$ (Torque) es igual a:

$M'$ = (Torque en escala x constante del viscosímetro) / 100

$R_b$ = Radio del rotor

Para obtener el incide de flujo, se obtiene la pendiente de la grafica log. ($\tau$) vs. log. ($2\pi$ N/60).

El gradiente de velocidad esta dada por la siguiente ecuación:

(Ec. 3.17)

$$\left(-\frac{\partial v}{\partial y}\right)=\left(\frac{4\pi N}{60n}\right)\left(\frac{\alpha^{2/n}}{\alpha^{2/n}-1}\right)$$

Donde N es el numero de revoluciones en RPS, n el índice de flujo y

$$\alpha = R_a / R_b$$

$R_a$ = Radio del recipiente

$R_b$ = Radio del Rotor

A continuación se representa la variación de la viscosidad con respecto a la temperatura, mediante lectura directa del viscosímetro.

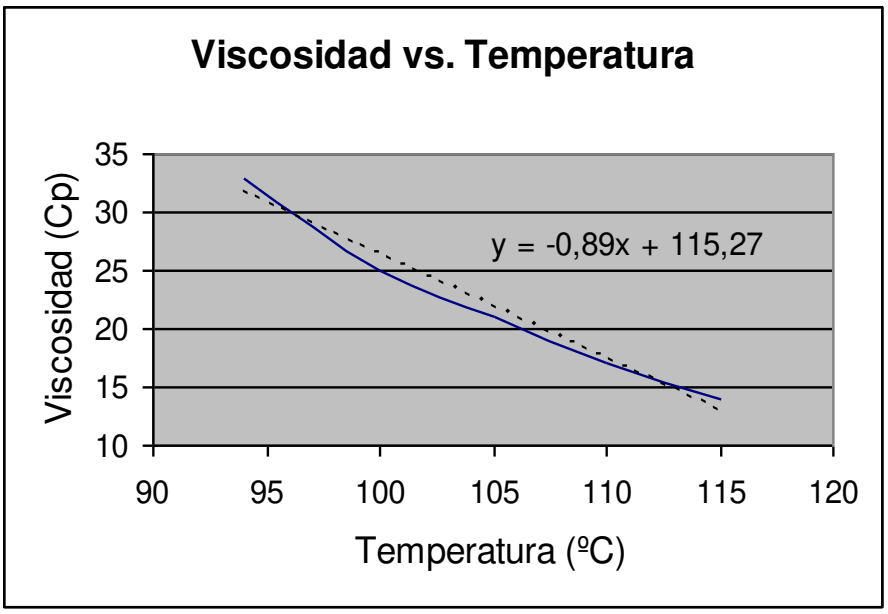


Figura 3.3. Variación De La Viscosidad

En la siguiente Tabla encontramos los datos obtenidos en un viscosímetro rotacional Brookfield a 110 ºC, utilizando el rotor #3.

**TABLA 9**

**DATOS OBTENIDOS DEL VISCOSIMETRO ROTACIONAL**

| N | Torque en escala |
|---|---|
| 0.5 | 17 |
| 1.0 | 28 |
| 2.5 | 38 |
| 5.0 | 47 |
| 10.0 | 60 |
| 20.0 | 81 |

Elaborado Por: Banner Guerrero A.

Para realizar los cálculos son necesarios conocer los siguientes datos:

Radio del recipiente $R_a$ = 0.075m

Radio del rotor $R_b$ = 0.0175m

Longitud del rotor L = 0.03m

Constante del viscosímetro $7.817 \times 10^{-4}$ N-m

Como primer paso se va a calcular los valores de $\tau$, aplicando la ecuación (Ec. 3.16)

Para Torque en escala igual a 17:

$$\tau = \frac{(7.187\text{x}10^{-4} \times 17)/100}{2\pi \times 0.03 \times (0.175)^2}$$

$$\tau = 2.11 \text{ N / m}^2$$

De la misma manera se obtuvieron los siguientes valores para cada valor de torque en escala, TABLA 10:

**TABLA 10**

**ESFUERZO CORTANTE ($\tau$) EXPRESADO EN N / m$^2$**

| Torque en escala | Esfuerzo cortante ($\tau$) |
|---|---|
| 17 | 2.11 |
| 28 | 3.48 |
| 38 | 4.731 |
| 47 | 5.852 |
| 60 | 7.470 |
| 81 | 10.084 |

Elaborado Por: Banner Guerrero A.

Como se había mencionado anteriormente el índice de flujo esta dada por la pendiente de la grafica log ($\tau$) vs. log ($2\pi$N/60). Por lo tanto se debe obtener los logaritmos de $\tau$ y de $2\pi$N/60 para cada número de revoluciones, obteniendo los siguientes valores:

**TABLA 11**

**VALORES DE log ($2\pi$N/60) y log ($\tau$)**

| N | $2\pi$N/60 | Log ($2\pi$N/60) | Log ($\tau$) |
|---|---|---|---|
| 0.5 | 0.0523 | -1.281 | 0.32 |
| 1.0 | 0.1047 | -0.98 | 0.54 |
| 2.5 | 0.261 | -0.58 | 0.67 |
| 5.0 | 0.523 | -0.28 | 0.76 |
| 10.0 | 1.047 | 0.019 | 0.87 |
| 20.0 | 2.094 | 0.320 | 1.0 |

Elaborado Por Banner Guerrero A.

Estos valores permiten conocer el valor de m, la relación $\tau = \mu\left(-\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{y}}\right)$ es una línea recta cuando se representa en un grafico con escala logarítmica, por este motivo se obtuvieron los valores de la TABLA 11.

A continuación se presenta la grafica log ( $\tau$ ) vs. log ($2\pi$ N/60)

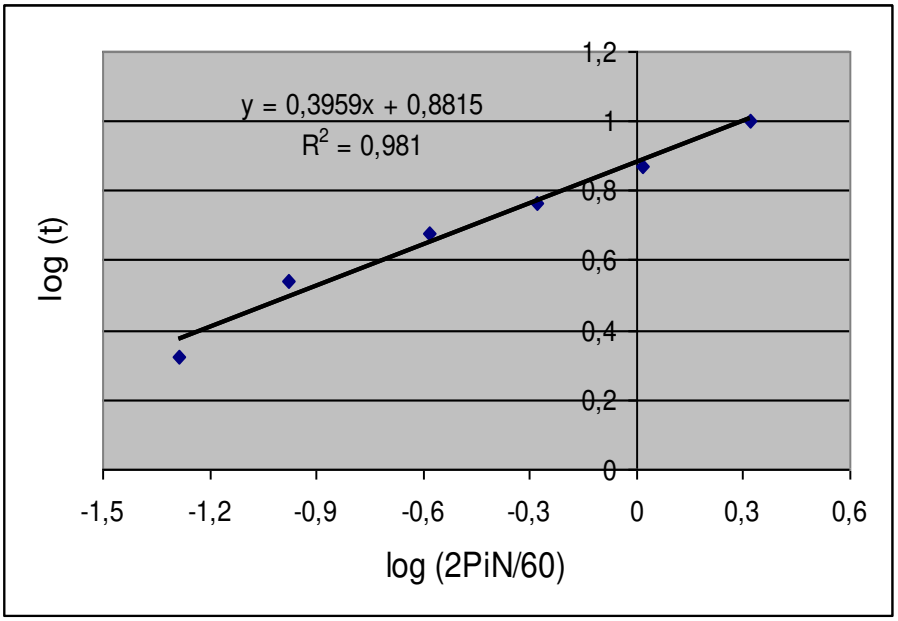


Figura 3.4. Recta log ( $\tau$ ) vs. log ($2\pi$ N / 60)

De esta grafica obtenemos la ecuación de la recta y su pendiente, la cual es el índice de flujo m = 0.3959

Considerando este valor y los de $R_a$, $R_b$ podemos aplicar la ecuación Ec. 3.17 y encontramos el gradiente de velocidad $\left(-\frac{\partial v}{\partial y}\right)$ para cada revolución N, por lo tanto tenemos:

Para N = 0.5 RPM

$$\left(-\frac{\partial v}{\partial y}\right) = (4\pi(0.5)/60(0.3959)) \times \left(\alpha^{2/0.3959} / \left(\alpha^{2/0.3959} - 1\right)\right)$$

$$\left(-\frac{\partial v}{\partial y}\right) = 0.264$$

De esta manera para cada una de las revoluciones, obteniendo los siguientes resultados:

**TABLA 12**

**VALORES DE ESFUERZO CORTANTE $\tau$ , GRADIENTE DE VELOCIDAD $\left(-\frac{\partial v}{\partial y}\right)$ Y VISCOSIDAD**

| **N (RPM)** | $\left(-\frac{\partial v}{\partial y}\right)$ **($s^{-1}$)** | $\tau$ **( $N/m^2$)** | $\mu$ **(cp)** |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.5 | 0.264 | 2.11 | 7.99 |
| 1.0 | 0.529 | 3.48 | 6.57 |
| 2.5 | 1.322 | 4.73 | 3.57 |
| 5.0 | 2.64 | 5.85 | 2.21 |
| 10.0 | 5.29 | 7.47 | 1.41 |
| 20.0 | 10.58 | 10.08 | 0.95 |

Elaborado Por: Banner Guerrero A.

Con los valores de la TABLA 12 se construye el grafico $\tau$ en función de $\left(-\frac{\partial v}{\partial y}\right)$, obteniendo así la curva de flujo del fluido.

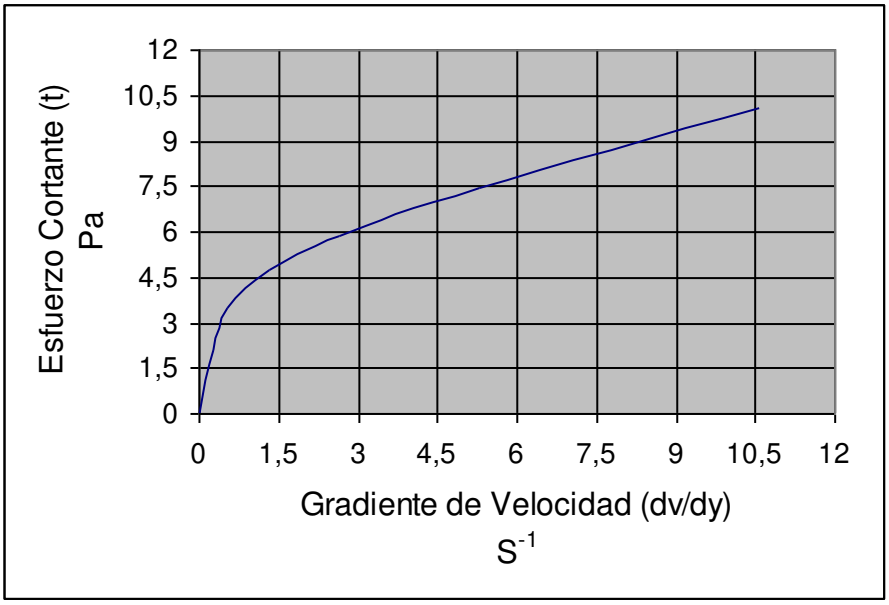


Figura 3.5 Caracterización Reológica Del Licor De Cacao.

De esta curva obtenemos el valor del índice de consistencia K con $\left(-\frac{\partial v}{\partial y}\right)$ = 1, esto es K = 3.868 Pa - s

El siguiente grafico representa las curvas de flujo típicas, donde: 1.- fluido newtoniano; 2.- dilatantes; 3.- seudoplástico; 4.- plástico ideal; 5.- plástico real.

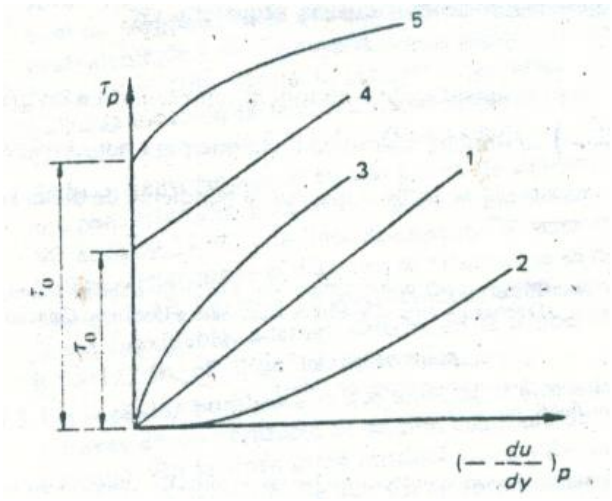


Figura 3.6. Curvas De Flujo Típicas.

Comparando el grafico de figura 3.5 con la curva 3 de la figura 3.6 podemos decir que el licor es un posible fluido seudoplástico, el cual se lo confirma con los siguientes enunciados:

a) Si la viscosidad disminuye con el aumento del esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad se dice que el fluido es seudoplastico.
Nos podemos dar cuenta que en la tabla 12 la viscosidad disminuye, entonces podemos decir que es seudoplastico

b) Si el índice de flujo es menor a la unidad se dice también que es seudoplastico.
El valor de m para el licor es de 0.3959 por lo tanto es seudoplastico.

Una vez que se ha caracterizado el licor de cacao como un fluido, seudoplastico, obtendremos su modelo matemático usando la ecuación de Ostwald de Waele:

$$\tau = \mathrm{K}\left(-\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{y}}\right)^{\mathrm{m}}$$

Reemplazando los valores encontrados nos queda:

$$\tau = 3.868\left(-\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial \mathrm{y}}\right)^{0.3959}$$

### 3.3 Escalado del Esterilizador Experimental

En las industrias de proceso los datos experimentales suelen estar disponibles a partir de un sistema o equipo de laboratorio o de unidad piloto, y se desea aumentar la escala de los resultados para diseñar una unidad a escala industrial. Nuestro caso es lo contrario, se desea realizar un escalado hacia abajo del equipo industrial para realizar pruebas experimentales y comprobar si la etapa de lavado adicionada al proceso da resultados favorables.

### 3.3.1 Semejanza Geométrica

La semejanza geométrica es importante en este tipo de problemas, se debe conocer la razón de reducción de escala R, que esta dada por la expresión:

(Ec. 3.18)

$$R = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{1/3}$$

Donde $V_2$ es el volumen del esterilizador industrial y $V_1$ del esterilizador experimental.

A continuación se conocerá las dimensiones que serán utilizadas en muestro escalado hacia abajo:

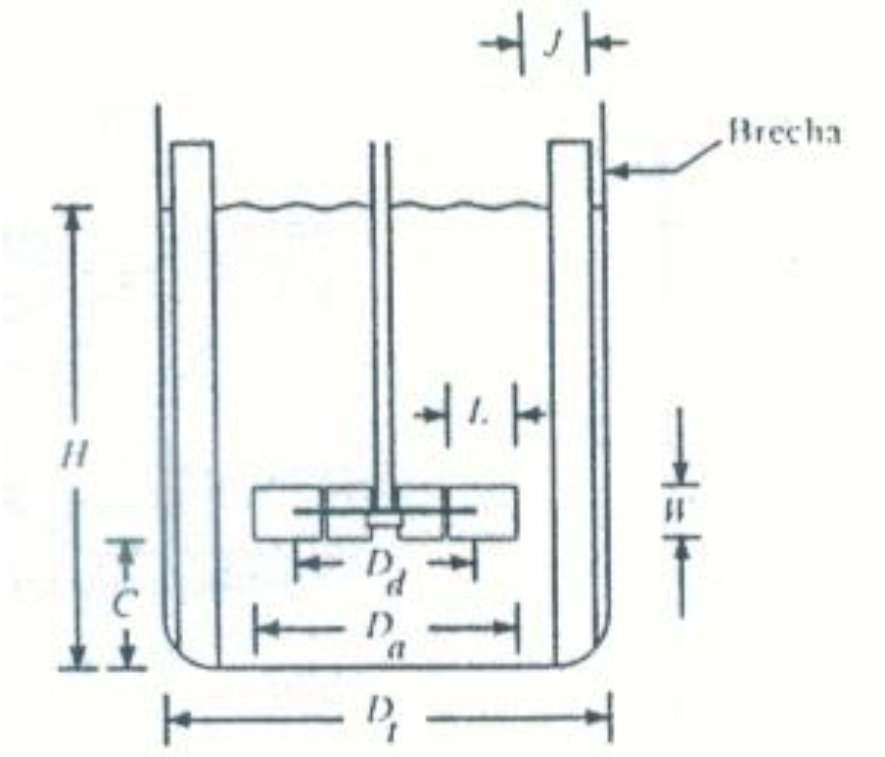


Figura 3.7. Dimensiones Del Equipo

En la TABLA 13 encontramos las medidas de las dimensiones correspondientes del esterilizador industrial:

**TABLA 13**
**DIMENSIONES Y MEDIDAS DEL ESTERILIZADOR INDUSTRIAL**

| ***Descripción*** | **Dimensiones** | **Medidas** |
|---|---|---|
| Diámetro | $D_{T2}$ | 1.7 m |
| Paleta | $D_{a2}$ | 1.5 m |
| Altura | $H_2$ | 2.59 m |
| Ancho (paleta) | $W_2$ | 0.10 m |
| Altura(base/ paleta) | $C_2$ | 0.10 m |
| Chaqueta | $J_2$ | 0.10 m |
| Revoluciones | $N_2$ | 7RPM |
| Potencia | $P_2$ | 5 HP |

Elaborado Por: Banner Guerrero A.

En seguida se seguirá un procedimiento paso a paso para reducir la escala desde las condiciones iniciales, donde los tamaños geométricos están dados en la TABLA 13, hasta las condiciones finales de $D_{T1,}$ $D_{a1,}$ $H_{1,}$ y así sucesivamente:

1. El volumen del esterilizador industrial $V_2$ es de 6480 lts. y realizando una reducción de 1000 veces (R), despejamos $V_1$ de la relación $R= V_2 / V_1$ para obtener el volumen del esterilizador experimental (GEANKOPLIS, 1998):

$$V_1 = \left(\frac{V_2}{R}\right)$$

$$V_1 = 6480 / 1000$$

$$V_1 = 6.480 \text{ lts.}$$

2. Conociendo los dos volúmenes aplicamos la ecuación 3.18 y obtenemos la relación de escala R.

$$R = \left(\frac{6480}{6.480}\right)^{1/3}$$

$$R = 10$$

3. Obteniendo R, aplicamos a todas las dimensiones dadas en la TABLA 13, mediante la siguiente relación: $D_{T2} = RD_{T1}$

Despejando $D_{T1}$ nos queda:

$$D_{T1} = D_{T2} / R$$

$$D_{T1} = 1.7 / 10$$

Obteniendo el valor del diámetro del esterilizador industrial ($D_{T1}$):

$$D_{T1} = 0.17 \text{ m}$$

De la misma relación se obtienen los demás valores para el esterilizador industrial:

Para la paleta ($D_{a1}$):

$$D_{a1} = D_{a2} / R$$

$$D_{a1} = 1.5 / 10$$

$$D_{a1} = 0.15 \text{ m.}$$

Para la altura ($H_1$):

$$H_1 = H_2 / R$$

$$H_1 = 2.59 / 10$$

$$H_1 = 0.259 \text{ m}$$

Para el ancho de la paleta ($W_1$):

$$W_1 = W_2 / R$$

$$W_1 = 0.10 / 10$$

$$W_1 = 0.01 \text{ m}$$

Para la distancia de la paleta sobre la base ($C_1$):

$$C_1 = C_2 / R$$

$$C_1 = 0.10 / 10$$

$$C_1 = 0.01 \text{ m}$$

Para la chaqueta ($J_1$):

$$J_1 = J_2 / R$$

$$J_1 = 0.10 / 10$$

$$J_1 = 0.01 \text{ m}$$

### 3.3.2 Semejanza Cinemática

La semejanza cinemática puede definirse en términos de razones de velocidades o de tiempos. Luego de haber obtenido una regla para la reducción de escala determinaremos la rapidez del agitador $N_1$, cuya revolución se usara en la construcción del esterilizador. Para esto se aplicara la siguiente expresión:

(Ec. 3.19)

$$N2 = N1 \left(\frac{1}{R}\right)^{2/3}$$

Despejando de esta ecuación $N_1$, obtendremos:

$$N_1 = \frac{N_2}{\left(\frac{1}{R}\right)^{2/3}} \qquad \text{(Ec. 3.20)}$$

Reemplazando los valores encontramos que:

$$N_1 = \frac{7}{\left(\frac{1}{9.999}\right)^{2/3}}$$

$$N_1 = 32 \text{ RPM}$$

Conociendo los volúmenes de cada esterilizador y la potencia del industrial ($P_2$). Obtenemos la potencia para el modelo experimenta con la siguiente expresión:

(Ec. 3.21)

$$\frac{P_1}{V_1} = \frac{P_2}{V_2}$$

Despejando $P_1$ de la ecuación 3.21 obtenemos:

$$P_1 = \frac{P_2}{V_2} V_1$$

$$P_1 = \frac{5}{6480} \times 6.48$$

$$P_1 = 0.005\,HP$$

Debido que en el mercado no se encuentra este tipo de potencias, tan bajas usaremos un motor con 0.11 HP para efecto de nuestro diseño.

**TABLA 14**

**DIMENSIONES Y MEDIDAS DEL ESTERILIZADOR EXPERIMENTAL**

| Dimensiones | Medidas |
|---|---|
| $D_{T1}$ | 0.17 m |
| $D_{a1}$ | 0.15 m |
| $H_1$ | 0.259 m |
| $W_1$ | 0.01 m |
| $C_1$ | 0.01 m |
| $J_1$ | 0.01 m |
| $N_1$ | 32 RPM |
| $P_1$ | 0.11 HP |

Elaborado Por: Banner Guerrero A.

En la TABLA 14 encontramos las dimensiones y requerimientos para la construcción del esterilizador experimental.

En la siguiente figura se muestra el equipo de esterilización experimental construido, mediante los datos obtenidos en este capitulo.

Figura: 3.8. Equipo Construido

## 3.4 Transferencia de Calor

Para el estudio de transferencia de calor debemos conocer el calor específico del licor y el área de transferencia del esterilizador experimental:

Para el cálculo del calor específico usaremos la TABLA 8 y aplicaremos la siguiente expresión:

$$C_p = 1(H_2O) + 0.4\ (\text{Fracción grasa}) + 0.2\ (\text{fracción no grasa})$$

Obteniendo el siguiente resultado

$$C_p = 1(0.019) + 0.4\ (0.565) + 0.2\ (0.416)$$

$$C_p = 0.328\ \text{Kcal. / Kg. ºC}$$

Una vez encontrado el $C_p$ del producto podemos encontrar la cantidad de calor que requiere el licor, considerando el calor latente del agua, esto es:

$$Q_{producto} = m_{Licor}\, C_p\, (T_f - T_i) + m_{H2O}\, \lambda \qquad \text{(Ec. 3.22)}$$

Donde el diferencial de temperatura esta dado por:

$M_{H2O}$ = Masa del agua

$T_f$ = Temperatura final del producto (110ºC)

$T_i$ = Temperatura inicial del producto (94ºC)

$\lambda$ = calor latente del agua (540 Kcal. / Kg.)

Aplicando la Ec 3.9 obtenemos el calor requerido:

$Q_{producto}$ = 7 kg x 0.328 Kcal/KgºCx16 ºC+ (7x0.015) kgx540 kcal / kg

$Q_{producto}$ = 93.436 Kcal.

El área de transferencia esta dada por la suma del área lateral y base, en nuestro caso el esterilizador no posee base, quedando la siguiente expresión:

$$\text{Área} = \pi D_i H$$

Reemplazando valores nos queda:

$$\text{Área} = \pi (0.17\ \text{m}) \times (0.259\ \text{m})$$

$$\text{Área} = 0.138\ \text{m}^2$$

Como el medio calefactor es aceite térmico, consideramos que el proceso es no isotérmico y para el estado no estacionario es dada la siguiente expresión (TREYBAL, 1980):

$$\ln \frac{T_1 - T_i}{T_1 - T_f} = \frac{WC}{MCp_p}\left(\frac{K_1 - 1}{K_1}\right)\theta \qquad \text{(Ec. 3.23)}$$

$$K_1 = e^{U_D A / WC} \qquad \text{(Ec. 3.24)}$$

Donde;

$T_1$ = temperatura inicial del medio calefactor

$T_i$ y $T_f$ = temperatura inicial y final del producto en el tanque

$W$ = flujo del aceite circulando en la chaqueta

$Cp_p$ = calor especifico del producto

$C$ = calor especifico del medio calefactor

$\theta$ = tiempo transcurrido

$K_1$ = Coeficiente de relación

$U_D$ = Coeficiente global sucio

$A$ = Área

El flujo de aceite en el esterilizador experimental es de 3 Kg. / min. y el tiempo transcurrido es de 40 min., el valor del calor especifico expresado en KJ / Kg. ºC es 1.374 (WWW 3, 2005).

Aplicando la (Ec. 3.23) obtenemos el valor de $K_1$:

$$\ln = \left( \frac{(124-94)}{(124-110)} \right) = \frac{3(2.75)}{7(1.374)} \times \left( \frac{K_1 - 1}{K_1} \right) \times 40$$

Despejando $K_1$ nos queda:

$$K_1 = 1.0227$$

Reemplazando este valor en la (Ec. 3.24) y despejando $U_D$, coeficiente global sucio, queda:

$$U_D = \frac{\ln K_1 \times W \times C}{A}$$

Reemplazando valores se obtiene el valor de $U_D$

$$U_D = 1.1557 \text{ KJ / m}^2 \text{ min ºC} = 0.2760 \text{ Kcal / m}^2 \text{ min ºC}$$

Una vez que el esterilizador ha alcanzado la temperatura de 110 ºC Se mantiene constante por 12 min., por este motivo se considera en esta parte un estado estacionario y calculamos la cantidad de calor mediante la siguiente ecuación: (Ec. 3.25)

$$Q = U_D A \Delta T_B$$

Donde:

$\Delta T_B$ = Temp. Del fluido de servicio – temp. Del producto

Aplicando la Ec. 3.25 y reemplazando obtenemos:

$Q =$ 0.2760 Kcal. / $m^2$ min. ºC x 0.138 $m^2$ x (124 – 110)ºC

$$Q = 0.533 \text{ Kcal.} / \text{min.}$$

El estado estacionario dura 12 min. Por lo tanto la cantidad de calor queda:

$$Q = 6.398 \text{ Kcal.}$$

La cantidad de calor total es:

$Q_{Total}$ = Q estado estacionario + Q estado no estacionario + Qperdido

$$Q_{Total} = 93.456 \text{ Kcal.} + 6.398 \text{ Kcal.} + 18.69$$

$$Q_{Total} = 118.5456 \text{ Kcal.}$$

Esta cantidad de calor es la requerida para los 45 min. que dura el proceso, por lo tanto se requerirá 2.6345Kcal /min. o 158.06 Kcal./hr.

**Coeficientes convectivos.**

Conocida la cantidad de calor total, procederemos a encontrar los coeficientes convectivos, aplicando la ecuación del número de Nusselt:

$$Nu = a\,Re^{b}\,Pr^{1/3}\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{n} \qquad \text{(Ec. 3.26)}$$

Donde el número de Prandtl (Pr) es: (Ec. 3.27)

$$Pr = \frac{C_p \times \mu}{K}$$

De la siguiente tabla, obtenemos el Re, en función del índice de flujo cuyo valor fue encontrado anteriormente y es m = 0.3959

**TABLA 15**
**VALORES DE REYNOLDS EN FUNCION DEL INDICE DE FLUJO**

| INDICE DE FLUJO (m) | NUMERO DE REYNOLDS (Re) |
|---|---|
| 1.0 | 2100 |
| 0.8 | 2400 |
| 0.6 | 2630 |
| 0.4 | 2900 |
| 0.3 | 3300 |

Fuente: ROSALBA, 1988

Realizando una aproximación de nuestro índice de flujo a 0.4 obtenemos Re, que es igual a 2900.

**TABLA 16**

**VALORES DE a, b, n, SEGÚN EL TIPO DE AGITADOR Y EL Re**

| TIPO DE AGITADOR | a | b | n | Re |
|---|---|---|---|---|
| Paleta | 0.36 | 0.66 | 0.14 | $300 – 3.10^5$ |
| Turbina de aspas | 0.53 | 0.66 | 0.24 | 80 – 200 |
| Turbina de aspas planas | 0.54 | 0.66 | 0.14 | $40 – 3.10^5$ |
| Propela | 0.54 | 0.66 | 0.14 | $>2.10^3$ |
| Ancla | 1.0 | 0.5 | 0.18 | 10 - 300 |
| Tira helicoidal | 0.63 | 0.5 | 0.18 | $8 – 10^5$ |

Fuente: PERRY, 2001

De la TABLA 16 obtenemos los valores de a, b, n para un Re de 2900 y Paleta que es el tipo de agitador utilizado.

Conociendo los valores de calor específico, conductividad térmica y la viscosidad por lectura directa a 110 ºC, que es 17cp o 61.2 Kg. / m hr ºC.

Calculamos el número de Prandtl (Pr) aplicando la (Ec. 3.27) esto es:

$$Pr = \frac{0.328\left(\frac{Kcal}{Kg°C}\right) \times 61.2\left(\frac{Kg}{mhr}\right)}{0.371\left(\frac{Kcal}{mhr°C}\right)}$$

$$Pr = 54.106$$

$\mu_w$ , es la viscosidad por lectura directa del licor en la pared del esterilizador, esto es 14 cp a 115 ºC. Por lo tanto encontramos el número Nusselt aplicando la (Ec. 3.26):

$$Nu = 0.36(2900)^{0.66}(54.107)^{1/3}\left(\frac{17}{14}\right)^{0.14}$$

$$Nu = 269.799$$

Aplicando la siguiente expresión encontramos el coeficiente covectivo externo del esterilizador industrial:

$$h_o = \frac{Nu\,\kappa}{D_{int.}}$$

Esto es:

$$h_o = \frac{269.799 \times 0.371(Kcal/mhr°C)}{1.7(m)}$$

$$h_o = 58.879\,\frac{Kcal}{m^2 hr°C}$$

Cuando los equipos de transferencia de calor han estado en servicio por algún tiempo, se les deposita incrustaciones y basura en la parte interior y exterior del mismo, es por este motivo se usan resistencias o factor de incrustación Rm y Rd.

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_c} + Rm + Rd \qquad \text{(Ec. 3.28)}$$

Donde:

$U_D$ = coeficiente global sucio

$Rm$ = resistencia por incrustaciones

$Rd$ = resistencia por deposiciones

$Uc$ = coeficiente global limpio $U_C$ y esta dada por:

(Ec. 3.29)

$$U_C = \frac{h_0 \cdot h_i}{h_0 + h_i}$$

Para efecto de nuestros cálculos se va asumir que las resistencias por deposiciones ($Rd$) e incrustaciones ($Rm$) es cero, por lo tanto sustituyendo la (Ec. 3.29) en (Ec. 3.28) y despejando el coeficiente convectivo interno nos queda:

$$h_i = \frac{U_D \cdot h_0}{(h_0 - U_D)}$$

Entonces:

$$h_i = \frac{16.56\left(\frac{Kcal}{m^2 hr°C}\right) \times 58.879\left(\frac{Kcal}{m^2 hr°C}\right)}{58.879\left(\frac{Kcal}{m^2 hr°C}\right) - 16.56\left(\frac{Kcal}{m^2 hr°C}\right)}$$

$$h_i = 24.098 \frac{Kcal}{m^2 hr°C}$$

Aplicando la (Ec. 3.29) calculamos el coeficiente global limpio:

$$U_C = \frac{58.879\left(\frac{Kcal}{m^2 hr°C}\right) \times 24.098\left(\frac{Kcal}{m^2 hr°C}\right)}{58.879\left(\frac{Kcal}{m^2 hr°C}\right) + 24.098\left(\frac{Kcal}{m^2 hr°C}\right)}$$

$$U_C = 16.559 \frac{Kcal}{m^2 hr°C}$$

Calculando mediante la siguiente expresión el coeficiente convectivo interno del esterilizador experimental, nos queda que:

$$Q_{Total} = h_i A \Delta T$$

$$h_i = \frac{158.54\left(\frac{Kcal}{hr}\right)}{0.138 m^2 \times (110 - 94)°C}$$

$$h_i = 71.58 \frac{Kcal}{m^2 hr°C}$$

Una vez obtenida la cantidad de calor requerido por el licor, y la suministrada por el medio calefactor, concluimos que la eficiencia del equipo es:

$$\varepsilon = \frac{Q_{Re\ querido}}{Q_{Total}} \times 100$$

$$\varepsilon = \frac{93.43Kcal}{118.54Kcal} \times 100$$

$$\varepsilon = 79\%$$

El 21% representa las pérdidas de calor generado por el sistema, debido a no presentar algún tipo de aislante térmico.

# CAPÍTULO 4

# 4. VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DEL PROCESO PROPUESTO

## 4.1 Pruebas Experimentales

Para cumplir nuestro principal objetivo fue necesario realizar pruebas a nivel de laboratorio, aplicando un lavado al cacao en grano, con el fin de reducir la carga microbiana, para posteriormente utilizar el esterilizador experimental y validar la esterilización propuesta.

Como primer paso se determinó la carga microbiana al inicio del proceso, para esto se realizó una siembra para conocer la cantidad de aerobios totales, en la etapa de recepción. La figura 4.1 nos muestra el grado de contaminación que presenta esta etapa, cada punto rojo representa una unidad formadora de colonia por gramo de muestra (ufc/gr.). Por presentar un número elevado de ufc, se concluye que la muestra tiene una cantidad incontable de aerobios totales.

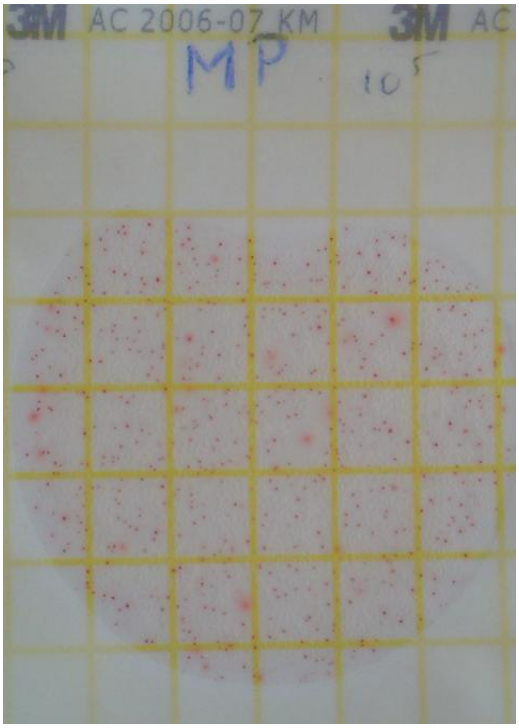


Figura: 4.1.Aerobios Totales En La Etapa De Recepción

Conocido el resultado microbiológico; se procedió a realizar el lavado del grano de cacao y una nueva siembra, para observar sí existe una reducción de la carga microbiana.

Con el lavado aplicado, se obtuvo resultados positivos, como se muestra en la figura 4.2, logrando reducir una cantidad considerable de aerobios totales.

Ambas siembras se realizaron a una dilución de $10^5$ para lograr observar con mayor efectividad el crecimiento, puesto que en diluciones menores era imposible determinar la carga microbiana.

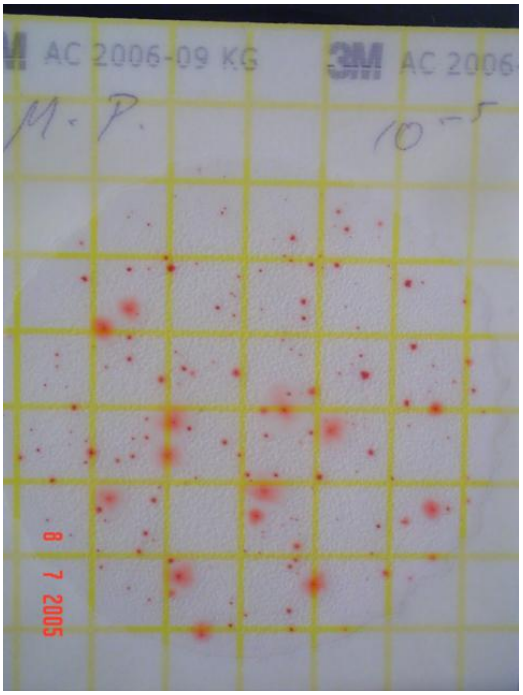


Figura: 4.2. Reducción De Aerobios Totales por Efecto de lavado

Siendo favorable los resultados, procedemos a realizar pruebas en el esterilizador experimental, diseñado en el capítulo tres, mostrado en la figura 3.8

Para obtener un margen de error, y el tiempo de esterilización del diseño experimental, se realizaron varias corridas experimentales, para comprobar si el equipo funcionaba correctamente, una vez alcanzado este propósito, se esterilizó una muestra de licor de cacao, para comparar resultados microbiológicos del equipo experimental con el real, obteniendo los siguientes resultados:

**TABLA 17**

**VALORES DE TIEMPOS, CARGA MICROBIANA Y % DE ERROR**

| Temp. (ºC) | Tiempo (Hrs.) | Tiempo Experimental (Min.) | Carga Real (ufc/gr) | Carga Experimental (ufc/gr) | % de Error |
|---|---|---|---|---|---|
| 98 | 1 | 4 | 51000 | 51000 | 0 |
| 100 | 2 | 8 | | | |
| 102 | 3 | 12 | | | |
| 104 | 4 | 16 | 27000 | 32000 | 18.52 |
| 106 | 5 | 20 | | | |
| 107 | 6 | 24 | | | |
| 108 | 7 | 28 | | | |
| 109 | 8 | 32 | 13000 | 11000 | 15.38 |
| 110 | 9 | 36 | | | |
| 111 | 10 | 40 | | | |
| 112 | 11 | 44 | | | |
| 112 | 12 | 48 | 8000 | 9000 | 12.5 |
| 112 | 13 | 52 | | | |
| 112 | 14 | 56 | | | |
| 112 | 15 | 60 | 4000 | 4400 | 10.0 |

Elaborado Por: Banner Guerrero A.

Como se puede observar en la TABLA 17 el tiempo de duración del proceso experimental se lleva acabo durante 60 minutos, esto es sin la etapa de lavado, y presenta un porcentaje de error variable en cada punto del muestreo, debido a que la reducción de microorganismo no es lineal.

Una vez conocido el tiempo de proceso y el porcentaje de error, se realizó la esterilización del licor con las habas de cacao, las cuales se les aplico el lavado mencionado anteriormente, logrando reducir de 51000 a 42000 ufc/gr.

**TABLA 18**

**VALORES EXPERIMENTALES DE LA ESTERILIZACIÓN**

| Temperatura °C | Tiempo (Min.) | Carga Experimental | Carga Real |
|---|---|---|---|
| 94 | 4 | 42000 | 42000 |
| 96 | 8 | | |
| 100 | 12 | | |
| 102 | 16 | | |
| 104 | 20 | 18000 | 21300 |
| 106 | 24 | | |
| 107 | 28 | | |
| 108 | 32 | | |
| 109 | 36 | 8000 | 9200 |
| 109 | 40 | | |
| 110 | 44 | | |
| 110 | 48 | | |
| 110 | 52 | 2000 | 2200 |

Elaborado Por: Banner Guerrero A

Como se muestra en la TABLA 17, la esterilización experimental con la aplicación del lavado de la materia prima, reduce la temperatura a 110 ºC y 52 min., obteniendo una carga microbiana de 2000 ufc/gr, logrando obtener licor de cacao dentro de los parámetros establecidos.

El otro parámetro que también era afectado por las condiciones anteriores, era la acidez de la manteca en el licor de cacao. De igual manera se realizaron los análisis de este parámetro durante y culminada la esterilización experimental.

**TABLA 19**

**VALOR EXPERIMENTAL DEL % DE ACIDEZ DEL LICOR DE CACAO**

| Tiempo (Min.) | Temperatura °C (Experimental) | % de Acidez del licor de cacao |
|---|---|---|
| 4 | 94 | 1.32 |
| 8 | 96 | |
| 12 | 100 | |
| 16 | 102 | |
| 20 | 104 | 1.40 |
| 24 | 106 | |
| 28 | 107 | |
| 32 | 108 | |
| 36 | 109 | 1.51 |
| 40 | 109 | |
| 44 | 110 | |
| 48 | 110 | |
| 52 | 110 | 1.64 |

Elaborado Por: Banner Guerrero A.

Los resultados presentados nos indican, que con la adición de la etapa de lavado, también se puede corregir el porcentaje de acidez de la manteca en el licor de cacao y obtenerlo dentro de norma, esto es 1.64 %.

## 4.2 Análisis de Resultados

Realizadas las pruebas experimentales, procedemos a la validación del proceso propuesto, mediante comparación de la esterilización real con la experimental.

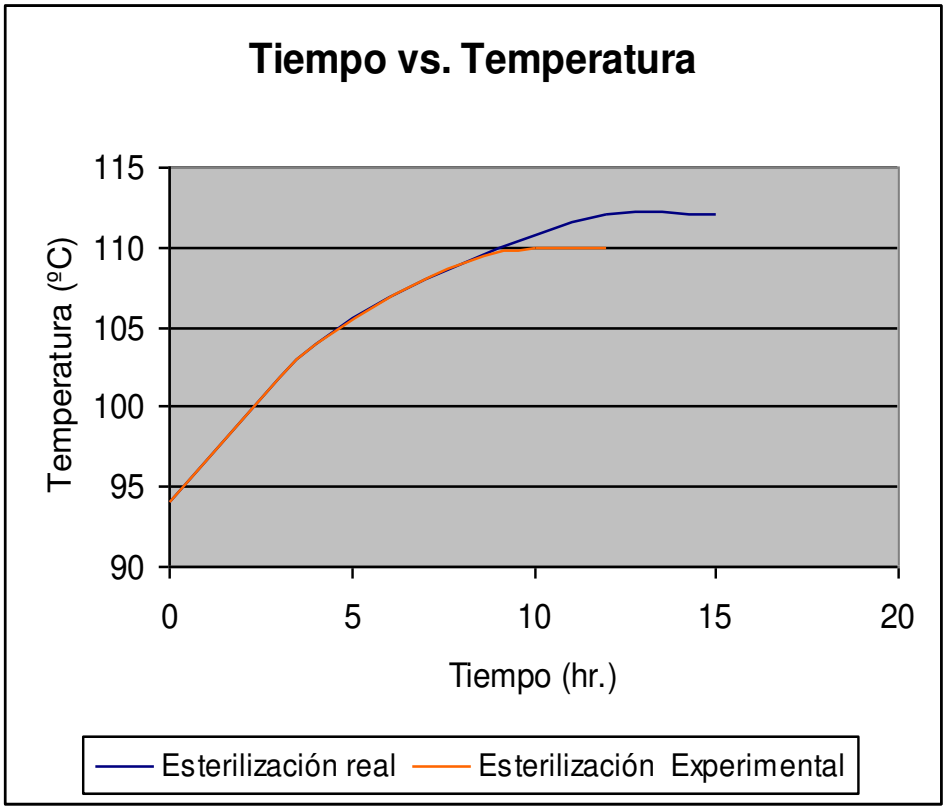


Figura 4.3. Validación Del Tiempo De Esterilización

El gráfico de la figura 4.3., nos muestra que se puede reducir tanto el tiempo como la temperatura a 13 horas y 110 ºC respectivamente, logrando ahorro de mano de obra y consumo de energía.

Con lo que respecta a la reducción de la carga microbiana, se logro cumplir con el objetivo de reducir las unidades formadoras de colonia, obteniendo un licor de cacao dentro de norma. Como se muestra en la grafica de la figura 4.4., el proceso propuesto se logra en una temperatura de 110 ºC y con 2000 ufc / gr.

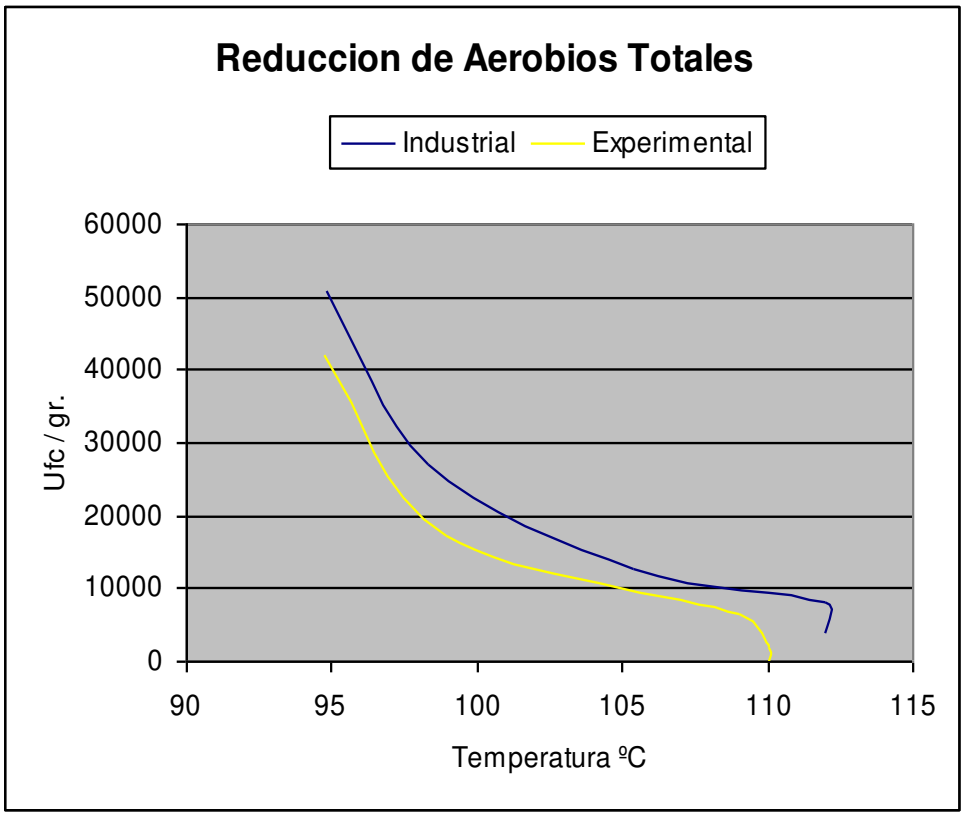


Figura 4.4. Validación De La Muerte Microbiana

En la siguiente tabla, se muestran los resultados comparativos del porcentaje de acidez del licor de cacao, del proceso real con el experimental, definidas las temperaturas de trabajo. Logrando reducir dicho porcentaje con la esterilización experimental, esto se debe a la reducción del tiempo y temperatura del proceso, logrando de esta manera; no exponer al licor de cacao a las severas condiciones de trabajo del proceso real.

**TABLA 20**

**VALIDACION DEL % DE ACIDEZ DEL LICOR DE CACAO**

| Temp. °C (Real) | % de Acidez (Proceso real) | Temperatura °C (Experimental) | % de Acidez (Experimental) |
|---|---|---|---|
| 94 | 1.32 | 94 | 1.32 |
| 98 | | 96 | |
| 100 | | 100 | |
| 102 | | 102 | |
| 104 | 1.47 | 104 | 1.40 |
| 106 | | 106 | |
| 107 | | 107 | |
| 108 | | 108 | |
| 109 | 1.56 | 109 | 1.51 |
| 110 | | 109 | |
| 111 | | 110 | |
| 112 | | 110 | |
| 112 | 1.80 | 110 | 1.64 |
| 112 | | | |
| 112 | 2.10 | | |

Elaborado Por: Banner Guerrero A

Una vez conocido las ventajas; reducción de tiempos y temperaturas, carga microbiana y porcentaje de acidez, en el licor de cacao, por efecto de la aplicación de un lavado en el cacao en grano, se recomienda adicionar esta etapa al proceso. El nuevo diagrama de flujo se presenta a continuación:

**Diagrama de Flujo Propuesto Para la Obtención de Licor de Cacao**

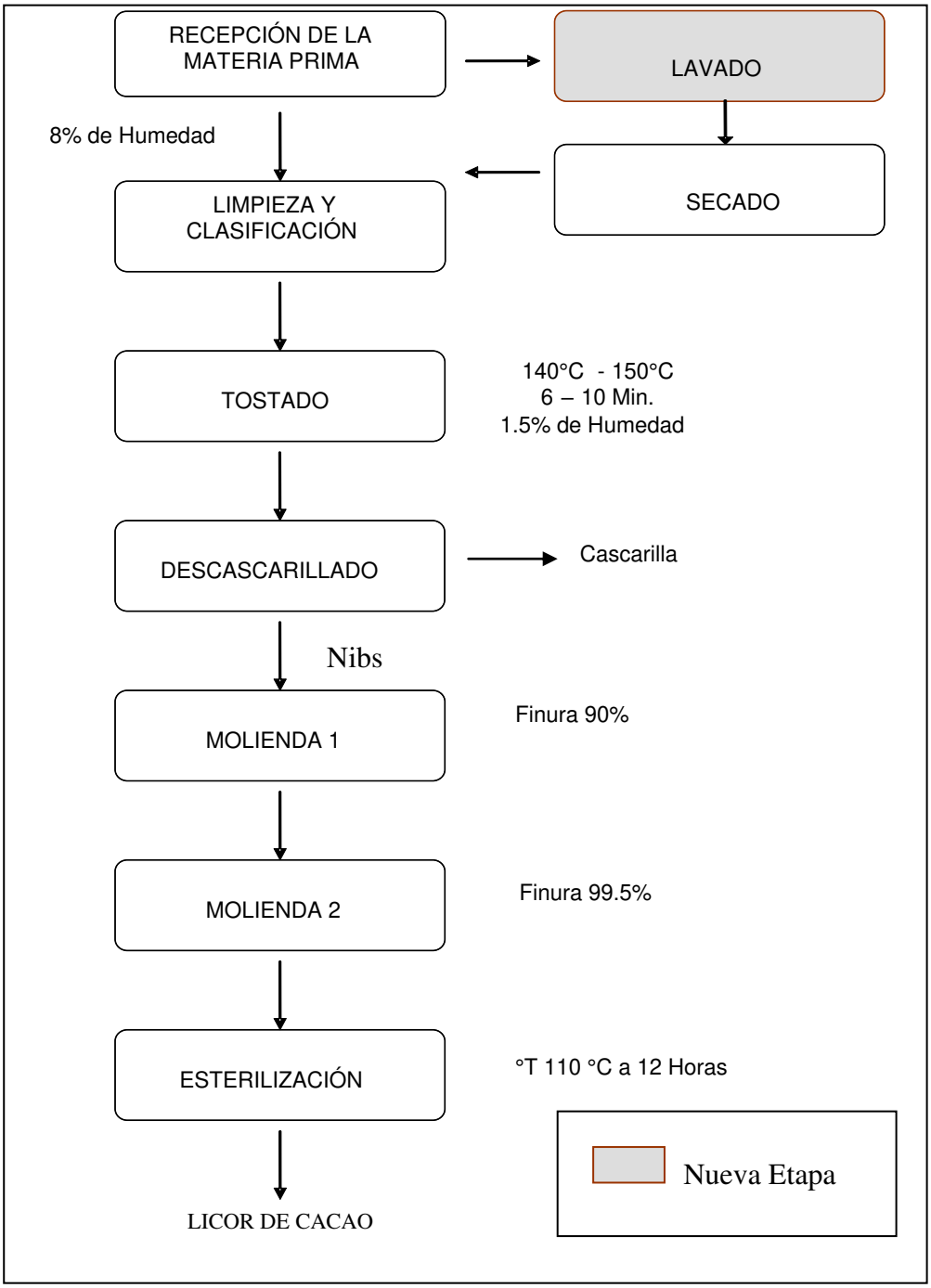


Figura 4.5 Diagrama de flujo Propuesto

### 4.2.1 Determinación de la nueva carga microbiana en el proceso

Al final de la esterilización de ambos procesos, se determinó la cantidad de colonias de aerobios totales, mostrados en las siguientes figuras, logrando de esta manera cumplir nuestro principal objetivo.

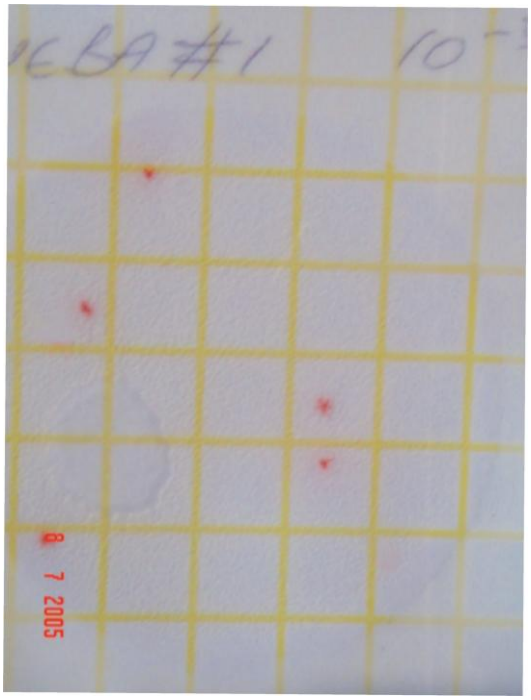


Figura 4.6. Reducción de Aerobios Totales (Proceso Real)

Figura 4.7.Reducción de Aerobios Totales(Proceso Propuesto)

Conocidos los resultados de la esterilización, se determinó la carga microbiana en cada etapa del proceso propuesto, presentando los resultados en la siguiente tabla:

**TABLA 21**

**UFC / gr. En cada Etapa**

| Etapa | UFC /gr. (Proceso Real) | UFC /gr. (Proceso Propuesto) |
|---|---|---|
| Recepción | 304000 | 304000 |
| Lavado | ---------- | 236000 |
| Secado | 280000 | 210000 |
| Limpiadora | 280000 | 210000 |
| Tostado | 121000 | 102000 |
| Descascarillado | 65000 | 54000 |
| Molienda | 51000 | 42000 |
| Esterilización | 4000 | 2000 |

Elaborado Por: Banner Guerrero A.

### 4.2.2 Características Organolépticas del licor de cacao

En el ejemplo representado por el diagrama de la Fig. 4.7, hemos considerado un curso rectilíneo con aumentos de temperatura directamente proporcionales al tiempo.

En realidad, el curso es distinto en la parte inicial y en la parte terminal, pero esto no modifica el significado de la evolución del aroma y su correspondiente representación gráfica.

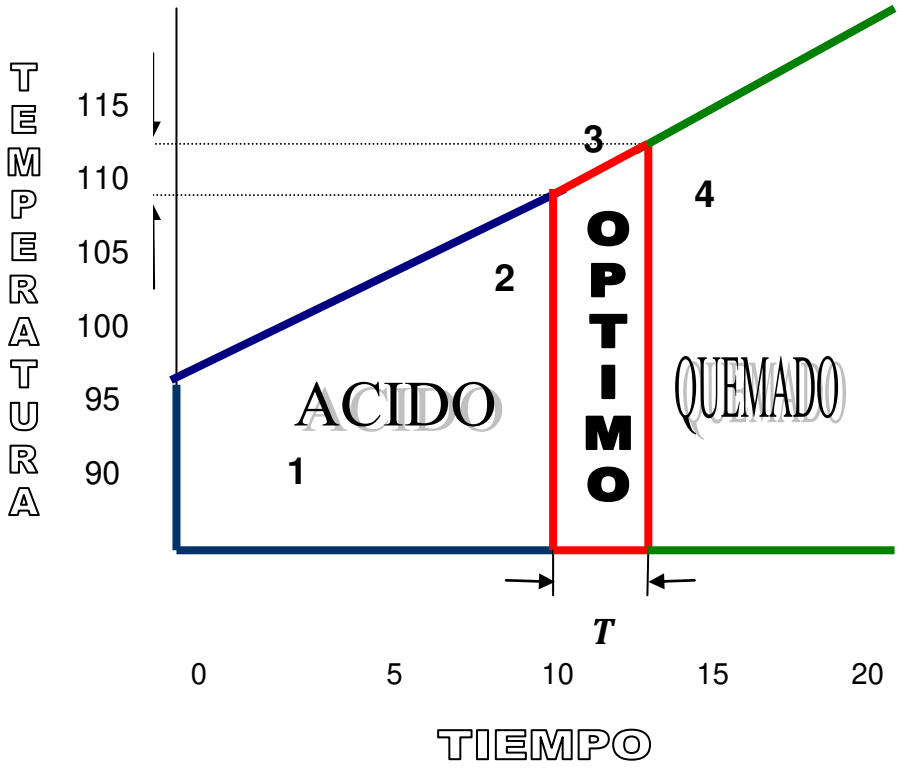


Figura 4.8. Evolución De La Aroma En El Licor De Cacao

Una representación gráfica elemental de las percepciones sensoriales del proceso de esterilización puede estar constituida por el diagrama de la figura 4.7, en el cual vemos sucederse los distintos olores al avanzar el proceso, que corresponde con aproximación a la elevación de la temperatura.

Siguiendo la esterilización del licor de cacao, se puede comprobar por el olfato las siguientes percepciones:

1. Primero, empezará a manifestarse, y aumentará progresivamente un olor ácido, picante, decididamente desagradable. La intensidad de esta sensación aumentará al aumentar la temperatura interna del licor de cacao, por cuanto la elevación térmica provoca la volatilización de los ácidos libres, como por ejemplo el ácido acético, y de otros compuestos volátiles que resultan presentes como residuos de la fermentación que el cacao experimenta en las distintas haciendas del país.

2. Luego, de manera gradual, se observa la disminución de la acidez sensible y el desprenderse del perfume característico del cacao bien cocido, hasta que este segundo olor sustituirá el olor ácido. Cuando la cantidad preponderante de ácido ha sido eliminada, el aroma en formación del cacao toma el lugar del olor ácido y, por tanto, desde el punto de vista organoléptico, lo sustituye.

3. Esta es precisamente la zona óptima de la esterilización, en la cual el efecto térmico programado proporciona las reacciones de Maillard, Streker, encargados de la evolución de los aromas.

Durante esta etapa, advertiremos por completo el perfume del licor de cacao. Esto se logro debido al acortamiento de tiempo y temperatura alcanzado con la nueva etapa de lavado y la esterilización propuesta, es en esta fase donde se reflejan los resultados.

4. Al continuar la esterilización, se percibirá algo así como olor a quemado, dicho olor cubrirá muy pronto el mencionado anteriormente, y es evidente que, en ese momento, no tendremos sino un recuerdo del proceso de esterilización. Esta es una consecuencia más lógica por cuanto, sometiendo el producto a una acción térmica demasiado prolongada, se producen unas degradaciones térmicas y pirolisis del producto susceptible de comprometer los resultados obtenidos. Naturalmente la parte final del punto 4 es solo una indicación de las consecuencias extremas que se producirían al hacer avanzar más allá de cierto límite la esterilización del licor de cacao.

Por ultimo, para evaluar si hubo algún cambio en las características organolépticas del licor de cacao, se realizó un nuevo análisis sensorial, con el mismo número de jueces y la misma prueba de aceptación, usada en el capitulo dos. Se usó dos nuestras de licor de cacao: identificadas con los números 302 y 514, la primera es una muestra estándar, facilitada por una empresa transnacional y la segunda, se obtuvo mediante la esterilización propuesta.

Figura 4.9. Panel de Degustación con muestra obtenida

Los resultados obtenidos del análisis sensorial, se tabulan en la siguiente tabla:

**TABLA 22**

**GRADO DE ACEPTACIÓN DE LA ESTERILIZACIÓN PROPUESTA**

| Jueces | 302 | 514 | Diferencia |
|---|---|---|---|
| 1 | 6 | 7 | -1 |
| 2 | 7 | 5 | 2 |
| 3 | 8 | 5 | 3 |
| 4 | 6 | 4 | 2 |
| 5 | 9 | 6 | 3 |
| 6 | 7 | 7 | 0 |
| 7 | 5 | 4 | 1 |
| 8 | 6 | 7 | -1 |
| 9 | 6 | 5 | 1 |
| 10 | 7 | 6 | 1 |
| 11 | 6 | 7 | -1 |
| 12 | 4 | 6 | -2 |
| 13 | 8 | 7 | 1 |
| 14 | 6 | 5 | 1 |
| 15 | 7 | 4 | 3 |
| 16 | 8 | 5 | 3 |
| 17 | 6 | 8 | -2 |
| 18 | 7 | 9 | -2 |
| 19 | 9 | 6 | 3 |
| 20 | 7 | 7 | 0 |
| Totales | 135 | 120 | 15 |
| **Promedio totales** | **6.75** | **6** | **0.75** |

Elaborado Por: Banner Guerrero A.

Obtenemos la diferencia de los promedios ($\bar{d}$) de 302 y 514 sin considerar el signo:

$$\bar{d} = 6.75 - 6 = 0.75$$

La sumatoria de las diferencias al cuadrado:

$$\sum d_i^2 = 73$$

El cuadrado de la suma de las diferencias:

$$\sum d^2 = (15)^2 = 225$$

El número de pares que existe (n) se mantiene:

$$n = 20$$

Aplicamos la expresión Ec. 2.1 parar obtener la desviación estándar (S):

$$S = \sqrt{\frac{73 - [225/20]}{20 - 1}}$$

$$S = 1.803$$

Encontramos el valor T en la tabla del Apéndice F, con n = 19 y un grado de significancia del 5%, esto es:

$$T = 1.729$$

Aplicando el condicional; si existe una diferencia significativa, siempre mayor, entre:

$$\frac{\bar{d}}{S/\sqrt{n}} > T$$

Se concluye que existe una preferencia significativa; reemplazando valores tenemos que:

$$\frac{0.75}{\left(1.803/\sqrt{19}\right)} > 1.729$$

$$1.813 > 1.729$$

Por lo tanto, decimos que existe igual, una preferencia por 302, que es la muestra estándar, pero como podemos ver, el valor no es significativamente mayor. Analizando los comentarios emitidos por los jueces de la muestra 514, elaboramos la siguiente tabla:

**TABLA 23**
**CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS DEL LICOR CON ESTERILIZACIÓN PROPUESTA**

| | |
|---|---|
| ASPECTO | Pasta, color marrón oscuro homogéneo. |
| ORGANOLEPTICO | Sabor característico, ausencia de aromas o sabores extraños |

Elaborado por: Banner Guerrero A.

Esto nos indica, que logramos mejorar las características organolépticas del anterior proceso y mantenemos una similitud con la muestra estándar, como se muestra en la TABLA 23, ya no presenta grumos, ni el aroma a humo y acido que predominaban en la muestra con el anterior proceso.

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

**1.** Para realizar el diseño y construcción del equipo de esterilización experimental determinamos: las propiedades térmicas y reológicas del licor de cacao tales como: conductividad térmica, calor especifico, densidad y viscosidad. Con respecto a la reología del licor de cacao se concluyó luego de mediciones utilizando un viscosímetro rotaciones que el fluido se comporta como seudoplástico y que sigue el modelo matemático de Ostwald de Waele.

**2.** Al utilizar el esterilizador experimental, se tuvieron que realizar varias pruebas correspondientes a microbiología, para determinar un porcentaje de error del 18 % aproximadamente con respeto al esterilizador industrial. El escalado del equipo experimental es de 1000 veces más pequeño que el esterilizador industrial.

**3.** Obtuvimos mediante pruebas experimentales que por cada minuto aumenta un grado de temperatura, mientras en el esterilizador industrial por cada hora aumenta un grado, esto se debe: a mayor diámetro del esterilizador la transferencia de calor desde la pared al centro del esterilizador va ser lenta.

Al realizar el estudio de transferencia de calor obtuvimos el coeficiente convectivo, del esterilizador experimental: $71.58 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2\text{hr}^\circ\text{C}}$. Se determinó además, que nuestro equipo trabaja con una eficiencia del 79 % y las perdidas generadas por el sistema representan el 21 %.

**4.** La aplicación de una etapa de lavado de las pepas de cacao en la recepción de la materia prima, redujo la carga microbiana de 304000 ufc / gr. a 236000 ufc / gr., con lo cual nos permitió reducir tiempo y temperatura en la etapa de esterilización del licor de cacao, manteniendo la calidad de sus características organolépticas; logrando reducir los tiempos de esterilización de 15 horas a 12 horas y la temperatura de 112 ºC a 110 ºC.

**5.** Realizamos un estudio estadístico mediante un análisis sensorial a 20 personas, utilizando la prueba de escala Hedónica, que se fundamenta por la diferencia significativa entre la desviación estándar y la tabla T, entre dos muestras, una estándar y otra obtenida con los nuevos

parámetros de esterilización. De la experimentación se obtuvo que 1.813 > 1.729 (tabla T), la cual nos indica que no existe una diferencia marcada entre estas dos muestras, por lo tanto logramos mejorar nuestro producto en sus características organolépticas.

# RECOMENDACIONES

**6.** Para la construcción del esterilizador se deben usar mangueras térmicas resistentes debido a que la temperatura de trabajo asciende los 110 ºC, es por donde va a circular el medio calefactor (aceite térmico).
Mantener el reservorio de aceite lleno, para que no haya ingreso de aire al sistema, si esto ocurre, la bomba empezará a gavitar, impidiendo el bombeo del aceite térmico.

**7.** Se recomienda, antes de utilizar el esterilizador construido, seguir un procedimiento de limpieza con la finalidad de no alterar los resultados microbiológicos. Calentar el aceite térmico en el reservorio antes de hacer circularlo por la chaqueta para una rápida transferencia de calor.

**8.** El uso de algún tipo de desinfectante, como el Cloro o peróxido de hidrogeno, puede reducir aun más la carga microobiana y tiempo de proceso. Se recomienda realizar pruebas para verificar si esto es posible.

# APÉNDICES

## APÉNCIDE A

## EXPORTACIONES DE LICOR DE CACAO POR DESTINO (tons.)

| País de destino | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | Total general |
|---|---|---|---|---|---|
| Chile | 1.030 | 1.214 | 1.024 | 256 | 3.524 |
| Australia | 425 | 598 | 610 | 175 | 1.808 |
| EE.UU. | 905 | 70 | 218 | 50 | 1.243 |
| Nva. Zelanda | 453 | 493 | 246 | 25 | 1.216 |
| Alemania | 405 | 203 | 200 | 45 | 852 |
| Venezuela | | 23 | 437 | 175 | 635 |
| Japón | 124 | 165 | 150 | 50 | 489 |
| Países Bajos | 225 | 120 | 69 | 23 | 436 |
| México | 98 | 235 | | | 333 |
| Guatemala | 86 | 180 | 42 | | 309 |
| Brasil | 239 | 30 | | | 269 |
| Rep. Dominicana | | | 175 | | 175 |
| Argentina | 39 | 51 | 65 | 9 | 164 |
| Perú | 38 | 25 | 77 | | 139 |
| Singapur | 1 | 125 | | | 126 |
| Bolivia | 20 | 45 | 43 | | 108 |
| Rusia | 100 | | | | 100 |
| Panamá | | | | 63 | 63 |
| España | 6 | 1 | 43 | | 50 |
| Ucrania | 25 | 25 | | | 50 |
| Reino Unido | 45 | | | | 45 |
| Italia | 18 | 17 | 7 | 3 | 44 |
| Costa Rica | 43 | | | | 43 |
| Taiwán | 13 | 10 | 12 | | 34 |
| China | | 25 | | | 25 |
| Uruguay | | | 4 | | 4 |
| Colombia | | | 1 | | 1 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Cuba | | | | 0 | 0 |
| **TOTAL** | **4.337** | **3.653** | **3.423** | **872** | **12.284** |

## APÉNCIDE B

## EXPORTACIONES DE LICOR DE CACAO POR IMPORTADOR (tons)

| COMPRADOR | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | Total general |
|---|---|---|---|---|---|
| Real Products | 2.039 | 1.351 | 174 | 223 | 3.787 |
| Nestlé Australia | 425 | 575 | 566 | 175 | 1.741 |
| Carozzi S. A. | | 135 | 854 | | 989 |
| Mitsui & Co. | 260 | 435 | 246 | 25 | 966 |
| Transmar Comodity Group | 675 | | 200 | 50 | 925 |
| Nestlé Venezuela | | | 437 | 175 | 612 |
| Infelersa S. A. | | 180 | 221 | 68 | 469 |
| Mitsubishi Corporation | 105 | 150 | 146 | 50 | 451 |
| Bridge International Co. | 75 | 200 | | | 275 |
| Kraft Foods Brasil | 239 | 30 | | | 269 |
| General Cocoa & Trading Corp. | 219 | | | | 219 |
| Aalst Chocolate Pte. Ltd. | | 150 | | | 150 |
| Cortés Hnos. & Cía. | | | 150 | | 150 |
| Ind. Alimenticias Cusco S. A. | 29 | 25 | 63 | | 126 |
| Carozzi | | | 23 | 90 | 113 |
| Lorenesi & Cía. Ltda. | | 113 | | | 113 |
| Blommer Chocolate | 95 | | | | 95 |
| Juan Cibert S. A. | 13 | 30 | 46 | | 88 |
| Incadex S. A. | 10 | 45 | 20 | | 75 |
| Carson M. Simon | | 50 | 23 | | 73 |
| Ceres Commodities Group. | | | 66 | | 66 |
| La Cabaña de Mendoza | 6 | 16 | 15 | 9 | 46 |
| Daarnhouwer | | 45 | | | 45 |
| Productos Zam Fre S. A. | 23 | 23 | | | 45 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Equoland Soc. Coop. A. R. L. | 18 | 17 | 7 | 3 | 44 |
| El Gallito Industrial S. A. | 43 | | | | 43 |
| Universal Cocoa | | | 42 | | 42 |
| Taiwán Morinaga | 13 | 10 | 12 | | 34 |
| Nestlé Chile | 11 | 12 | 7 | 1 | 31 |
| Calaf S. A. | | 15 | 8 | | 23 |
| Industrias del Chocolate | | | 23 | | 23 |
| Essential Living Foods | | 4 | 18 | | 21 |
| Productos Industriales de Cacao | | | 21 | | 21 |
| Innova Ltda. | 17 | | 1 | 1 | 19 |
| Dagoba | | 16 | | | 16 |
| Galería del Chocolate S. R. L. | | 13 | | | 13 |
| Nestlé Perú | | | 13 | | 13 |
| Industrial Neuchatel Ltd. | | | 8 | 4 | 12 |
| Suc. de José Delgado | 10 | | | | 10 |
| Seis Erre Alimentos S. A. | 1 | 3 | 4 | | 8 |
| Inco Alimentos S. A. | | 8 | | | 8 |
| Ecuachocolates | 7 | | | | 7 |
| F. Pache & Cía. | | | 4 | | 4 |
| Quim-Trans S. A. | | 4 | | | 4 |
| Reuven International Ltd. | | | 4 | | 4 |
| Goth Sacei | 3 | | | | 3 |
| SO de PAU | 1 | | | | 1 |
| Sodepau | | 1 | | | 1 |
| Foodlever Inc. | 1 | | | | 1 |
| Godd Foods S.A. | | | 1 | | 1 |
| Chocolates Gourmet de Colombia | | | 1 | | 1 |
| Xarxa de Consum Solidari | | | 0 | | 0 |
| Organic Cosee | 0 | | | | 0 |
| Alimport | | | | 0 | 0 |
| **TOTAL** | **4.337** | **3.653** | **3.423** | **872** | **12.284** |

## APÉNCIDE C

## REQUISITOS FISICOS/QUÍMICOS
## (ADM Cocoa Company)

| | |
|---|---|
| **a.-**Porcentaje total de humedad (como base) (ADM Cocoa (AR) Método An-005) | 2% máximo |
| **b.-** Contenido grasa total (como base) (AOAC 16th Ed. Meted 31.1.02) | 53.0% mínimo |
| **c.-** pH (AOAC 16th Ed. Meted 31.1.07) | 5.6-6.1 |
| **d.-** Color (ADM Cocoa (AR) Método cAD-Q0751-013 | Marrón Oscuro |
| **e.-** Tamaño partículas (ADM Cocoa (AR) método CAD-Q0751-011) | Mínimo 99.5% que pase malla #200(agua/grasa libre) |
| **f.-** Porcentaje cáscara (AOAC 16th Ed. Método 31.2.05) | 1.75 máximo |

**g.-** Sabor – igual al Standard. Sabor típico ecuatoriano y libre de sabores Externos como exagerado, como mohoso, como a humo, como a tierra, o como a químicos.

## *REQUISITOS MICROBIOLOGICOS*

Usando metodologías vigentes aprobadas FDA-BAM

| | Min. | Máx. |
|---|---|---|
| **h.-** Contaje plato aeróbico | | 10,000 CFU/g |
| Levadura | 50 | 250 CFU/g |

| | | |
|---|---|---|
| Moho | 50 | 250 CFU/g |
| Coniformes | 1 | 10 CFU/g |
| E. coli | negativo | (MPN<0.3 CFU/g) |
| Estafilococos áureos | negativo (<10 CFU/g) | |
| **i.-** Salmonera (FDA-BAM método, 2x375g) | negativo | |

## APÉNCIDE D

# NORMA Oficial Mexicana NOM-186-SSA1/SCFI-2002, Productos y servicios. Cacao, productos y derivados.

### Especificaciones microbiológicas

| | Límite máximo | |
|---|---|---|
| | **Coliformes totales UFC/g** | ***Salmonella spp* en 25 g** |
| Manteca de cacao | 10 | Ausente |
| Torta de cacao | 10 | Ausente |
| Cocoa | 10 | Ausente |
| Pasta de cacao | 10 | Ausente |
| Mezclas de cocoa y azúcar, chocolate en polvo. | 10 | Ausente |

**APÉNCIDE E**

**FORMATO DEL CUESTIONARIO PARA EL ANÁLISIS SENSORIAL**

**Nombre:** **Producto: Licor De Cacao**
**Fecha:**
Pruebe las muestras y anote cuanto le gusta o disgusta según la escala considere olor color y sabor.

| | **467** | **691** |
|---|---|---|
| Me gusta extremadamente | ___ | ___ |
| Me gusta mucho | ___ | ___ |
| Me gusta moderadamente | ___ | ___ |
| Me gusta ligeramente | ___ | ___ |
| Ni me gusta ni me disgusta | ___ | ___ |
| Me disgusta ligeramente | ___ | ___ |
| Me disgusta moderadamente | ___ | ___ |
| Me disgusta mucho | ___ | ___ |
| Me disgusta extremadamente | ___ | ___ |

Comentarios.-

---

**Nombre:** **Producto: Licor De Cacao**
**Fecha:**
Pruebe las muestras y anote cuanto le gusta o disgusta según la escala considere olor color y sabor.

| | **467** | **691** |
|---|---|---|
| Me gusta extremadamente | ___ | ___ |
| Me gusta mucho | ___ | ___ |

| | | |
|---|---|---|
| Me gusta moderadamente | ___ | ___ |
| Me gusta ligeramente | ___ | ___ |
| Ni me gusta ni me disgusta | ___ | ___ |
| Me disgusta ligeramente | ___ | ___ |
| Me disgusta moderadamente | ___ | ___ |
| Me disgusta mucho | ___ | ___ |
| Me disgusta extremadamente | ___ | ___ |

Comentarios.-

---

**APÉNCIDE F**

**TABLA DE LA DISTRIBUCIÓN T**

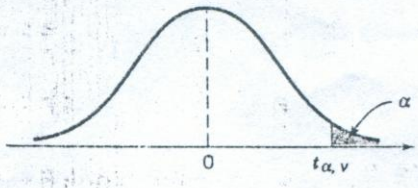


**Tabla IV** Puntos porcentuales $t_{\alpha,\nu}$ de la distribución $t$

| $\nu$ \ $\alpha$ | .40 | .25 | .10 | .05 | .025 | .01 | .005 | .0025 | .001 | .0005 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | .325 | 1.000 | 3.078 | 6.314 | 12.706 | 31.821 | 63.657 | 127.32 | 318.31 | 636.62 |
| 2 | .289 | .816 | 1.886 | 2.920 | 4.303 | 6.965 | 9.925 | 14.089 | 23.326 | 31.598 |
| 3 | .277 | .765 | 1.638 | 2.353 | 3.182 | 4.541 | 5.841 | 7.453 | 10.213 | 12.924 |
| 4 | .271 | .741 | 1.533 | 2.132 | 2.776 | 3.747 | 4.604 | 5.598 | 7.173 | 8.610 |
| 5 | .267 | .727 | 1.476 | 2.015 | 2.571 | 3.365 | 4.032 | 4.773 | 5.893 | 6.869 |
| 6 | .265 | .718 | 1.440 | 1.943 | 2.447 | 3.143 | 3.707 | 4.317 | 5.208 | 5.959 |
| 7 | .263 | .711 | 1.415 | 1.895 | 2.365 | 2.998 | 3.499 | 4.029 | 4.785 | 5.408 |
| 8 | .262 | .706 | 1.397 | 1.860 | 2.306 | 2.896 | 3.355 | 3.833 | 4.501 | 5.041 |
| 9 | .261 | .703 | 1.383 | 1.833 | 2.262 | 2.821 | 3.250 | 3.690 | 4.297 | 4.781 |
| 10 | .260 | .700 | 1.372 | 1.812 | 2.228 | 2.764 | 3.169 | 3.581 | 4.144 | 4.587 |
| 11 | .260 | .697 | 1.363 | 1.796 | 2.201 | 2.718 | 3.106 | 3.497 | 4.025 | 4.437 |
| 12 | .259 | .695 | 1.356 | 1.782 | 2.179 | 2.681 | 3.055 | 3.428 | 3.930 | 4.318 |
| 13 | .259 | .694 | 1.350 | 1.771 | 2.160 | 2.650 | 3.012 | 3.372 | 3.852 | 4.221 |
| 14 | .258 | .692 | 1.345 | 1.761 | 2.145 | 2.624 | 2.977 | 3.326 | 3.787 | 4.140 |
| 15 | .258 | .691 | 1.341 | 1.753 | 2.131 | 2.602 | 2.947 | 3.286 | 3.733 | 4.073 |
| 16 | .258 | .690 | 1.337 | 1.746 | 2.120 | 2.583 | 2.921 | 3.252 | 3.686 | 4.015 |
| 17 | .257 | .689 | 1.333 | 1.740 | 2.110 | 2.567 | 2.898 | 3.222 | 3.646 | 3.965 |
| 18 | .257 | .688 | 1.330 | 1.734 | 2.101 | 2.552 | 2.878 | 3.197 | 3.610 | 3.922 |
| 19 | .257 | .688 | 1.328 | 1.729 | 2.093 | 2.539 | 2.861 | 3.174 | 3.579 | 3.883 |
| 20 | .257 | .687 | 1.325 | 1.725 | 2.086 | 2.528 | 2.845 | 3.153 | 3.552 | 3.850 |
| 21 | .257 | .686 | 1.323 | 1.721 | 2.080 | 2.518 | 2.831 | 3.135 | 3.527 | 3.819 |
| 22 | .256 | .686 | 1.321 | 1.717 | 2.074 | 2.508 | 2.819 | 3.119 | 3.505 | 3.792 |
| 23 | .256 | .685 | 1.319 | 1.714 | 2.069 | 2.500 | 2.807 | 3.104 | 3.485 | 3.767 |
| 24 | .256 | .685 | 1.318 | 1.711 | 2.064 | 2.492 | 2.797 | 3.091 | 3.467 | 3.745 |
| 25 | .256 | .684 | 1.316 | 1.708 | 2.060 | 2.485 | 2.787 | 3.078 | 3.450 | 3.725 |
| 26 | .256 | .684 | 1.315 | 1.706 | 2.056 | 2.479 | 2.779 | 3.067 | 3.435 | 3.707 |
| 27 | .256 | .684 | 1.314 | 1.703 | 2.052 | 2.473 | 2.771 | 3.057 | 3.421 | 3.690 |
| 28 | .256 | .683 | 1.313 | 1.701 | 2.048 | 2.467 | 2.763 | 3.047 | 3.408 | 3.674 |
| 29 | .256 | .683 | 1.311 | 1.699 | 2.045 | 2.462 | 2.756 | 3.038 | 3.396 | 3.659 |
| 30 | .256 | .683 | 1.310 | 1.697 | 2.042 | 2.457 | 2.750 | 3.030 | 3.385 | 3.646 |
| 40 | .255 | .681 | 1.303 | 1.684 | 2.021 | 2.423 | 2.704 | 2.971 | 3.307 | 3.551 |
| 60 | .254 | .679 | 1.296 | 1.671 | 2.000 | 2.390 | 2.660 | 2.915 | 3.232 | 3.460 |
| 120 | .254 | .677 | 1.289 | 1.658 | 1.980 | 2.358 | 2.617 | 2.860 | 3.160 | 3.373 |
| ∞ | .253 | .674 | 1.282 | 1.645 | 1.960 | 2.326 | 2.576 | 2.807 | 3.090 | 3.291 |

$\nu$ = grados de libertad.

# BIBLIOGRAFIA


1. BARBOSA GUSTAVO V., Métodos Experimentales en la Ingeniería Alimentaría, Editorial Acribia S.A., España
2. BRAUDEAU, J., El Cacao, Primera Edición, Editorial Blume, 1975
3. GEANKOPLIS C.J., Proceso de Transporte y Operaciones Unitarias, Tercera Edición, Editorial Continental S.A., México, 1998
4. KERN DONALD Q., Proceso de Transferencia de Calor, Editorial Continental S.A.
5. MC. CABE WARREN L., SMITH JULIAN C., HARRIOTT PETER, Operaciones Básicas de Ingeniería Química, Cuarta Edición, Editorial Mc. Graw Hill, Madrid – España, 2001
6. PERRY ROBERTO H, Manual del Ingeniero Químico, Séptima Edición, Volumen II, Mc. Graw Hill, España, 2001
7. ROLLIN EDMUNDO, Elaboración de Chocolates y Bombones, Segunda Edición, Editorial Sintesis, Barcelona, 1964
8. ROSALBA V. JULIO, Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas, Tomo I, Editorial Pueblo y Educación, Habana – Cuba, 1988

9. R LEES., Análisis de los Alimentos, Segunda Edición, Editorial Acribia, España, 1972

10. TREYBAL ROBERT E., Operaciones de Transferencia de Masa, Segunda Edición, Editorial Mc. Graw Hill, México, 1980

10. www 1, 2006: http: www.anecacao.com

11. www 2, 2005: http: www.agroindustriasmayo.com/pasta.htm

12. www 3, 2005: http: www.chevrontexaco.com.uy/hojastec/industriales/calor/texatherm.doc