

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

“Estudio de Penetración de Calor en el Desarrollo de una Salsa
Gourmet a Base de Piña y mango”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA DE ALIMENTOS

Presentada por:

Cindy Theresa Hurel Pontón

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2008

AGRADECIMIENTO

A cada una de las personas que me brindaron su tiempo para la realización de este trabajo. A mis padres por su apoyo incondicional. A mis amigas por estar siempre a mi lado motivándome día a día y especialmente a la Ing. Fabiola Cornejo, por haberme guiado durante este proceso, mil gracias.

DEDICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES

A MI ABUELITA

A MIS HERMANOS

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Priscila Castillo S.
DELEGADO DEL DECANO DE
LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Fabiola Cornejo Z.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Grace Vásquez V.
VOCAL

Ing. Patricio Cáceres C.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

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

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Cindy Theresa Hurel Pontón

RESUMEN

La principal forma de exportación tanto del mango como la piña es en estado fresco. Sin embargo, a partir del año 2000 los jugos, néctares y bebidas derivadas del mango representaron un gran volumen de las ventas internacionales. Por otro lado, en el 2003 la piña comienza a posicionarse con el 19% de las exportaciones de las frutas no tradicionales. El desarrollo de esta tesis de manera primordial, pretende ampliar el portafolio de derivados de piña y mango que se encuentran en la actualidad destinados a la exportación, dentro de los cuales se destacan los deshidratados, las frutas en conservas, entre otros.

Iniciando el estudio de esta tesis se obtendrá la formulación de la salsa, determinando así; la proporción de frutas, la concentración de goma, entre otros factores a través de pruebas sensoriales, tanto de preferencia como haciendo uso de escalas hedónicas. Las pruebas sensoriales realizadas por panelistas no entrenados, asumiendo el papel de consumidores finales. Definida la

formulación final, el producto será caracterizado físico-químicamente, siguiendo las metodologías descritas por las normas INEN, AOAC y utilizando refractómetros y potenciómetros debidamente calibrados.

Por otro lado, se realizarán ensayos del tratamiento térmico de la salsa a nivel de laboratorio. Durante el tratamiento térmico, se llevará un registro de la variación de las temperaturas, las cuales forman parte primordial para el estudio de penetración de calor, ya que permitirán cumplir con el objetivo de obtener la curva de penetración de calor y definir los parámetros correspondientes al periodo de calentamiento j_h y f_h . Aplicando el método de Stumbo se determinará el tiempo de proceso y la degradación sufrida por el ácido ascórbico durante el proceso de pasteurización.

Aplicando los métodos de las tablas de Plug et al., de las tablas de Heisler, el método Analítico y el de los coeficientes de transmisión de calor, se definirá cual se ajusta a los resultados obtenidos experimentalmente, para lo cual se realizará un análisis de los resultados obtenidos de cada uno de los métodos versus los resultados experimentales.

Finalmente, se definirá el proceso de producción de la salsa, indicando los puntos críticos de control durante la línea de proceso. Así como también, se recomendarán los equipos apropiados para una planta industrial de éste tipo.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	II
INDICE GENERAL	V
ABREVIATURAS	IX
SIMBOLOGÍA	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XIV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES	2
1.1. Materias Primas	3
1.1.1. Piña	3
1.1.1.1. Composición química	5
1.1.1.2. Excedentes de exportación	7
1.1.2. Mango	9
1.1.2.1. Composición química	10

1.1.2.2. Excedentes de exportación	11
1.2. Métodos de conservación usados en salsas.....	13
1.3. Penetración de calor	15
1.3.1. Microorganismo más termo resistente:	
Zygosaccharomyces Bailli	17
1.3.2. Degradación del factor de calidad: Ácido ascórbico	21

CAPÍTULO 2

2. PRUEBAS EXPERIMENTALES	23
2.1. Caracterización de materias primas.....	23
2.2. Diseño experimental	28
2.3. Análisis sensorial	29
2.4. Caracterización de la salsa	31
2.5. Estudio de Penetración de calor	31
2.5.1. Curvas de penetración de calor.....	32
2.5.2. Método de Stumbo	33
2.5.3. Método de tablas de Pflug <i>et al.</i>	38
2.5.4. Método de tablas de Heisler.....	40
2.5.5. Método Analítico.....	41
2.5.6. Método de los coeficientes de transmisión de calor	42

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	45
3.1. Caracterización de la materia prima.....	45
3.2. Resultados del diseño experimental	46
3.3. Caracterización de la salsa de piña y mango.....	50
3.4. Curvas de penetración de calor a nivel de ensayo.....	51
3.5. Determinación del tiempo de proceso: Método de Stumbo.....	53
3.6. Método de Pflug et al.	57
3.7. Método de tablas de Heisler	59
3.8. Método analítico.....	61
3.8.1. Degradación de calidad.....	65
3.9. Método de los coeficientes de transmisión de calor.....	66

CAPÍTULO 4

4. INDUSTRIALIZACIÓN	69
4.1. Producción a Nivel industrial.....	69
4.2. Proceso de elaboración	70
4.3. Puntos Críticos de Control	74
4.4. Equipos	75
4.5. Lay Out de Planta	81

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....87

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

BPM	Buenas prácticas de manufactura
pKa	Constante de disociación
FAO	Food and Agricultural Organization
°C	Grados centígrados
°F	Grados Farenheit
Fo	Fourier
g.l	Grados de libertad
g.	Gramos
Gr	Grashof
h	hora
Kcal	Kilocalorías
Kg	Kilogramos
log	Logaritmo
msnm	Metros sobre el nivel del mar
ug	Microgramos
mg.	Miligramos
mm.	Milímetros
min.	Minutos
N_{Bi}	Número de Biot
ppm	Partes por millón
Pr	Prandtl
p	Probabilidad
PVC	Policloruro de vinilo
r.p.m	Revoluciones por minuto
SSOP	Procedimientos estándares de operaciones sanitarias
t	Tiempo
TM	Toneladas métricas
UI	Unidades Internacionales

SIMBOLOGÍA

a_w	Actividad de agua
D_p	Altura del agitador
A	Área de transferencia de calor
Q	Caudal de calor
h	Coefficiente de transferencia de calor
h_i	Coefficiente individual o de película del alimento
h_o	Coefficiente individual o de película del fluido caliente
C_o	Concentración Inicial
C	Concentración Final
k	Conductividad térmica
ρ	Densidad
De	Diámetro equivalente
D_T	Diámetro interno de la marmita
d_c	Dimensión característica
ΔT	Diferencia de temperaturas
α	Difusividad térmica
g	Diferencia de temperatura al final del proceso de calentamiento
F_o	Factor letal
r_c	Mitad del diámetro de la marmita
N	Revoluciones por minuto
Re_m	Reynolds modificado
T	Temperatura del medio de calentamiento
T_0	Temperatura Inicial
T_f	Temperatura final

Bb	Tiempo de calentamiento al punto g
U	Tiempo donde Tr es equivalente a Fo
a	Un quinto de la altura de la marmita
η	Viscosidad
η_w	Viscosidad en la pared

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1	Esquema de oxidación del ácido ascórbico..... 22
FIGURA 2	Desarrollo del color de la pulpa de mango durante su maduración 25
FIGURA 3	Estados de madurez de la piña a 28°C 26
FIGURA 4	Sinopsis del procedimiento experimental 28
FIGURA 5	Esquema del sistema utilizado para el ensayo de penetración de calor 31
FIGURA 6	Producto degustado por panelistas 49

INDICE DE GRAFICOS

	Pág.
GRAFICO 1	Tendencia de los volúmenes de producción, exportación y de los excedentes de piña..... 8
GRAFICO 2	Tendencia de los volúmenes de producción, exportación y de los excedentes de mango 12
GRAFICO 3	Prueba de preferencia: Determinación de proporción de piña y mango 47
GRAFICO 4	Prueba de preferencia: Determinación de la concentración de goma 48
GRAFICO 5	Escala hedónica: Resultados degustación producto final 50
GRAFICO 6	Historial “t vs. T” en pruebas a nivel de ensayo 51
GRAFICO 7	Valores de f_h y j_h . Prueba 1. Ensayo experimental..... 52
GRAFICO 8	Valores de f_h y j_h . Prueba 2. Ensayo experimental..... 53
GRAFICO 9	Historial “t vs. T” por medio de datos de ensayo y tablas de Heisler 60
GRAFICO 10	Valores de f_h y j_h . Método de Heisler, de acuerdo a Ensayo 61
GRAFICO 11	Historial “t vs. T” por medio de datos de ensayo y método analítico..... 62
GRAFICO 12	Valores de f_h y j_h . Método analítico 63
GRAFICO 13	Historial “t vs. T” por medio de datos de ensayo y método de coeficiente de transferencia de calor..... 66
GRAFICO 14	Valores de f_h y j_h . Método coeficientes de transferencia de calor 67
GRAFICO 15	Diagrama de flujo para procesamiento de Salsa gourmet de piña y mango..... 73
GRAFICO 16	Diagrama de equipos 77
GRAFICO 17	Layout de planta de procesamiento 83

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Contenido nutrimental de la Piña por cada 100 g 6
Tabla 2	Volúmenes de producción, exportación y excedentes de Piña. Periodo 1998 - 2001 (TM) 7
Tabla 3	Características de las variedades de mango 10
Tabla 4	Contenido nutrimental de mango por cada 100 g. 11
Tabla 5	Volúmenes de producción, exportación y excedentes de Mango. Periodo 1995- 2000 (TM)..... 13
Tabla 6	Parámetros de los procesos térmicos..... 17
Tabla 7	Procedimiento del cálculo de tiempo de proceso..... 34
Tabla 8	Procedimiento del cálculo de letalidad de proceso 36
Tabla 9	Caracterización de Materia Prima..... 45
Tabla 10	Formulaciones para determinación de proporción de frutas 46
Tabla 11	Caracterización de la Salsa de Piña y Mango 50
Tabla 12	Determinación del tiempo de proceso: Método de Stumbo 55
Tabla 13	Determinación del grado de degradación del ácido ascórbico..... 56
Tabla 14	Datos y cálculos de Re_m 58
Tabla 15	Cálculo de h , N_{Bi} , y f_h 58
Tabla 16	Datos para cálculo de Biot y Fourier..... 60
Tabla 17	Método analítico: Determinación del tiempo de proceso por Stumbo 64
Tabla 18	Método analítico: Determinación del grado de degradación del ácido ascórbico..... 65
Tabla 19	Cuadro comparativo de métodos..... 68
Tabla 20	Identificación de Puntos de control en línea de proceso..... 75

INTRODUCCION

El presente trabajo comprende el estudio de penetración de calor en el desarrollo de una salsa gourmet a base de piña y mango. Se conoce que uno de los principales objetivos de un tratamiento térmico es alargar la vida útil de los alimentos, asegurando una fuente alimenticia nutritiva y agradable. Por lo tanto, al desarrollar un nuevo producto se hace indispensable determinar el tratamiento térmico al que debe ser sometido para garantizar su estabilidad en percha.

Dada la característica ácida del producto a desarrollarse proporcionado por las frutas, la pasteurización es considerada el tratamiento térmico adecuado, por lo que, una prueba de penetración de calor, definirá la combinación tiempo-temperatura adecuada para éste proceso.

Como parte de este estudio se formulará la salsa buscando satisfacer un panel de degustadores, se realizará su caracterización físico – química y se definirá las condiciones del tratamiento térmico adecuadas bajo las condiciones de ensayo.

CAPITULO 1

1. GENERALIDADES

La apertura comercial presenta nuevos retos a la industria ecuatoriana, brindando la oportunidad de demostrar el potencial de exportación que tiene el Ecuador (9). Éste se ha visto reflejado en el año 2003 y 2005, donde ocupó el séptimo y tercer lugar dentro de la lista de los principales países exportadores de piña y mango respectivamente, a nivel mundial (11).

Los niveles de los excedentes de exportación del mango (Tabla 5) y la piña (Tabla 2), hasta los años 2000 y 2002 respectivamente, indican una tendencia al incremento de la producción en los años siguientes, que se ve justificado en que apenas el 40% de la superficie de mango ha alcanzado su capacidad productiva (13), mientras que la piña ratifica esta tendencia,

abarcando el 19% de las exportaciones totales de frutas no tradicionales en el año 2003, lo que significa un aumento del 14% con respecto al año 2000 (9).

Por lo tanto, es necesario desarrollar productos que ayuden la diversificación de las exportaciones, para lograr superar los retos debidos a la globalización, aprovechando la aceptación de nuestra materia prima para el desarrollo de elaborados de buena calidad.

1.1. Materias Primas

1.1.1. Piña

La piña pertenece a la familia de las Bromeliaceae. Las variedades de piña más cultivadas a nivel mundial son del género Ananás Comosus L. Cerril, del género Anna y especie Sativa siendo no climatéricas que producen pequeñas cantidades de etileno.

Como todos los cultivos, la piña necesita de ciertas condiciones climatológicas y características de suelo que favorezcan su crecimiento. Se conoce que la temperatura es el factor climático de

mayor importancia para éste fruto, siendo óptimo para su crecimiento máximo los climas cálidos de 30 – 31 °C, sin embargo se logra un mejor desarrollo a una temperatura anual de 24 – 27 °C. A pesar de soportar los 16 °C, a esta temperatura su crecimiento cesa.

Es necesario una humedad relativa entre el 70 y 90% y una pluviosidad anual de 1200 – 2000 mm. Los requerimientos del suelo básicamente dependen de un buen drenaje, deben ser permeables, limosos con un pH De 5.5 a 6.0 y una altitud entre los 100 y 600 msnm.

De acuerdo a la información proporcionada por la Corporación PROEXANT, encontramos 4 variedades:

- **Grupo Cayena:** Cayena Lisa, Euville, Hilo, Rothfield
- **Grupo Queen:** Golden Sweet o MD2, Pernambuco, Back Riplay
- **Grupo Spanish:** Española, Blood, Puerto Rico
- **Tipo peroleras:** Milagrera (Ecuatoriana)

Las variedades más cultivadas son la Cayena, con alto contenido de ácidos y azúcares, y la Golden Sweet o MD2, con sabor extra dulce y coloración dorada, generalmente para consumo en fresco. Ésta última se ha convertido en la segunda variedad de mayor producción a nivel mundial.

1.1.1.1. Composición química

La piña además de poseer un agradable sabor, tiene innumerables beneficios nutritivos, es libre de grasa, colesterol y posee elevado contenido de vitamina C y potasio. Tiene un alto contenido de azúcares y carotenos. Del contenido total de azúcares depende totalmente el sabor de la fruta, los azúcares permanecen constantes después de la cosecha, sin embargo, la acidez y el contenido de carotenos incrementan de manera moderada.

El sabor se puede alterar por la temperatura y la intensidad de la luz durante el crecimiento de la fruta, así como por las condiciones del clima, el grado de madurez en la cosecha, y

las sustancias empleadas para su crecimiento como hormonas y pesticidas (Macrae *et al.*, 1993).

En la Tabla 1 se puede apreciar el contenido nutrimental por cada 100 gramos de porción comestible.

Tabla 1		
Contenido Nutrimental de la Piña por cada 100 g. (9)		
Energía	(Kcal)	45.0
Proteína	(g)	0.5
Carbohidratos	(g)	11.5
Fibra	(g)	1.2
Calcio	(mg)	12.0
Hierro	(mg)	0.5
Magnesio	(mg)	14.0
Sodio	(mg)	3.0
Potasio	(mg)	250.0
Fósforo	(mg)	11.0
Vitamina E	(mg)	0.1
Niacina	(mg)	0.3
Ácido Fólico	(ug)	11.0
Vitamina C	(mg)	20.0
Vitamina A	(ug)	13.0

Fuente: UTEPI, 2006

1.1.1.2. Excedentes de exportación

En la Tabla 2 se reúnen datos de los volúmenes de producción y exportación de Piña durante el período comprendido entre los años 1998 – 2001, de acuerdo a información publicada por la Corporación PROEXANT, obtenidos de la FAO.

TABLA 2			
Volúmenes de Producción, Exportación y Excedentes de piña			
Período 1998 – 2001 (TM)			
Año	Producción	Exportación	Excedente
1998	79947	6374	73573
1999	123597	12000	111597
2000	199899	10155	189744
2001	195122	16237	178885

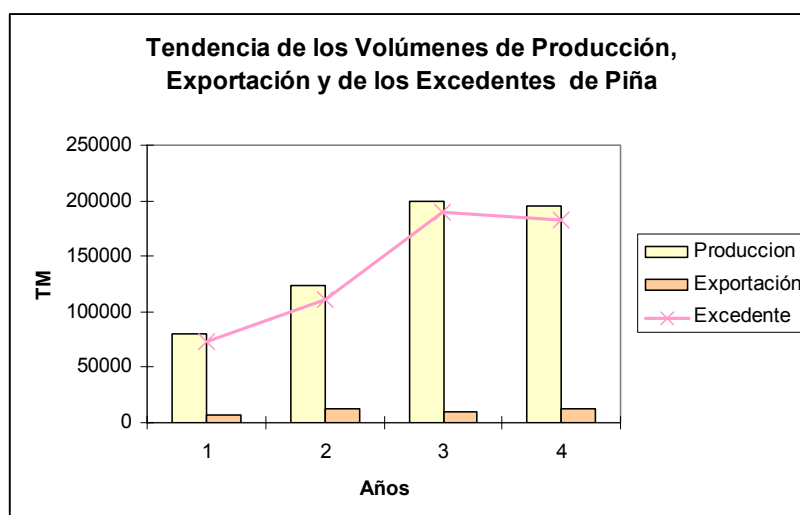
Fuente: Corporación PROEXANT

Elaborado por: Cindy Hurel P.

Complementando esta información se conoce que en el año de 1995 se exportaron 5686 TM, pasando a 33315 TM en el 2002, lo que significa un crecimiento del 586% con respecto

al año 95 y casi el doble de las exportaciones del 2001, claros indicadores del potencial de este producto no tradicional para el Ecuador.

GRAFICO 1



Elaborado por: Cindy Hurel P.

Estos excedentes corresponden de manera general a la fruta fresca no apta para exportación, que finalmente se destinan para el consumo interno. Sin embargo, con el procesamiento adecuado, pueden seguir su curso de exportación, en forma de conservas, ya sea como enlatados, mermeladas, salsas, entre otros.

1.1.2. Mango

El Mango o *Mangífera indica* L. es miembro de la familia de los Anacardiaceae, más conocida como marañón. Es considerada una fruta climatérica con un sabor que abarca una amplia gama desde trementina hasta dulce incluyendo diversos grados de acidez.

Presenta un estado de maduración acelerado con un incremento en la velocidad de respiración y producción de calor y etileno, produciendo ablandamiento de la fruta, desarrollo de sabor, color y conversión de almidón y ácidos carboxílicos a azúcares, lo cual se puede controlar almacenando a temperaturas entre 10 y 13°C. para alargar la vida de la fruta.

Las condiciones del suelo necesarias para su cultivo son poco exigentes, se desarrolla normalmente en suelos pesados o arenoso, ácidos o alcalinos, aunque el pH óptimo es de 6.0 a 7.0 y un nivel freático mínimo de 4 a 6 metros.

La variación de color nos permite realizar una clasificación de este fruto, gracias a la presencia de los carotenoides que atribuyen la coloración amarillo – naranja característica del mango. Por lo que podemos destacar 5 variedades mencionadas en la Tabla 3, donde además se diferencia el color y el peso promedio de cada variedad.

Tabla 3		
Características de las variedades de Mango		
Variedad	Color	Peso (g.)
Van Dike	Rojo - amarillo	305
Tommy Atkins	Rojo	400
Keith	Rosado – amarillo	300
Haden	Amarillo – rojizo	330
Kent	Amarillo - rojizo	480

Fuente: SICA

Elaborado por: Cindy Hurel P.

1.1.2.1. Composición química

El mango como fruta fresca es una gran fuente de vitaminas A y C, minerales, fibras y antioxidantes. Su componente mayoritario es el agua que abarca el 81.85%, con un alto contenido de azúcares, pero bajo en calorías, grasas y

sodio. Su valor calórico dependiendo de la variedad se encuentra en un rango de 62 a 64 calorías por cada 100 g. de pulpa.

Componente	g/100g	Componente	g/100g
Agua	81.85	Ácido ascórbico	80.0 ^a
Grasa	0.08	Riboflavina	0.06
Cenizas	0.32	Niacina	0.42
Acidez ^a	0.24	Tiamina	0.06
Proteína	0.46	Calcio	8.73
Almidón	0.74	Fósforo	10.18
Azúcar	12.36	Hierro	0.16
		Sodio	0.84
Caroteno	5169 UI	Potasio	15.00

^a Calculado como g de ácido cítrico/ 100 g. Datos de Beber *et al.* (1979)

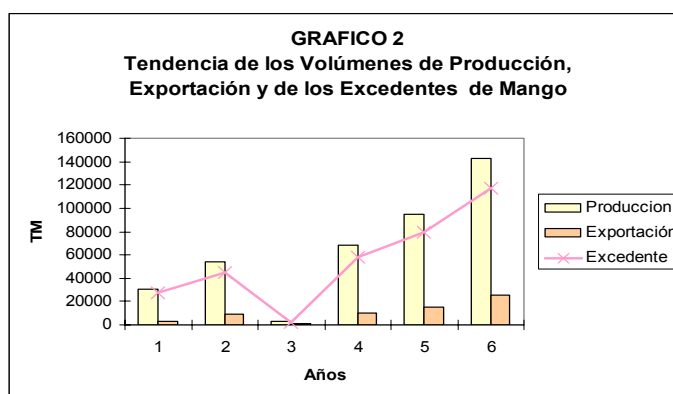
Fuente: FAO (2004)

1.1.2.2. Excedentes de exportación

Iniciando la década de los 90, el mango Ecuatoriano comenzó a tener una gran acogida en el mercado

internacional presentando tasas de crecimiento entre el 3% y 5% mensual y 16% anual.

La Tabla 5 muestra el incremento de los volúmenes de producción, exportación y de los excedentes en el período 1995 – 2000. El descenso en 1997 (punto 3) visible en la grafica 2 se debe al Fenómeno del Niño que afectó al país, sin embargo el año posterior se obtuvo una recuperación de la producción de casi 8 veces más del volumen del año afectado.



Elaborado por: Cindy Hurel P.

Tabla 5			
Volúmenes de Producción, Exportación y Excedentes de mango			
Período 1995 – 2000 (TM)			
AÑO	PRODUCCIÓN	EXPORTACION	EXCEDENTE
1995	30718	3406	27312
1996	54163	9549	44614
1997	2953	1281	1672
1998	68693	10408	58285
1999	94802	15443	79359
2000	143164	25502	117662

Fuente: Banco Central del Ecuador 1990- 2003. FAO

1.2. Métodos de Conservación utilizados en salsas

En general las salsas a base de frutas se conservan mediante un tratamiento térmico seguido de un almacenamiento en refrigeración o congelación. En todos los métodos de conservación resulta esencial, no sólo interrumpir la actividad de enzimas y microorganismos, sino evitar también su entrada posterior. Se puede controlar el crecimiento de microorganismos patógenos a través del control de la acidez, de la actividad de agua, conservantes químicos y su empaçado en conjunto con un tratamiento térmico.

Tratamiento térmico: Las Bacterias, levaduras, hongos y enzimas pueden ser destruidos por el calor. Los tiempos y temperaturas recomendados para el tratamiento térmico son los mínimos encontrados para alcanzar una destrucción adecuada de un número normal de microorganismos, a la vez que producen el mejor sabor y apariencia. Las frutas intensamente contaminadas requieren mayores tiempos y temperaturas de tratamiento para asegurar que han sido destruidos todos los microorganismos, pero esto origina una pérdida considerable de calidad.

Los aderezos, salsas, adobos y productos alimenticios similares por lo general dependen de su acidez para prevenir su descomposición por lo que pueden controlarse mediante la adición de sal, azúcar o ácidos. Estos productos pueden consistir de alimentos naturalmente ácidos o pueden ser formulados combinando ácidos alimentarios o alimentos ácidos para alcanzar la acidez deseada.

Inhibidores químicos: Si el método de conservación escogido no proporciona protección contra el crecimiento de microorganismos, se

suele añadir inhibidores químicos que incluyen los benzoatos, sorbatos, sulfitos, nitritos y antibióticos. Específicamente en aderezos o salsas es muy común la utilización de benzoatos (Benzoato de sodio y potasio, ácido benzoico y parabens) y sorbatos (ácidos ascórbico y sorbato de sodio y potasio). La acción de los conservantes químicos es: desnaturalizar las proteínas, inhibir enzimas y alterar o destruir las paredes o membranas celulares microbianas

1.3. Penetración de calor

La penetración de calor en un alimento durante un proceso térmico puede realizarse por conducción, convección o mediante la combinación de ambas, dependiendo del alimento y del material que lo contiene (Somogy *et al*, 1996). La transferencia de calor por conducción es lenta y el producto que está junto a las paredes se calienta sufriendo intensamente la acción degradante del calor si no hay las condiciones adecuadas y selectivas (Rodrigo y col., 1980). En la convección la transferencia de calor es mucho más rápida y puede acelerarse por agitación. En consecuencia, la degradación térmica del alimento es menor. Además de la consistencia y naturaleza del alimento, la geometría y tipo del material de envase, el grosor de las paredes del

mismo y la temperatura inicial del producto afectan la velocidad de transferencia de calor.

La evaluación de los procesos térmicos supone determinar dos series separadas de parámetros: la primera, que describe la cinética de la destrucción de microorganismos y la segunda que describe las características de penetración de calor del sistema. La tabla 6 resume estos parámetros con una pequeña definición de cada uno.

Para el cálculo del tratamiento térmico existen 2 métodos:

Método General: Descrito por Bigelow y colaboradores en 1920, el cual es un método gráfico de integración de los efectos letales de varias combinaciones tiempo- temperatura existentes en el alimento durante su procesamiento térmico.

Método de la fórmula: desarrollado por Ball en 1923, que evalúa la letalidad del tratamiento térmico, teniendo como ventaja sobre el general que una vez obtenidos los datos del historial tiempo- temperatura y los factores calculados mediante este método, se puede aplicar a procesos semejantes del mismo producto bajo condiciones diferentes de procesamiento (Stumbo, 1973)

Tabla 6	
Parámetros de los procesos térmicos	
Valor D	Tiempo necesario para una reducción en la población microbiana de un 90%
Valor z	Incremento de la temperatura necesario para reducir 10 veces el tiempo de destrucción térmica
Velocidad Letal L	Convierte el tiempo real de calentamiento de un proceso, a una temperatura especificada.
Letalidad Fo	Es el tiempo de muerte térmica conocido para una temperatura de referencia
f_h y f_c	Factores de respuesta a la temperatura. Describen la velocidad de penetración de calor
j_h y j_c	Factores de retraso. Describen el tiempo que transcurre antes de que la velocidad de penetración de calor alcance f_h y f_c

Elaborado por: Cindy Hurel P.

1.3.1. Microorganismo más termo resistente: *Zygosaccharomyces Bailli*.

La materia prima utilizada en la elaboración de salsas a base de frutas contiene muchos géneros y especies de microorganismos, incluidos bacterias, mohos y levaduras, constituyendo un

ecosistema relativamente único, dada la particular combinación de sus propiedades físicas y químicas.

Los aderezos se encuentran en un rango de pH entre 3.9 y 3.2, siendo los principales responsables de su alteración las levaduras, lactobacilos y *Bacillus* spp. (Smittle, 1977). Estos géneros constituyen el punto de partida para la determinación del microorganismo utilizado para la evaluación del tratamiento térmico.

La actividad de agua también determina el crecimiento de microorganismos, los mohos se desarrollan en un rango de 0.70 – 0.80, seguido de las bacterias con un rango de 0.90- 0.91, y con el rango más amplio las levaduras que soportan actividades de agua de 0.87 – 0.94.

La mayoría de *Bacillus* spp. Crecen a valores de a_w de 0.89 a 0.94 (Marshall y col., 1971). El límite más normal es de 0.90 – 0.91, a

aw de 0.97 – 0.93 no germinan ni crecen las cepas de B. cereus productores de enfermedades alimentarias (Jakobsen y col.,1972).

Las bacterias responsables del deterioro de los alimentos ácidos son todas gram-positivas, por ejemplo los lactobacilos son resistentes al ácido láctico y acético, confirmando así la teoría mencionada anteriormente por Smittle. Los Lactobacillos brevis crecen en medio líquido hasta pH 3 cuando se utiliza con ácido cítrico, clorhídrico, fosfórico o tartárico, pero solo hasta pH 3.7 cuando se usa ácido láctico o pH 4 cuando se emplea ácido acético (Juven, 1976). En los alimentos ácidos, las levaduras que se encuentran dentro de una población microbiana heterogénea, acaban desplazando a las bacterias.

En lo que respecta a levaduras Pitt y Hocking (1977) señalaron que 10 a 12 especies producían alteración en alimentos procesados, Tudor y Borrad (1993) presentaron una lista similar de las levaduras más comunes, mientras que Strafford y colaboradores (2000) consideraron las levaduras alterantes de zumos de frutas y

refrescos. El Anexo 1 muestra la comparación de estas tablas. Dentro de estos grupos la *Saccharomyces Bailli* se considera como una de las que pueden producir graves signos de alteración en el alimento y es considerada como la más frecuente a lo largo de la cadena de producción de productos a base de frutas.

El *Zigosaccharomyces Bailli*, soporta temperaturas de 52.5°C, incrementando su resistencia cuando el medio aumenta su concentración de glucosa. Éste puede crecer en presencia de altas concentraciones de ácido sórbico o benzoico, o de ácido acético al 2 %, cuando el pH está por debajo del pKa de los ácidos orgánicos débiles (Warth,1977). Son tolerantes a ácido sórbico, benzoico, acético, cinámico, etanol y dimetilcarbonato.

De acuerdo al análisis anterior, el *Zigosaccharomyces Bailli* será considerado como el microorganismo más termoresistente, con un valor $D_{60^{\circ}\text{C}} = 8.1$ min. y $Z=8^{\circ}\text{F}$, valores de referencia para los diferentes cálculos.

1.3.2. Degradación del factor de calidad: Ácido ascórbico

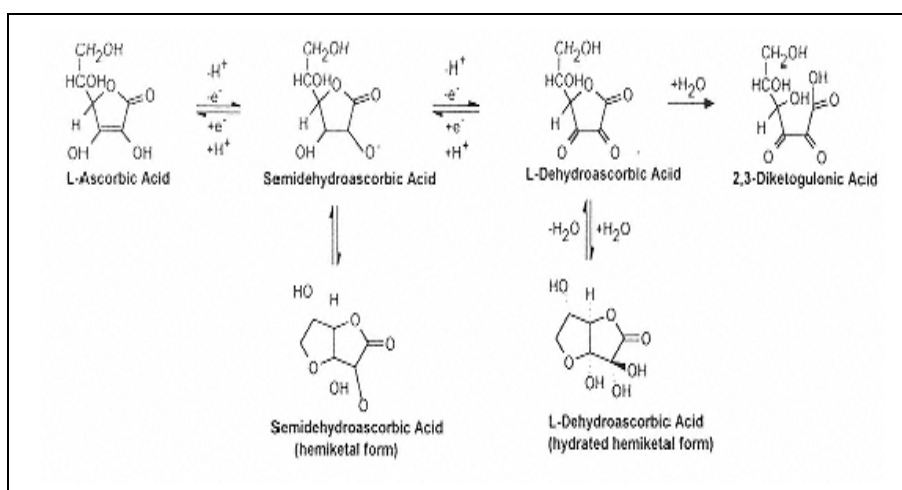
La vitamina C es fácilmente destruida por la oxidación, especialmente a temperaturas elevadas y es la vitamina que se pierde más fácilmente durante el procesamiento, almacenamiento y cocimiento de los alimentos (Potter, 1997). Su degradación está relacionada con la temperatura, luz, pH, disponibilidad de oxígeno, metales, actividad de agua, ciertas enzimas, sales y hasta con la presencia de otras vitaminas como la riboflavina. La estabilidad es mayor a pH ácidos y en ausencia de oxígeno puede resistir temperaturas de esterilización (Badui, 1990).

El proceso de oxidación del ácido ascórbico se inicia con la degradación de la vitamina C hasta ácido 2,3-dicetogulónico, generalmente la pérdida de esta vitamina es relacionada a la conversión de L-ácido ascórbico a dehidro-L-ácido ascórbico por el oxígeno en el producto antes o durante el proceso térmico, dependiendo de la severidad del mismo. Los catalizadores son los iones de metales pesados o por las enzimas ácido ascórbico oxidasa, fenolasa, citocromo oxidasa y enzimas peroxidasas que

se desnaturalizan en el proceso térmico dando un producto con nivel alto de ácido ascórbico en comparación con uno que no se trató.

FIGURA 1

Esquema de oxidación del ácido ascórbico



Fuente: Food Chemistry. Third Edition (3)

CAPITULO 2

2. PRUEBAS EXPERIMENTALES

En el desarrollo de estas pruebas se utilizó mango de la variedad Kent y piñas del tipo Peroleras, las cuales se obtuvieron de una industria exportadora de frutas y de uno de los supermercados de la ciudad respectivamente. Las frutas procesadas fueron cuidadosamente seleccionadas encontrándose libre de magulladuras u otro tipo de daños por mala manipulación.

2.1. Caracterización de la materia prima

Una vez obtenida la pulpa de las frutas se procedió a determinar su estado de madurez de acuerdo a la coloración, ° Brix, % acidez titulable y pH haciendo uso de los siguientes métodos:

Estado de madurez:

En el caso del mango, su estado de madurez no se relaciona con la coloración externa de la fruta, sino por el color de la pulpa. De acuerdo a la comparación de la fruta utilizada con la cartilla de coloración de la empresa de frutas y legumbres El Rodeo (Ver Figura 2), se determinó que el mango utilizado se encontraba entre el cuarto y quinto estado de madurez. La figura 2 muestra los estados de madurez de las principales variedades de exportación de mango.

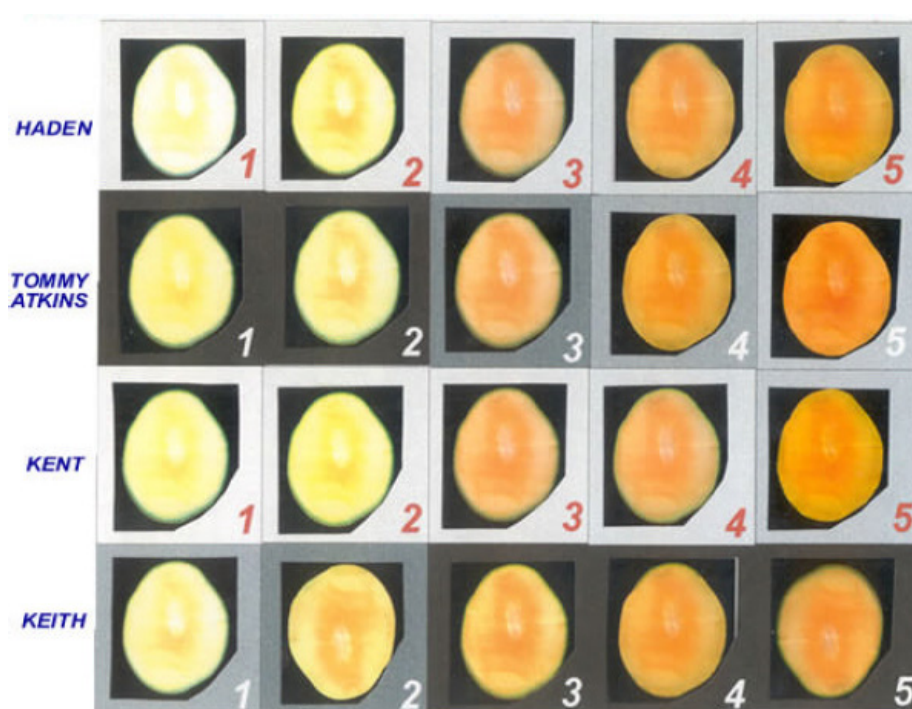
La piña con que se trabajó, de acuerdo a su coloración tenía una madurez en estado 3 y 4. La figura 3 indica los diferentes estados de madurez de la piña de la variedad perolera.

Sólidos solubles:

Se realizó por triplicado la determinación de los sólidos solubles (° Brix) con la ayuda de refractómetros RHB 32 ATC a temperatura ambiente.

FIGURA 2

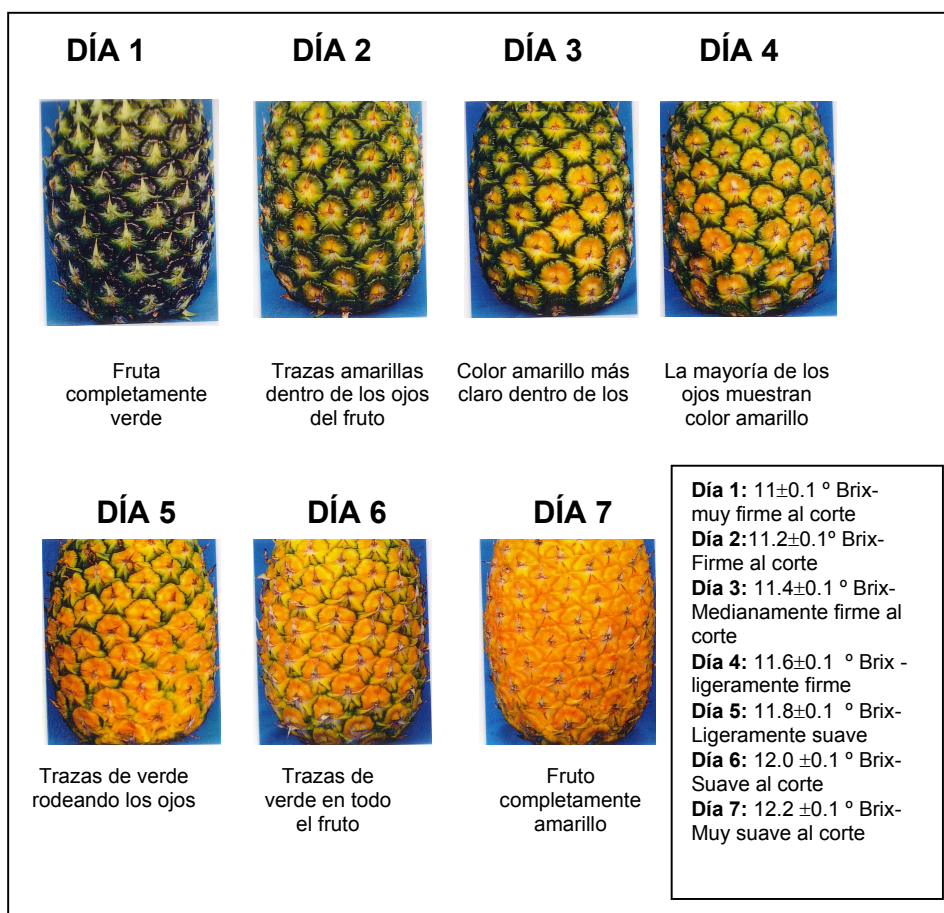
Desarrollo de color de la pulpa de mango durante su maduración



Fuente: Cartilla de maduración El Rodeo (15).

FIGURA 3

Estados de madurez de piña a 28 °C



Elaborado por: Wendy Alvarado Gómez, 2005 (1)

% Acidez titulable:

Se procedió de acuerdo al procedimiento de la AOAC 942.15 (2000), realizando la prueba por triplicado. Los resultados se evaluaron usando la media y expresados como % de acidez en base al ácido cítrico.

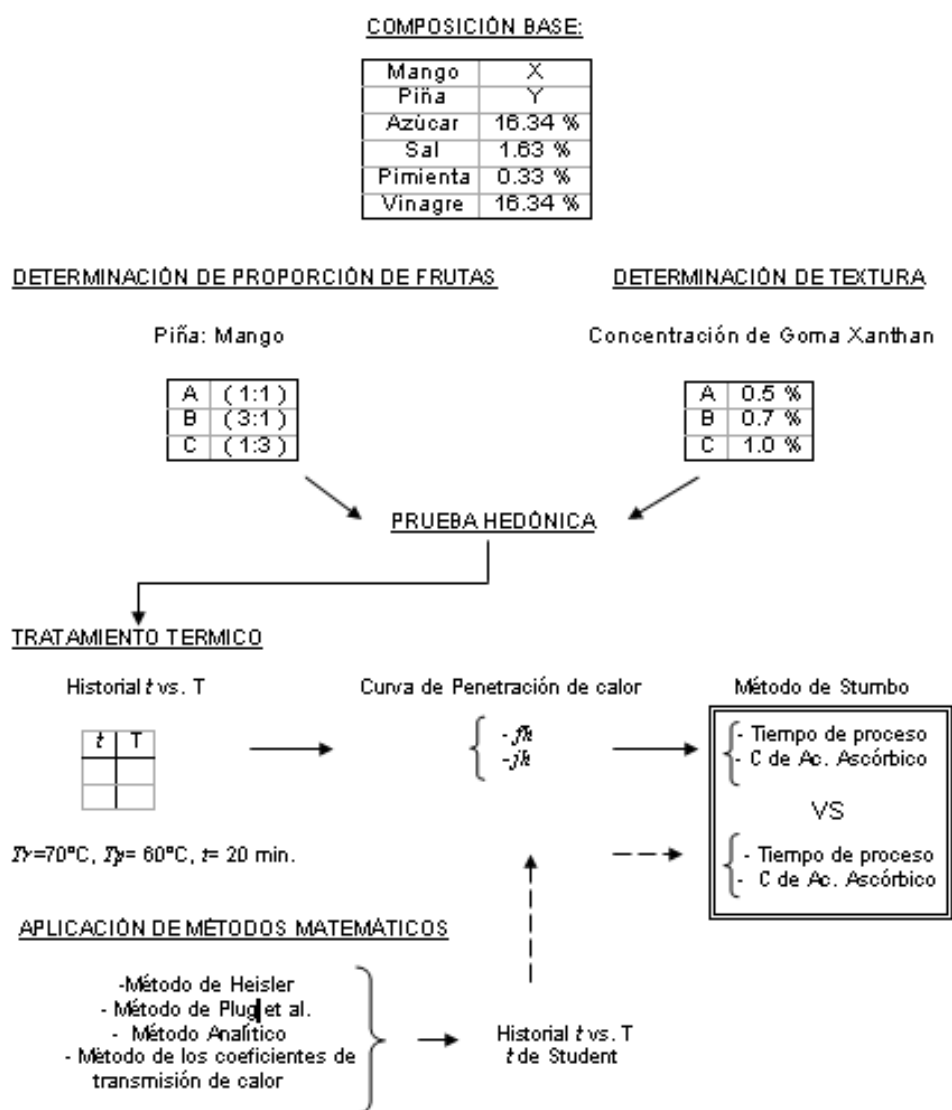
pH:

Se determinó de acuerdo a procedimientos de la norma INEN 389, analizando las muestras por triplicado. Sus resultados se evaluaron usando la media.

2.2. Diseño experimental

FIGURA 4

Sinopsis del procedimiento experimental



Elaborado por: Cindy Hurel P.

2.3. Análisis sensorial

Pruebas de preferencia

Las pruebas de preferencia consisten en la comparación de dos o más productos, registrando cuál de ellos goza de mayor aceptación. En este caso en particular, las pruebas se realizaron a un grupo de 30 panelistas no entrenados, tomando en cuenta que los jueces que participaban debían de gustar de salsas tipo agridulce ligeramente picante, de tal manera que representaran a los consumidores potenciales o habituales del producto.

En la primera prueba (Anexo 2) los jueces debían evaluar el sabor del producto, donde las muestras se diferenciaban por las diferentes proporciones de mango y piña, establecidas de la siguiente manera: 1:1 para la muestra A, 1:3 para B y finalmente una proporción 3:1 para la muestra C.

La segunda prueba evaluaba la textura apropiada para la salsa usando diferentes concentraciones de Goma Xanthan (Jungbuzlauer). Las

concentraciones aplicadas en función al peso total del producto fueron del 0.5 %, 0.7% y 1%, según referencias del proveedor original.

Los resultados obtenidos se analizaron mediante porcentajes, definiendo que para que una muestra sea considerada como la de mayor aceptación debía contar con la preferencia de mínimo el 51% de la población encuestada.

Escala Hedónica

Las pruebas hedónicas buscan valorar la satisfacción general de la muestra. Durante esta prueba, los 32 jueces no entrenados debían localizar su nivel de agrado o desagrado evaluando el sabor de la salsa mediante una escala de 9 puntos (Anexo 3). Para el análisis de datos, la escala hedónica se convierte en numérica, para poder calcular el valor medio y la desviación estándar y relacionarla así con el valor total de la escala.

2.4. Caracterización de la salsa

Definida la concentración de goma xanthan a utilizarse y la proporción de frutas se determinó ° Brix, pH y acidez con los métodos anteriormente descritos. Estos parámetros se realizaron por triplicado.

2.5. Estudio de penetración de calor

Se trabajó a partir de aproximadamente 4.613 Kg. de salsa, la cual se colocó en un sistema simulando las condiciones de una marmita. Las muestras fueron sometidas a 60 °C por un tiempo de 20 minutos.

FIGURA 5

SISTEMA UTILIZADO PARA EL ENSAYO DEL ESTUDIO DE PENETRACION DE CALOR



La evolución de la temperatura en el punto más frío se registró con la ayuda de la termocupla marca K – Type thermometer modelo CHY 500.

2.5.1. Curvas de penetración de calor

Siguiendo el esquema del método gráfico se trabajó en un papel semilogarítmico rotado 180°, donde la escala decimal representó el tiempo, y la logarítmica, la temperatura en el punto más frío.

Prolongando la línea formada por los puntos graficados se obtiene los parámetros jh y fh . Según lo indicado por Olson y Stevens (1939), el valor de jh se calcula convenientemente con las siguientes ecuaciones:

$$jh = \frac{Tr - Tt}{Tr - To} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$jh = \frac{J \times I}{I} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde T_r es la temperatura de la retorta, T_t es la temperatura inicial teórica y T_o es la temperatura inicial real.

$$I = T_r - T_o \quad (\text{Ecuación 3})$$

En el caso de f_h , de acuerdo a Ball, se obtuvo determinando el tiempo requerido para bajar un ciclo log.

2.5.2. Método de Stumbo

El método de Stumbo es muy similar al método de Ball, pero es considerado más versátil ya que toma en cuenta los efectos térmicos del enfriamiento cuando el factor j_c difiere a 1.41. En las Tablas 7 y 8, se simplifica mediante un ejemplo el procedimiento para calcular el tiempo y la letalidad del proceso respectivamente, partiendo de valores previamente determinados de j_h y f_h .

Tabla 7

PROCEDIMIENTO DEL CÁLCULO DE TIEMPO DE PROCESO

1.	j_{ch}	1.3
2.	f_h	12.0 min
3.	Process lethality (F_0)	10 min
4.	Retort temperature (T_r)	255°F
5.	Initial temperature (T_i)	150°F
6.	$I_h = T_r - T_i$	105°F
7.	$j_{ch} \cdot I_h$	136.5
8.	$\log(j_{ch} \cdot I_h)$	2.14
9.	$z =$	18°F
10.	$F_i = 10^{[(250 - T_r)/z]}$	0.527
11.	$f_h/U = f_h / (F_0 \times F_i)$	2.28
12.	j_{cc}	1.6

From table, for $z = 18^\circ\text{F}$ ($j_{cc} = 1.6$),
obtain g value by interpolation

f_h/U	g value
2.0	2.34
3.0	3.89

Interpolate

2.27	2.77
------	------

13.	$B = f_h [\log(j_{ch} \cdot I_h / g)]$	20.4 min
-----	--	----------

Fuente: Food Processing principles and applications (6).

Estos cálculos están basados en valores tabulados de letalidad expresados en parámetros f_h/U , por lo que previamente es necesario aplicar las siguientes ecuaciones:

$$F_i = 10^{140-T/Z} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$U = F_o \times F_i \quad (\text{Ecuación 5})$$

Se tabula f_h/U versus g con jc , que corresponde a la diferencia de temperatura al final del proceso de calentamiento, haciendo uso de las tablas de Stumbo (1973) para pasteurización (Anexo 4)

Para una curva simple de calentamiento. El tiempo de calentamiento al punto g se determina con la siguiente expresión, que se puede posteriormente relacionar para conocer una temperatura final requerida o la temperatura para un tiempo determinado.

$$Bb = fh[\log(j \times I) - \log(g)] \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$Bb = T - 0.6t_{levante} \quad (\text{Ecuación 7})$$

En el caso del cálculo de letalidad del proceso, el procedimiento a seguir y las ecuaciones utilizadas, son básicamente las mismas,

aplicadas en sentido contrario, ya que en éste caso lo que se busca es el valor F_o .

Tabla 8
PROCEDIMIENTO DEL CÁLCULO DE LETALIDAD DEL
PROCESO

Calculation of Process Lethality
Using the Stumbo Method

1.	j _{ch}	2.05
2.	f _h	34.9 min
3.	Process time	69.0 min
4.	Retort temperature (T _r)	245°F
5.	Initial temperature (T _i)	150°F
6.	I _h = T _r - T _i	95°F
7.	j _{ch} ·I _h	194.8
8.	log (j _{ch} ·I _h)	2.29
9.	z =	18°F
10.	F _i = 10 [^] [(250 - T _r)/z]	1.90
11.	B/f _h	1.98
12.	log (g) = log (j _{ch} ·I _h) - B/f _h	0.31
13.	g	2.04
14.	j _{cc}	1.8

From table, for z = 18°F (j_{cc} = 1.8),

obtain f_r/U by interpolation

f _r /U	g value
1.0	0.676
2.0	2.48

Interpolate

1.76	2.04
------	------

15.	F _o = f _h / [(f _r /U) × F _i]	10.4 min
-----	---	----------

Fuente: Food Processing principles and applications (6).

Degradación del factor de calidad

Con respecto al factor de degradación de calidad, el ácido ascórbico tiene valores de $Z = 50.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ y $D_{121.1^\circ\text{C}} = 246$ minutos. Se utilizan las tablas para la evaluación de nutrientes en los cálculos de procesos térmicos (Stumbo, 1973)(Anexo 5). Se obtiene F , y mediante las siguientes ecuaciones se determinan los puntos donde se evalúa la letalidad f_v .

$$g_v = 0.5g \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$j_v = 0.5j \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$U = \frac{fh}{\frac{fh}{U}} \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$F_v = \frac{U}{F_i} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Posteriormente \bar{F} interviene en la expresión que relaciona las concentraciones iniciales y finales del parámetro de calidad evaluado, para conocer la concentración final luego del tratamiento térmico. Por lo que resulta necesario, conocer el valor de la concentración inicial (C_o).

$$\bar{F} = F + D \log\left(\frac{D + 10.92(Fv - F)}{D}\right) \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$\log \frac{C_o}{C} = \frac{\bar{F}}{D} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Determinación de concentración inicial de Ácido ascórbico

En este caso, se utilizó el Test de ácido ascórbico de Merck® basado en el método reflectométrico, donde el ácido ascórbico reduce el ácido molibdo-fósforico presente en las tirillas de análisis a azul de fosfomolibdeno. La determinación de la concentración del ácido ascórbico se realizó por replica y se trabajó con la media de los resultados obtenidos.

2.5.3. Método de tablas de Pflug *et al.*

Las tablas de Pflug *et al.*, son una representación de f_h vs N_{Bi} , j_c vs N_{Bi} y j_m vs N_{Bi} . Por lo que previo a su uso se debe conocer el valor del número de Biot.

$$N_{Bi} = \frac{hd_c}{k} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Los factores obtenidos de estas tablas son para figuras geométricas definidas como esferas, prismas infinitos y cilindros infinitos, en el caso de figuras finitas se hace uso de la siguiente relación:

$$\frac{1}{f_{finitecylinder}} = \frac{1}{f_{infinitecylinder}} + \frac{1}{f_{infiniteslab}} \quad (\text{Ecuación 15})$$

El coeficiente de transferencia de calor necesario para el cálculo del número de Biot se determinó con la siguiente relación para marmitas con agitación y valores de Reynolds entre 300 y 4×10^5

$$\frac{hD_T}{k} = 0.87 \left(\frac{D_p^2 N \rho}{\eta} \right)^{0.62} \left(\frac{C_p \eta}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\eta}{\eta_\omega} \right) \quad (\text{Ecuación 16})$$

$$\text{Re}_m = \frac{Nd^2 \rho}{\eta} \quad (\text{Ecuación 17})$$

2.5.4. Método de Tablas de Heisler

Las tablas de Heisler (1944) relacionan tres números adimensionales: Biot, Fourier y una relación de temperaturas. Generalmente estas tablas se encuentran en dos versiones, una de ellas posee la escala expandida que permite trabajar con valores de Fourier inferiores a uno y utiliza el N_{Bi} directamente a diferencia de la que usa el inverso de éste número.

$$Fo = \frac{\alpha t}{d_c^2} \quad (\text{Ecuación 18})$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección natural en espacios ilimitados responde a la siguiente ecuación:

$$\frac{Q}{A} = \frac{K_{eq}}{\delta} \Delta T \quad (\text{Ecuación 19})$$

$$K_{eq} = \varepsilon_c k \quad (\text{Ecuación 20})$$

Donde:

$$\varepsilon_c = 0.105(Gr Pr)^{0.3}, \text{ si } 10^3 < Gr Pr < 10^6 \quad (\text{Ecuación 21})$$

$$\varepsilon_c = 0.4(Gr Pr)^{0.2}, \text{ si } 10^6 < Gr Pr < 10^{10} \quad (\text{Ecuación 22})$$

$$\varepsilon_c = 1, \text{ si } Gr Pr < 10^3 \quad (\text{Ecuación 23})$$

$$Pr = \frac{\eta C_p}{k} \quad (\text{Ecuación 24})$$

$$Gr = \frac{De^3 \rho^2 g \beta \Delta T}{\mu^2} \quad (\text{Ecuación 25})$$

2.5.5. Método analítico

En este método se hace uso de las ecuaciones generalizadas para la transmisión de calor en régimen no estacionario.

La regla de Newman relaciona las variables adimensionales de temperatura del cilindro finito con las de la lámina y el cilindro infinito de acuerdo con la expresión:

$$Y_{cf} = Y_{li} \times Y_{ci} \quad (\text{Ecuación 26})$$

Siendo

$$Y_{cf} = \frac{T_{\infty} - T}{T_{\infty} - T_0} \quad (\text{Ecuación 27})$$

$$Y_{cf} = \frac{4}{\pi} 1.602 \exp\left(-\frac{\pi^2}{4} \frac{\alpha t}{a^2} - 5.784 \frac{\alpha t}{r_c^2}\right) \quad (\text{Ecuación 28})$$

A partir de los datos experimentales se obtiene una temperatura adimensional para el cilindro finito denominada Y_{cf} , éste dato permite conociendo la temperatura del medio T_{∞} y la inicial T_0 determinar la temperatura T a distintos tiempos en un punto del cilindro finito, de tal manera que se obtiene una nueva relación tiempo versus temperatura.

2.5.6. Método de los coeficientes de transmisión de calor

Se basa en la aplicación de balance de energía del tanque utilizado, donde un fluido caliente se hace circular a través de su camisa, entrando a una temperatura T_e y abandonándola a una temperatura T_s . El calor perdido por este fluido es transferido a

través del área de intercambio hacia el fluido contenido en el tanque, el cual incrementa su temperatura de T_0 a T_f .

En estos sistemas se cumple que el caudal de calor ganado por el fluido del tanque se ajusta a la siguiente expresión:

$$\dot{Q}_f = \frac{M}{t} (\hat{C}_p)_f (T_f - T_0) \quad (\text{Ecuación 29})$$

Donde M corresponde a la masa del alimento contenido en el tanque, t es el tiempo requerido para aumentar la temperatura y \hat{C}_p el calor específico.

La ecuación de velocidad de transferencia de calor a través del área de intercambio será:

$$\dot{Q} = U(\Delta T)_{ml} A \quad (\text{Ecuación 30})$$

Siendo, U el coeficiente de transferencia de calor, A y $(\Delta T)_{ml}$ el área de intercambio de calor y el incremento de temperaturas, respectivamente.

$$(\Delta T)_{ml} = \frac{(T_e - T_0) - (T_s - T_f)}{\ln\left(\frac{T_e - T_0}{T_s - T_f}\right)} \quad (\text{Ecuación 31})$$

$$U = \frac{h_i h_o}{h_i + h_o} \quad (\text{Ecuación 32})$$

Aplicando estas ecuaciones, se busca obtener a partir de las temperaturas registradas experimentalmente los tiempos a la cual corresponden los registros, de tal manera que se puede verificar los datos experimentales con lo teórico, pudiendo ver la variación que pudiera existir entre métodos.

CAPITULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Caracterización de la materia prima

Luego de realizar las respectivas pruebas a la materia prima se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA 9
CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA

	PIÑA	MANGO
pH	3,28 ± 0,01	3,49 ± 0,01
°Brix	10,5 ± 0,01	15,2 ± 0,01
Acidez (%)	0,87 ± 0,1 mg.	0,55 ± 0,1 mg.
Ratio de madurez	12,07	27,64

Elaborado por: Cindy Hurel P.

Los valores obtenidos de pH, °Brix y acidez son referenciales a las características físico químicas de la materia prima utilizada para el

desarrollo del producto. Éstos cambian dependiendo de la variedad de las frutas.

3.2. Resultados del diseño experimental

Pruebas de preferencia

Para la selección de la proporción de piña y mango que sería utilizada en la salsa, se realizó una prueba sensorial de preferencia a 30 panelistas no entrenados, los cuales debían escoger la muestra de su preferencia basados en el sabor del producto.

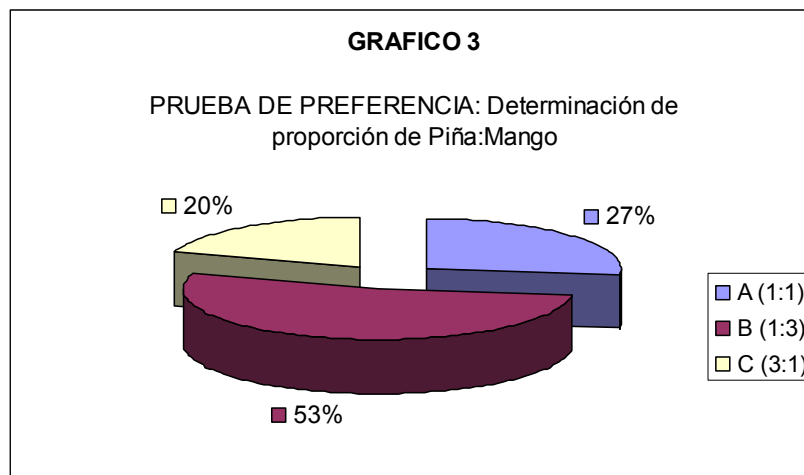
La Tabla 10 y el Gráfico 3 muestran las formulaciones de las muestras presentadas a los panelistas y los resultados de la prueba sensorial realizada en esta etapa.

TABLA 10

FORMULACIONES PARA DETERMINACION DE PROPORCION DE FRUTAS

	MUESTRA A (%)	MUESTRA B (%)	MUESTRA C (%)
Mango	32,68	16,34	49,02
Piña	32,68	49,02	16,34
Azúcar	16,34	16,34	16,34
Sal	1,63	1,63	1,63
Pimienta	0,33	0,33	0,33
Vinagra	16,34	16,34	16,34
TOTAL	100,00	100,00	100,00

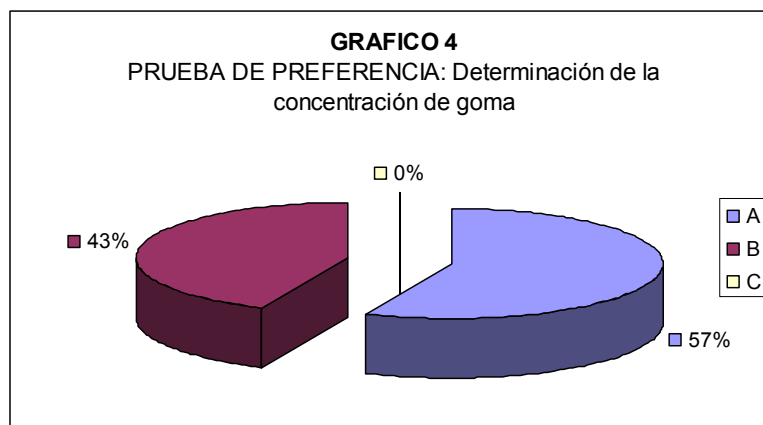
Elaborado por: Cindy Hurel P.



Elaborado por: Cindy Hurel P.

Un poco más de la mitad de los panelistas prefirieron la muestra B, que corresponde a la proporción mango:piña 1 a 3.

En una segunda prueba, se determinó la concentración de goma a utilizarse sobre la base escogida inicialmente, a la que se le aplicó concentraciones de 0.5%, 0.7% y 1% de goma a las que llamaremos A, B y C respectivamente, de acuerdo a la preferencia de los panelistas se obtuvieron los siguientes resultados:



Elaborado por: Cindy Hurel P.

Es decir, de acuerdo a las pruebas sensoriales, la salsa tendrá una proporción de mango:piña de 1 a 3 y 0.5% de goma xanthan con respecto a su peso total. La goma xanthan proporcionará estabilidad a la sal, al calor y al ácido; además de impartir excelentes propiedades de adherencia.

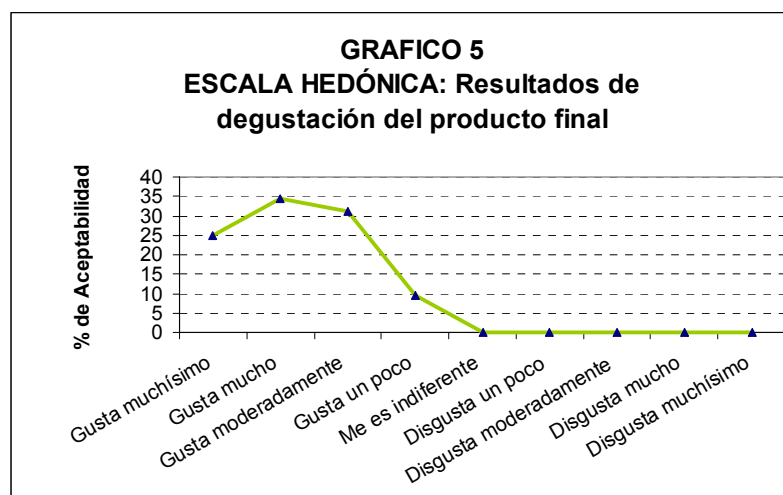
Escala hedónica

Ésta degustación final, se realizó posteriormente a la pasteurización de la salsa, de tal manera que los panelistas aprecien las características sensoriales del producto tal como sería su presentación como consumidores finales.

FIGURA 6**Producto degustado por panelistas**

La encuesta presentada a los degustadores (Anexo 3), consiste en una escala de 9 puntos con características claramente definidas. Cada característica tiene un valor de -4 a 4 designado dentro de la escala, donde el valor más bajo demuestra completo disgusto hacia el producto y el más alto la aceptación total de la muestra.

De acuerdo al análisis estadístico de los resultados, se obtuvo una media igual a 2.6, que en relación a la escala utilizada, equivale a un producto con buena aceptación, la desviación estándar obtenida fue de 0.93. En el Grafico 5 se pueda apreciar el porcentaje de aceptabilidad producto de la degustación realizada.



Elaborado por: Cindy Hurel P.

3.3. Caracterización de la Salsa de Piña y Mango

La Tabla 11 muestra las características físico-químicas determinadas para la salsa 75% piña – 25% mango con una adición de goma xanthan al 0.5%.

TABLA 11

Caracterización de la Salsa de Piña y Mango	
°Brix	29,6 ± 0,01
Acidez	1,34 ± 0,1 mg.
pH	3,2 ± 0,01
Concentración de Ac. Ascórbico	16,95 mg/100 g. *
	16,5 mg/100 g. °

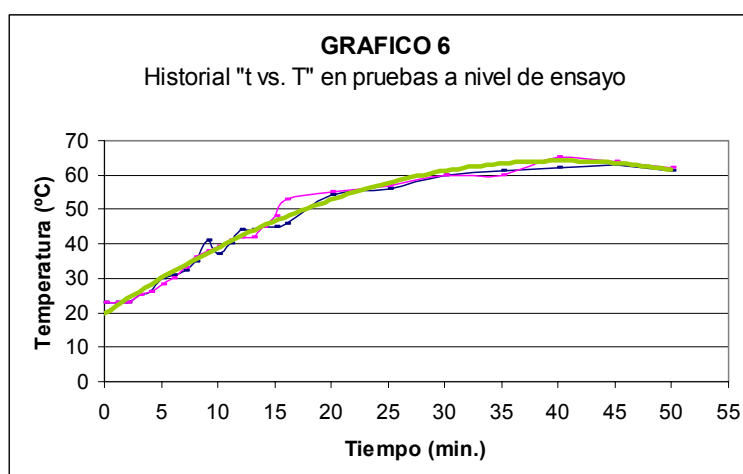
* Previo al tratamiento térmico

° Posterior al tratamiento térmico

Elaborado por: Cindy Hurel P.

3.4. Curva de penetración de calor a nivel de ensayo

Con la ayuda del termopar, se registró por duplicado la variación de la temperatura con respecto al tiempo por un lapso de 50 minutos, las que se encuentran registradas en el Gráfico 6, con su respectiva línea de tendencia. De acuerdo a un análisis mediante t de student, con un g.l = 23 y para $p = 0.025$, las temperaturas obtenidas durante ambas pruebas no resultaron ser significativamente diferentes.



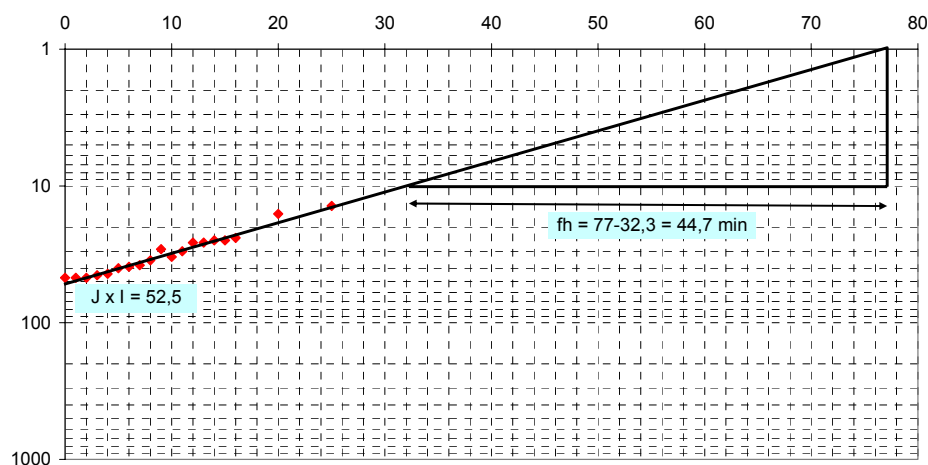
Elaborado por: Cindy Hurel P.

De acuerdo a éstos datos se establecieron las curvas de penetración de calor a escala semilogarítmica representadas en los Gráficos 7 y 8, los

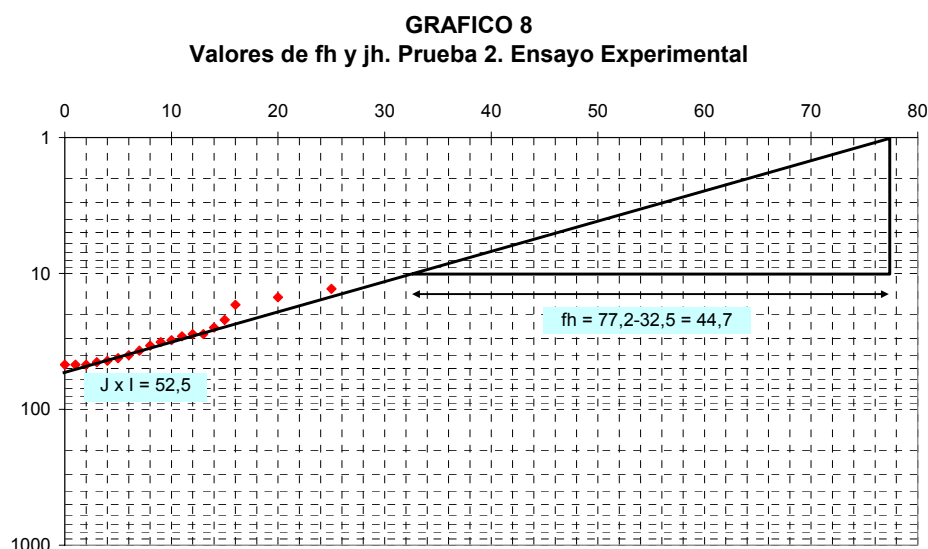
cuales sirvieron para la determinación de los valores de f_h y j_h , donde el valor de j_h se obtuvo mediante las ecuaciones 2 y 3.

En ambas pruebas los resultados obtenidos fueron 44.7 minutos y 1.117 para f_h y j_h respectivamente, asumiendo un tiempo de levante equivalente a 0, es decir que el valor de $J \times I$ fue considerado desde el origen como se puede apreciar en las curvas.

GRAFICO 7
Valores de f_h y j_h . Prueba 1. Ensayo experimental



Elaborado por: Cindy Hurel P.



Elaborado por: Cindy Hurel P.

Una vez determinado el método matemático que se ajuste a los datos experimentales mediante las temperaturas obtenidas, se trazará la respectiva curva de penetración de calor definiendo otros valores de f_h y j_h . Éstos se confrontarán con los valores iniciales, sirviendo como referencia adicional para comprobar la eficacia del método.

3.5. Determinación de tiempo de proceso: Método de Stumbo

El método de Stumbo permite determinar el tiempo de proceso, para lo cual es necesario conocer los parámetros f_h y j_h que se obtienen de las curvas de penetración de calor, así como también la temperatura de la

retorta, la temperatura inicial del medio de calentamiento y la temperatura de pasteurización.

El *Zygosaccharomyces Bailli* por ser considerado el microorganismo de mayor termoresistencia, será el cual sobre el que se realicen los cálculos para determinar el tiempo necesario para su destrucción. Sus valores de D y Z corresponden a 8.1 minutos y 8 °F. a una temperatura de referencia de 140 °F.

En la Tabla 12 se muestra los datos necesarios para realizar los cálculos para la determinación del tiempo de proceso, así como también, los resultados obtenidos.

Tabla 12	
DETERMINACION DEL TIEMPO DE PROCESO: MÉTODO DE STUMBO	
jh, jc	1.117
fh	44.7 min.
Letalidad ($F_{O_{140F}}$)	222.7 min.
T_r	158 °F
T_o	73.4 °F
I (Ecuación 3)	84.6
$jh \times I$	94.4982
$\log(jh \times I)$	1.975
Z	8
F_i (Ecuación 4)	5.623×10^{-3}
U (Ecuación 5)	1.25
$\frac{fh}{U}$	35.76
$g_{(jc=1.117; fh/U=35.76)}$	6.941
Bb (Ecuación 6)	50.69 min.

Elaborado por: Cindy Hurel P.

Degradación de calidad

El ácido ascórbico es el componente más afectado por efecto de la temperatura debido a su gran volatilidad. Conociendo los valores de D y Z de ésta vitamina, es posible determinar el grado de degradación posterior al tratamiento térmico.

La Tabla 13 expuesta a continuación muestra los datos y resultados necesarios para éste cálculo. Algunos datos corresponden a los utilizados para la determinación del tiempo de proceso.

Tabla 13 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE DEGRADACION DE ACIDO ASCÓRBICO	
j_h, j_c	1.117
f_h	44.7 min.
Letalidad ($F_{0,140F}$)	222.7 min.
F_i (Ecuación 4)	5.623×10^{-3}
U (Ecuación 5)	1.25
f_h/U	35.76
$g_{(j_c=1.117; f_h/U=35.76)}$	6.941
U (Ecuación 10)	36.46
$F = \frac{U}{10^{\frac{140-158}{99}}}$	55.42
g_v (Ecuación 8)	3.4705
j_v (Ecuación 9)	0.5585
F_v (Ecuación 11)	61.71
\bar{F} (Ecuación 12)	84.93 min. = 1.42 h.
C (Ecuación 13)	15.94 mg/100g

Elaborado por: Cindy Hurel P.

3.6. Método de Pflug et al.

Tomando en cuenta que al momento de hacer el ensayo se simuló una marmita con agitación a una velocidad de 40 r.p.m y de acuerdo al reynolds modificado obtenido (Ecuación 17), se obtuvo el coeficiente de transferencia de calor (Ecuación 16) que es una de las variables para el cálculo del número de biot, cuya relación se encuentra expresada en la ecuación 14.

El número de biot es requerido para la interpretación de las tablas de Plug et al. y para obtener el parámetro $f\alpha/d^2c$, que finalmente permitirá determinar el valor fh .

Debido a que éste método proporciona información para figuras geométricas infinitas, se utiliza la ecuación 15 que permite conocer los resultados para figuras finitas.

TABLA 14 Datos y Cálculo de Re_m	
N (r.p.m)	0.667
D_p (m)	0.05
ρ	1275.96
η	0.001
Re_m	2.13E+03

Elaborado por: Cindy Hurel P.

TABLA 15 Cálculo de h , N_{Bi} y fh		
	CILINDRO	PRISMA
D_T/k	0.393	0.124
$\left(\frac{D_p^2 N \rho}{\eta}\right)^{0.62}$	115.691	115.691
$\left(\frac{C_p \eta}{k}\right)^{1/3}$	1.841	1.8411
$\left(\frac{C_p \eta}{k}\right)^{1/3}$	1.0149	1.0149
h	478.5 $w/m^2 \circ C$	1516.693
N_{Bi}	94.04	94.13
$f\alpha/d^2 c$	0.4	0.95
$fh_{figuras\ infinitas}$	479.17 min.	113.488 min.
$fh_{cilindro\ finito}^*$	91.756 min.	

* Resultado de fh usando ecuación para cilindro finito

Elaborado por: Cindy Hurel P.

La Tabla 14 muestra los datos a nivel de ensayo requeridos para el cálculo del valor de Re_m incluido su resultado y la Tabla 15 proporciona los datos y resultados para determinar f_h . Para el parámetro $f\alpha/d^2c$ ver tablas de Pflug et al, Anexo 6.

Recapitulando, el valor f_h obtenido experimentalmente es de 44.7 minutos y mediante el método de Plug et al. f_h es igual a 91.756 minutos, es decir un error del 51.28%.

3.7. Método de Tablas de Heisler

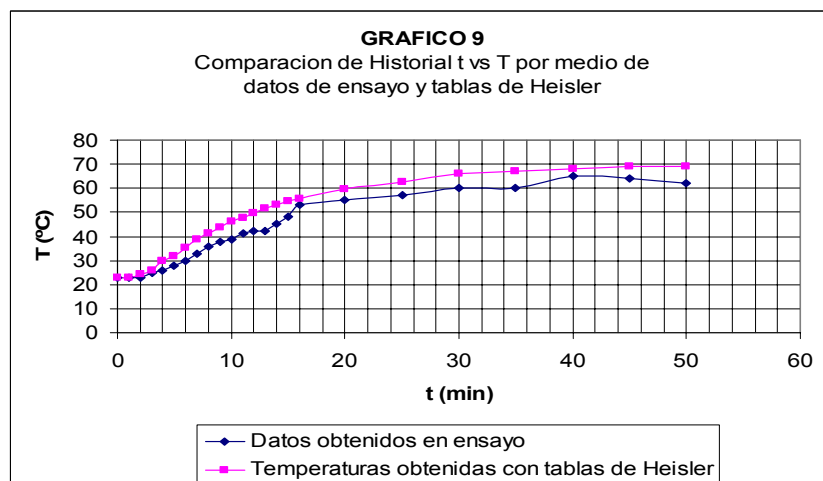
De la tabla de Heisler (Anexo 7) se obtiene la relación $\frac{(T_a - T)}{(T_a - T_i)}$, conociendo previamente FO y N_{Bi} . Fourier (Ecuación 18) cambia con respecto al tiempo, lo que indica que la temperatura T varía de la misma forma

La Tabla 16 proporciona datos previos necesarios para obtener la

relación $\frac{(T_a - T)}{(T_a - T_i)}$, de la cual finalmente se obtiene nuevas temperaturas para cada tiempo, representadas en el gráfico 9. Ver Anexo 8 para ver valores obtenidos.

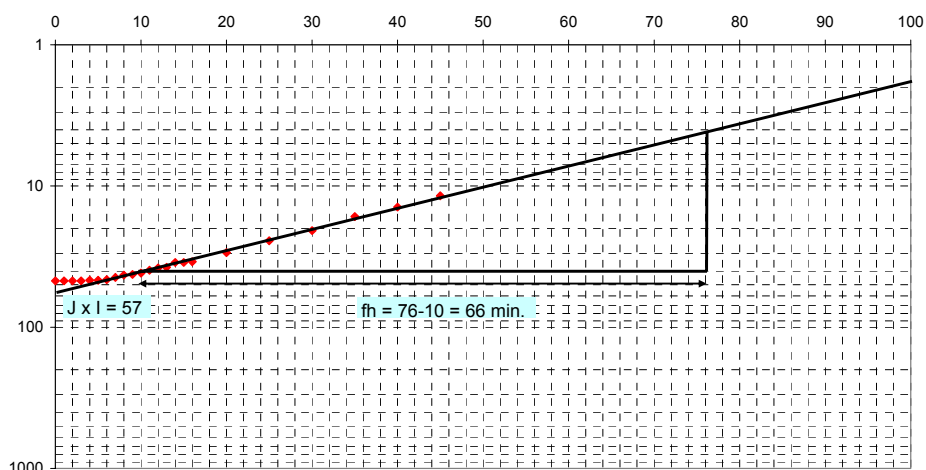
TABLA 16 DATOS PARA CÁLCULO DE BIOT Y FOURIER	
De	0.371 ft.
Gr	8.636E+8
$Pr_{\bar{T}}$	3.948
ε	32.255
$k_{\bar{T}}$	$0.372 \text{ BTU}/\text{hft}^\circ \text{F}$
h	$32.342 \text{ BTU}/\text{hft}^2 \circ \text{F}$
Nbi	4.56

Elaborado por: Cindy Hurel P.



Elaborado por: Cindy Hurel P.

GRAFICO 10
Valores de f_h y j_h . Metodo de Heisler de acuerdo a ensayo



Elaborado por: Cindy Hurel P.

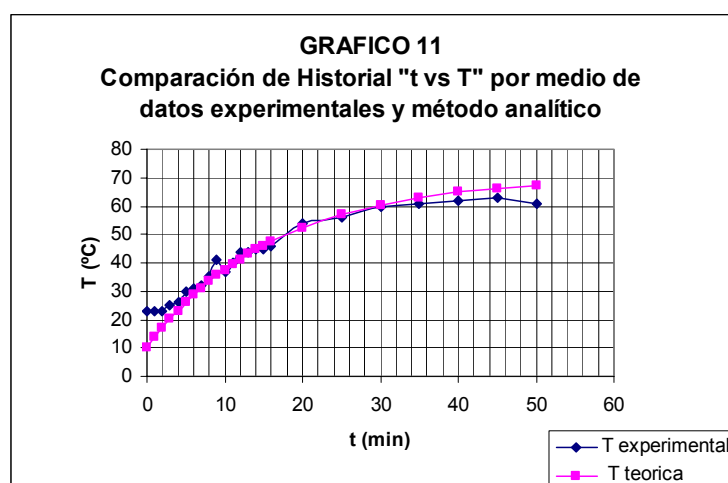
Siguiendo el método de Heisler se obtuvieron valores de f_h y j_h de 66 min y 1.213 respectivamente, cuyo apoyo visual se aprecia en el gráfico 9. De acuerdo al análisis mediante t de student, con un g.l = 23 y $p = 0.025$, los valores obtenidos son significativamente diferentes a los originales.

3.8. Método analítico

Conociendo el valor de la difusividad térmica característica del producto, y , los diferentes tiempos en que fueron tomadas las temperaturas

durante el ensayo experimental, se obtienen los valores Y_{cf} (Ecuación 28), que finalmente mediante la relación de temperaturas, inicial del bote y del baño al que se somete el producto (Ecuación 27), permiten determinar analíticamente la temperatura medida a cada instante en un punto del cilindro finito.

El Gráfico 11 hace una comparación de las curvas t vs. T de los datos obtenidos experimentalmente vs. los obtenidos por el método analítico. Los valores se encuentran registrados en el Anexo 9.

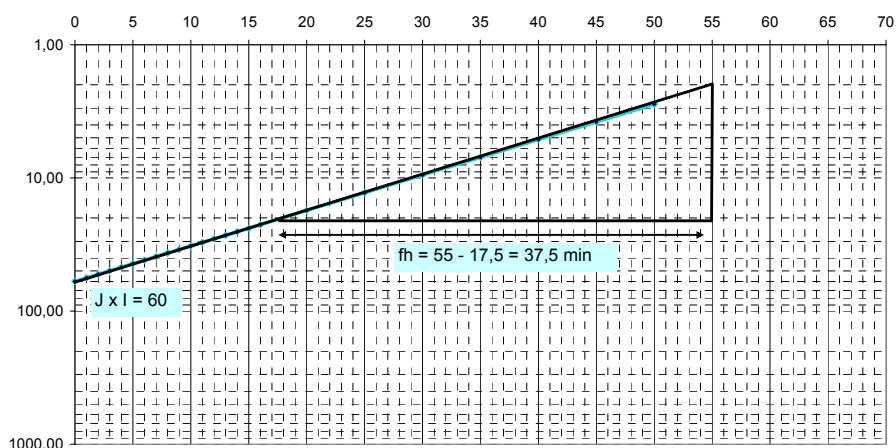


Elaborado por: Cindy Hurel P.

El análisis respectivo para la valoración de los datos obtenidos mediante t de student, con $g.l = 23$ y $p = 0.025$, indican que en comparación con los datos originales, ambas curvas no son significativamente diferentes.

Por lo que, una vez determinado que las curvas se ajustan, se calcularon los valores $f_h = 37.5$ min y $j_h = 1.277$. Ver gráfico 12. Éstos valores son posteriormente utilizados para determinar el tiempo de proceso y la degradación del ácido ascórbico

GRAFICO 12
Valores de j_h y f_h . Método analítico.



Elaborado por: Cindy Hurel P.

Determinación del tiempo de proceso:

Conociendo todos los parámetros necesarios para la determinación del tiempo de proceso, resumidos en la Tabla 17, se determinó el tiempo en 45.2 minutos, un 10.8% menos que los 50.69 minutos de acuerdo a los datos del ensayo a nivel de laboratorio.

Tabla 17	
METODO ANALÍTICO: DETERMINACION DEL TIEMPO DE PROCESO POR STUMBO	
jh, jc	1.277
fh	37.5 min.
Letalidad (Fo_{140F})	222.7 min.
Tr	158 °F
To	73.4 °F
I (Ecuación 3)	84.6
$jh \times I$	108.0342
$\log(jh \times I)$	2.034
z	8
Fi (Ecuación 4)	5.623×10^{-3}
U (Ecuación 5)	1.25
$\frac{fh}{U}$	29.947
$g_{(jc=1.277; fh/U=29.947)}$	6.736
Bb (Ecuación 6)	45.193 min.

Elaborado por: Cindy Hurel P.

3.8.1. Degradación de calidad

Continuando con el factor de degradación de calidad, de acuerdo a datos del método analítico la concentración final del ácido después de la pasteurización fue de $16.1 \text{ mg}/100\text{g}$, tan solo un 2.42% por debajo del valor obtenido por el test de ácido ascórbico de Merck ($16.5 \text{ mg}/100\text{g}$).

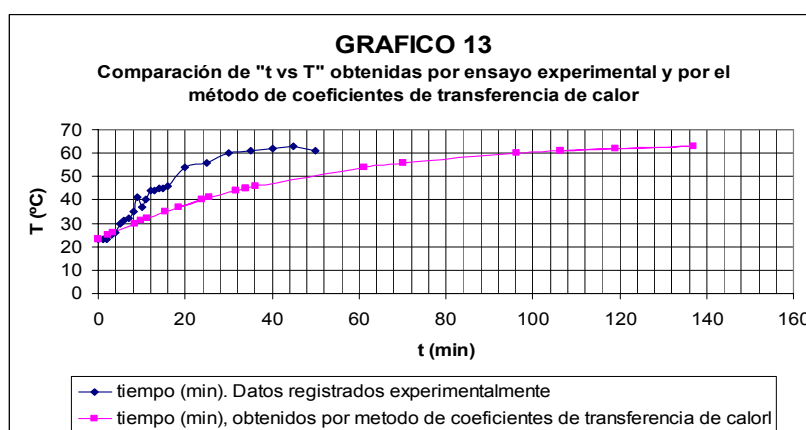
Tabla 18	
MÉTODO ANALÍTICO: DETERMINACIÓN DEL GRADO DE DEGRADACION DE ACIDO ASCÓRBICO	
j_h, j_c	1.277
f_h	37.5 min.
Letalidad ($F_{0_{140F}}$)	222.7 min.
F_i (Ecuación 4)	5.623×10^{-3}
U (Ecuación 5)	1.25
f_h/U	29.947
$g_{(j_c=1.277; f_h/U=29.947)}$	6.736
U (Ecuación 10)	32.524
$F = \frac{U}{10^{\frac{140-158}{99}}}$	49.434
g_v (Ecuación 8)	3.368
j_v (Ecuación 9)	0.6385
F_v (Ecuación 11)	54.048
\bar{F} (Ecuación 12)	71.14 min. = 1.18 h.
C (Ecuación 13)	$16.1 \text{ mg}/100\text{g}$

Elaborado por: Cindy Hurel P.

3.9. Método de los coeficientes de transmisión de calor

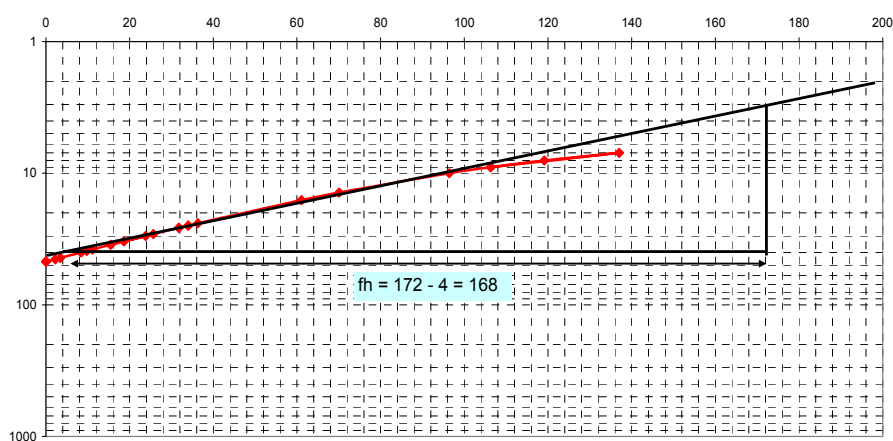
Se determinó el área de transferencia y el coeficiente de transmisión de calor (Ecuación 32) para de acuerdo al balance de energía (Ecuación 29 y Ecuación 30) determinar un tiempo para cada temperatura registrada durante el ensayo (ecuación 31), utilizadas posteriormente para su comparación.

La representación gráfica de los resultados están representados en el Gráfico 13, y, fueron tabulados mediante t de student, bajo las mismas condiciones que sirvieron para valorar los métodos anteriores, determinando que, si son significativamente diferentes a los originales.



El siguiente gráfico ratifica la no concordancia del método con un valor de $f_h = 168$ minutos, completamente diferente al obtenido con los datos a nivel de laboratorio.

GRAFICO 14
Valores de f_h y j_h . Metodo de coeficientes de transferencia de calor.



Elaborado por: Cindy Hurel P.

Comparación de métodos

En la Tabla 19 se muestran los resultados obtenidos de cada uno de los métodos matemáticos, incluyendo los del estudio de penetración de calor a nivel de ensayo, de tal manera que se logra tener una visión general para la comparación de los métodos.

El método analítico, fue el único que proporcionó valores para el historial t vs. T que se ajustaron a la curva original. Sus resultados fueron analizados mediante t de student y se determinó que no existía una diferencia significativa en comparación al historial registrado durante la prueba de ensayo.

TABLA 19
CUADRO COMPARATIVO DE MÉTODOS

MÉTODO	fh	Análisis t de Student		Tiempo de Proceso	Concentración final del ácido ascórbico
		SI	NO		
Estudio de Penetración de calor original	44,7 min			50,69 min	15,94 mg/ 100 g
Plug <i>et al.</i>	91,76 min				
Heisler	66 min	X			
Analítico	37,5		X	45,2 min	16,1 mg/100 g
Coefficientes de Transmisión de calor	168 min	X			

Elaborado por: Cindy Hurel P.

A pesar que, el análisis mediante t de student es favorable, la diferencia del tiempo de proceso entre ambos métodos, varía aproximadamente en 5.5 minutos equivalente a un error del 10.83%.

CAPITULO 4

4. INDUSTRIALIZACION

4.1. Producción a nivel industrial

Trabajando con la información del primer capítulo de ésta tesis, se estableció como referencia una industria que procese aproximadamente el 4 y 2% de los excedentes de exportación, equivalente a 795 y 245 Kg/h de piña y mango, respectivamente. Tomando en consideración que el rendimiento de la materia prima es del 50% para la piña y 54% para el mango, se estableció procesar 530 Kg/h de mezcla piña-mango, que se considerará como la capacidad productiva base. Esta capacidad de producción permitió la selección de la maquinaria adecuada para ésta línea de procesamiento, que a su vez, podrá utilizarse para procesar otro tipo de frutas, y obtener así una línea multifuncional.

4.2. Proceso de elaboración

Durante la recepción de la materia prima, a pesar de que se utilizará frutas no aptas para exportación de forma fresca, tanto las piñas y los mangos deberán estar sanos y libres de olores o sabores extraños, tener una consistencia firme, con un aspecto fresco, exentos de magulladuras marcadas y/o daños causados por plagas. Además, su estado de madurez debe ser el adecuado para entrar a la línea de procesamiento. (Ver Tabla 19)

Inicialmente, las frutas son sometidas a un prelavado por inmersión con agua clorada a un nivel de 15 ppm. (Ficha técnica de Industrialización de Mango de Costa Rica), con el fin de reducir la carga microbiana y eliminar impurezas y suciedades del fruto. Posteriormente, por medio de aspersores la fruta es enjuagada para eliminar los residuos de cloro que pudieran haber quedado.

A través de un despulpador, las frutas son pasadas a través de una malla inicial y paletas de caucho para eliminar la cáscara y las semillas,

una segunda malla elimina los restos de las semillas o cáscaras que han pasado el primer despulpador.

Una vez obtenidas las pulpas de piña y mango, se mezclan en la marmita provista de un agitador, con los ingredientes secos. Se procede a la estandarización con la ayuda del vinagre, para lograr una acidez de 1.3% y 30 ° Brix.

Cuando el producto ha sido mezclado, éste pasa a un desaireador de forma cónica, donde por medio de una bomba se succiona el aire, provocando vacío, con el fin de alargar la vida de anaquel y evitando la oxidación, a través de la desoxigenación del producto.

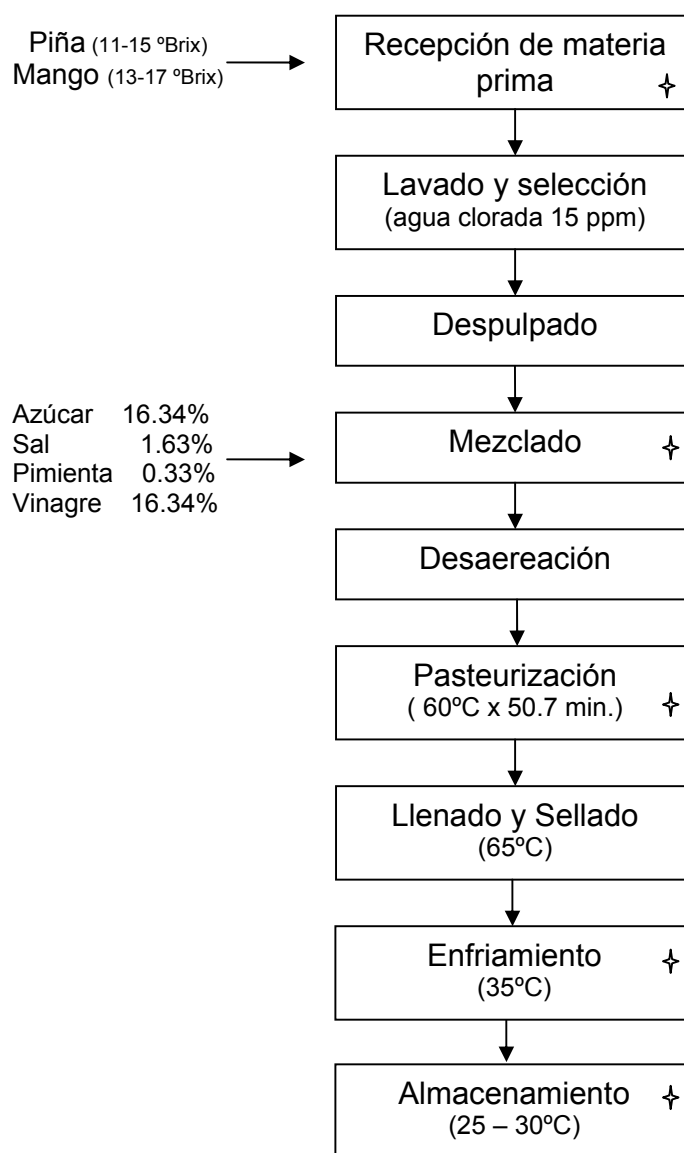
La estandarización de la salsa, precede a uno de los puntos fundamentales del procesamiento, el tratamiento térmico. De acuerdo a fichas técnicas de la FAO, las salsas deben ser sometidas a 95°C por 10 minutos, sin embargo estos son valores que se ajustarán dependiendo del estudio de penetración realizado, en este caso el tiempo de proceso obtenido fue de aproximadamente 51 minutos a 60°C.

El producto resultante, es llevado hacia la llenadora donde se completa el volumen requerido de los envases. Ésta etapa se realiza a una temperatura de 65 °C.

El producto finalmente envasado, es transportado por medio de una banda a un túnel de enfriamiento, donde por medio de duchas de agua fría se baja la temperatura del producto a 35 °C, consiguiendo así la formación del vacío. Finalmente el producto se encuentra listo para su almacenamiento y distribución.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de las diferentes operaciones necesarias para el procesamiento de la salsa. El símbolo utilizado para señalar algunas etapas, †, significa que en ese proceso existe un punto de control, que se especifica en la Tabla 19.

GRAFICO 15
DIAGRAMA DE FLUJO PARA PROCESAMIENTO DE SALSA GOURMET DE
PIÑA Y MANGO



Elaborado por: Cindy Hurel P.

4.3. Puntos de control

Se conoce como un punto de control a una etapa en la cual se pueden controlar factores físicos, químicos o biológicos, que son los controles realizados por las BPM y SSOP.

Realizando un análisis de cada una de las etapas con la ayuda del diagrama de flujo, se establecieron los puntos de control de la línea de proceso. El tiempo y temperatura de pasteurización son de acuerdo a los resultados de tiempo de proceso obtenidos por el método de Stumbo. De igual manera la Normativa Técnica Ecuatoriana, permite definir los rangos permitidos de acidez, °Brix y ph de acuerdo al producto, tomando de referencia productos similares. Agrupando toda esta información la Tabla 19 resume los puntos de control durante el procesamiento de la Salsa gourmet de piña y mango.

TABLA 20

Identificación de Puntos de Control en línea de proceso

ETAPAS DEL PROCESO	Breve descripción	Parámetro de control	Rango	PC
RECEPCION	Se reciben las frutas tomando en cuenta su grado de madurez, en relación con los °Brix	° Brix pH acidez (%)	Piña: 11 - 15 ° Brix pH= 3,28 0,87 % Mango: 13-17 °Brix pH= 3,49 0,55 %	✦
LAVADO Y SELECCIÓN	La materia prima apta, es sometida a un prelavado en agua clorada y a un posterior enjuague con agua potable	nivel de cloración (ppm)	15 ppm	
DESPULPADO	Se obtienen la pulpa de las frutas			
MEZCLADO	Se mezcla, las pulpas de las frutas con los demás ingredientes, tales como: azúcar, pimienta, sal, vinagre, goma xanthan	acidez (%) ph °Brix	1 - 2 % < 4,2 27-33	✦
DESAIREACION	Se realiza extracción de oxígeno para alargar la vida útil, evitando la oxidación			
PASTEURIZACION	Por medio de combinación de tiempos y temperaturas en un tanque pulmón	Temperatura (°C) tiempo (min.)	60 °C 50,7 min.	✦
LLENADO Y SELLADO	El llenado se realiza en caliente para la formación de vacío	Temperatura (°C)	65° C	
ENFRIAMIENTO	Rápido enfriamiento posterior al sellado	Temperatura (°C)	35° C	✦
ALMACENAMIENTO	El producto se mantendrá en un lugar fresco y seco, aproximadamente a temperatura ambiente.	Temperatura (°C)	25°C - 30°C	✦

Elaborado por: Cindy Hurel P.

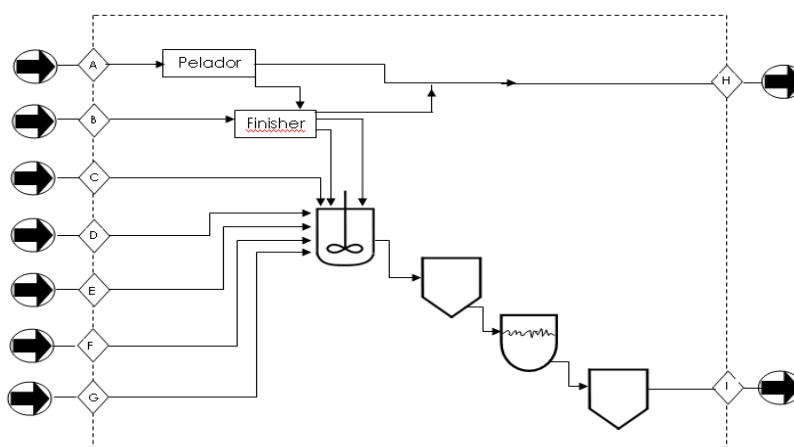
4.4. Equipos

De manera general, las plantas procesadoras de frutas cuentan con equipos similares, dependiendo del tipo de alimentos que produzcan, y obviamente de sus necesidades por la capacidad productiva. Los

equipos recomendados han sido seleccionados de acuerdo a los que en la actualidad se construyen por fabricantes especialistas del sector alimenticio y contruidos de acuerdo a Normas de calidad Internacional. Está proyectada como una línea continua, de tal manera que cada equipo es compatible con los equipos siguientes o anteriores de la línea de producción.

El siguiente esquema (Gráfico 15) es el diagrama de equipos del proceso, donde cada uno de los insumos se han listado desde la letra A hasta la G de la siguiente manera: Piña, Mango, Azúcar, Sal, Pimienta, Vinagre y Goma Xanthan. De manera similar la letra H representa los desperdicios de la materia prima y finalmente la salsa de piña y mango con la letra I.

GRAFICO 16
Diagrama de equipos



Elaborado por: Cindy Hurel P.

Tolva de recepción

Tomando en consideración el rendimiento de la materia prima, y la proporción piña-mango (3:1) utilizada en la formulación de la salsa, la capacidad de la tolva recomendada es de 930 Kg/h. Construida totalmente de acero inoxidable AISI 304 y preparada para instalación de pesaje incorporado en la tolva.

Tina de lavado

La tina de lavado será estructurada en acero inoxidable AISI 304, y de acuerdo a la capacidad productiva establecida, se recomienda un

equipo de 930Kg/h. Se encuentra integrado por un tanque de prelavado por inmersión, con agua en turbulencia por presión de aire y posterior enjuagado por aspersores. Un elevador con transportadores, será el encargado de llevar la materia prima hasta la cinta de selección. La cantidad de agua de entrada será regulada por una válvula, mientras que un sistema de distribución de agua se encargará del empuje del producto hacia el elevador. La limpieza de la tina se facilita mediante la descarga del agua a través del fondo de la tina.

Cinta de selección

Ésta cinta deberá abastecer una carga de 930 Kg/h, es estructurada en acero inoxidable AISI 304 y PVC de grado alimenticio conformando su mesa de trabajo. Durante la selección, el producto rechazado es empujado a través de rampas en acero inoxidable situadas por debajo de la plataforma de trabajo. La altura de la mesa puede ser ajustada mediante patas de regulación de altura para facilitar la operación de selección, y la velocidad puede ser regulada dependiendo de la agilidad de los operarios.

Máquina extractora para piña

Es un equipo especialmente diseñado para piñas, fabricado en acero inoxidable AISI 304 con una capacidad de 930 Kg/h de acuerdo a la capacidad productiva previamente establecida. El extractor pela la piña cortando un grosor constante de la cáscara de la fruta. Las cuchillas encargadas de ésta función son ajustables, permitiendo modificar el grosor a cortar y favoreciendo así el aumento de la productividad de la extracción de pulpa. Permite variar la velocidad de extracción, donde la pulpa es recogida en un tanque recolector.

Finisher

Tomando en cuenta el volumen de procesamiento del mango se estableció una capacidad de 320 Kg/h, considerando en este caso en particular, un excedente del 30% en la capacidad para abastecer un incremento de la producción, procurando evitar la formación de un futuro cuello de botella, ya que sería el equipo de menor capacidad en comparación al resto. La estructura del finisher es en acero inoxidable AISI 304 de molino con martillos en una cámara con rejillas. Posee una tolva de carga, donde se alimenta para la trituración con un sistema

móvil de cerrado y una maquina batidora giratoria; y por supuesto su tolva de descarga.

Marmita (Tanques de mezcla)

Se recomienda un tanque que abastezca 740 litros fabricado en acero inoxidable AISI 304. La superficie interna y externa deberá ser satinada y decapada con terminados para uso alimenticio. La tapa inoxidable con plano de apertura en dos partes y conexión para lavado en CIP. Con una válvula de ventilación y tubería de descarga total. El agitador, de tipo vertical con potencia instalada de 0.5 KW a 30 rpm.

Desaereador

El desaereador deberá tener una capacidad de 740 litros. Constituido por una cámara de expansión satinada internamente y externamente, una electro bomba de extracción con motovariador de velocidad de doble etapa. Incluye además una electro bomba para el vacío del tipo hidroneumático de anillo líquido, para la extracción del aire y del agua de condensación. La instrumentación está integrada por un vacuómetro, un medidor de presión, y un regulador automático de nivel de actuantes

sobre la bomba de aspiración que a su vez mantiene un nivel constante del mismo desaereador.

Tanque pulmón

Tanque cilíndrico vertical cerrado de 740 litros de capacidad. Con soporte para anclaje de agitadores y tapa de cerrado abulonada. Las cuplas permiten la instalación de termómetros y válvulas de purgas. Fabricada en acero inoxidable AISI 304.

Molino Coloidal

Molino de 650 litros de capacidad, fabricado en acero inoxidable AISI 304. Su montaje se lo puede realizar en posición horizontal o vertical. Con motores asincrónicos trifásicos IP 65, con una carcaza protectora también en acero inoxidable. Los rotores pueden ser en dentado normal, en cruz o helicoidal

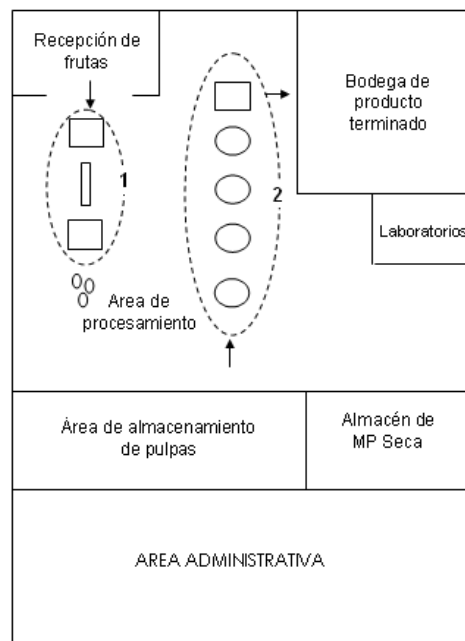
4.5. Lay Out de la planta

Para la distribución de la planta, se establecieron las siguientes áreas de procesamiento, consideradas como básicas en cualquier industria:

- Área de recepción de frutas
- Almacén de materia prima seca (sal, pimienta, azúcar, etc)
- Área de almacenamiento de pulpa
- Bodega de producto terminado
- Área de laboratorios
- Área de procesamiento
- Área administrativa

A continuación, el Grafico 16 es una representación de la distribución de las áreas mencionadas. El área de procesamiento se encuentra dividida en dos partes, señaladas mediante líneas entre cortadas e identificadas mediante dos números. El número 1 representa la parte inicial del procesamiento desde la llegada de la materia prima hasta la obtención de la pulpa, mientras el 2 representa las diferentes etapas del proceso desde la mezcla de la pulpa con los demás ingredientes hasta la obtención de la salsa como producto final.

GRAFICO 17
LAYOUT DE PLANTA DE PROCESAMIENTO



Se establecieron las dimensiones de dos áreas particulares, consideradas importantes para mantener el abastecimiento de la línea de producción, y para mantener un producto almacenado bajo las condiciones apropiadas.

Éstas áreas son las siguientes:

- Área de almacenamiento de pulpas (Temp. De almacenamiento 7°C)

Para establecer el área, es necesario conocer la capacidad de producción de salsa de la fábrica, la cual se aproxima a 14.5 Toneladas diarias, y definir la cantidad de materia prima que podrá almacenar de acuerdo a un determinado número de días. En este caso se establece que podrá almacenar materia prima para 5 días de producción. Se conoce que para éste número de días se necesitan aproximadamente 40 toneladas de pulpa de piña y 13.5 toneladas de pulpa de mango, es decir un total de 53.5 toneladas. Por lo que teniendo información previa de las dimensiones del envase para almacenar la materia prima, de los palets y el método de almacenamiento, es posible estimar el área adecuada, como se hace brevemente a continuación:

La pulpa se envasará en bidones de 150 Kg., por lo que el área deberá almacenar 357 bidones, distribuidos en 90 palets (4 bidones/ palet). Durante el almacenamiento, los palets se distribuirán en 3 niveles, donde cada nivel contendrá 30 palets. Un palet mide 1.2 m², por lo que fácilmente podemos calcular el área necesaria, equivalente en este caso a 36 m², sin embargo se recomienda un área de 50.5 m² dejando

espacio libre para la circulación de personas y maquinas de carga en general.

- Bodega de producto terminado

Usando el mismo procedimiento utilizado para calcular el área de almacenamiento de las pulpas, tenemos: Produciendo 14.5 Toneladas diarias de salsa, y usando envases de 400 g. de capacidad, el número de tarros de mermeladas diarios producidos serían de 36250 unidades, por lo que en 5 días laborables, el almacén abarcaría 181250 unidades de salsa.

Los envases de salsa, se empacarán en cajas de cartón de 32 unidades. Cada caja tiene 30 cm. de ancho, 30 cm de largo y 24 cm. de altura. Cada palet contiene 60 cajas, es decir que 95 palets serán necesarios de acuerdo al volumen fijado de procesamiento.

Los palets se agruparán en lotes de 3 niveles, por lo que se tendrán 32 palets por nivel. De acuerdo a dimensiones estandares un palet mide 1 m. x 1.2 m, es decir 1.2 m^2 , considerando los 32 palets, cada nivel ocupa

un área de aproximadamente 38.4 m^2 . Tomando en cuenta el área libre para la circulación de personas y maquinaria de carga, el área recomendada es de 55 m^2 .

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una de las partes iniciales de ésta tesis, consistió en la elaboración de una salsa de buenas características organolépticas, que de acuerdo los análisis sensoriales se logró utilizando piñas entre 11 – 15° Brix y mangos entre 13 – 17° Brix, sin tener un cambio significativo en el sabor final del producto.

Se estableció como adecuada la proporción 1:3 de mango y piña respectivamente, como el equilibrio idóneo para la mezcla de pulpa de frutas usadas como base para la salsa, que de acuerdo a recomendaciones de panelistas en las pruebas sensoriales, gustaban de la acidez aportada por la piña.

El estudio de penetración de calor, se llevó a cabo a 60°C por un lapso de 20 minutos, para lo cual se obtuvieron valores de f_h y j_h equivalentes a 44.7 minutos y 1.117 respectivamente. Realizando el análisis por el método de Stumbo se determinó que el tiempo de proceso adecuado es de aproximadamente 50.7 minutos, es decir que el producto fue subprocesado por tan 30.7 minutos para lograr un proceso que garantice la inocuidad del mismo.

Teóricamente mediante el test de ácido ascórbico de merck, hubo una pérdida del 2.65% del ácido posterior al tratamiento térmico; sin embargo, al realizar los cálculos de acuerdo al método de degradación de nutrientes de stumbo, ésta pérdida se calculó en aproximadamente el 6%, valor que se justifica debido al subprocesamiento del producto.

Se utilizaron cuatro métodos matemáticos: el método de Heisler, el método de Pflug et al., el de los coeficientes de transferencia de calor y finalmente el método analítico, que de acuerdo a los resultados obtenidos y a la validación de sus resultados mediante t de student, se determinó la similitud de éste último, el método analítico, con los resultados originales.

La relación tiempo vs. temperatura obtenida mediante el método analítico, produjo un valor de $f^h = 37.5$ minutos y $j^h = 1.277$. El tiempo de proceso mediante Stumbo se determinó en aproximadamente 45.2 minutos y una pérdida del 5% de ácido ascórbico posterior al tratamiento térmico. En comparación con los resultados originales existe un error en la determinación del tiempo de proceso del 10.8%, por lo que es recomendable aplicar el procedimiento original sobre el método matemático.

En el caso de una industria, no existe un método para llevar los resultados del tratamiento térmico realizados de pequeña escala a escalas industriales, por lo que es recomendable realizar el estudio de penetración de calor en el tamaño real.

Es necesario conocer el volumen de producción, en éste caso se trabajó en base al procesamiento de 530 Kg/h de mezcla de pulpas de piña y mango. Conociendo la formulación del producto, mediante balance de masas, se establecieron los equipos y la capacidad necesaria, manejando un excedente del 15% en caso de crecimiento productivo.

Finalmente, se establecieron los puntos de control fundamentales de la línea de proceso, los cuales ayudarán a mantener un producto sin variaciones en sabor, de buena calidad y aptas para el consumo humano.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVARADO GOMEZ, Wendy. “Estudio del efecto de la deshidratación osmótica como pretratamiento para el proceso de secado por aire en piña (Ananas Comosus) de la variedad milagrera o perolera”. Ingeniería de Alimentos. 2006
2. CORNEJO, Fabiola. Folleto de clases de Ingeniería de Procesos II
3. FENEMA, Owen. “Food Chemistry”. Third edition. University of Wisconsin – Madison. Madison, Wisconsin
4. IBARZ, BARBOSA, GARZA, GIMENO. “Métodos experimentales en la ingeniería alimentaria”. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 2000
5. ICMSF. “Ecología Microbiana de los Alimentos 2. Productos Alimenticios”. Editorial Acribia. Zaragoza, España. Pág: 653- 677

6. RAMASWANY, Hosahalli; MARCOTTE, Michéle. "Food Processing. Principles and applications". Taylor & Francis Group. Boca Raton, Florida. 2006. Pág.: 90-108
7. SINGH, Paul; HELDMAN, Dennis. Introduction to Food Engineering. Printed by Great Britain. Third Edition. Pág.: 280-307
8. SOUTHGATE, D. Conservación de Frutas y Hortalizas. 3era. Edición. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
9. UTEPI, 2006. "Piña. Estudio Agroindustrial en el Ecuador: Competitividad de la Cadena de Valor y Perspectivas de Mercado". Programa Integrado MICIP-ONUUDI, Quito, Ecuador
10. VALIENTE, Antonio. "Problemas de Balance de Materia y Energía en la Industria Alimentaria". Editorial Limusa. Balderas, Mexico 1997. Pág.: 20 -29

11. www 1, 2008: www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2006616142052_MANGO%20ECUATORIANO.pdf
12. www 2, 2008: www.proexant.org.ec/HT_Pi%C3%B1a.html
13. www 3, 2008: www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/Convenio%20MAG%20IICA/productos/mango_mag.pdf
14. www 4, 2008: elkhorn.unl.edu/epublic/live/g1599s/build/#target
15. www 5, 2008: 148.233.175.237/mango/imagenes/MANUAL_texto.pdf
16. www 6, 2008: www.tropicalfood.net
17. www 7, 2008: www.molinoscoloidales.com.ar

ANEXO 1

Especies de levaduras más significativas y comúnmente descritas como alterantes de alimentos

Pitt y Hocking (1997)	Tudor y Board (1993)	Grupo 1 de Davenport ^a
<i>Brettanomyces bruxellensis</i>	<i>Brettanomyces intermedius</i>	<i>Brettanomyces anomalus</i>
<i>Candida krusei</i>	<i>Candida holmii</i>	<i>Brettanomyces bruxellensis</i>
<i>Candida parapsilosis</i>	<i>Candida krusei</i>	<i>Brettanomyces naardenensis</i>
<i>Debaryomyces hansenii</i>	<i>Debaryomyces hansenii</i>	<i>Hanseniaspora uvarum</i>
<i>Kloeckera apiculata</i>	<i>Kloeckera apiculata</i>	<i>Saccharomyces bayanus</i>
<i>Pichia membranifaciens</i>	<i>Pichia membranifaciens</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	<i>Rhodotorula spp</i>	<i>Schizosaccharomyces pombe</i>
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Saccharomyces exiguus</i>
<i>Schizosaccharomyces pombe</i>	<i>Schizosaccharomyces pombe</i>	<i>Torulaspota delbrueckii</i>
<i>Torulopsis holmii</i>	<i>Zygosaccharomyces bailii</i>	<i>Zygosaccharomyces bailii</i>
<i>Zygosaccharomyces bailii</i>	<i>Zygosaccharomyces bisporus</i>	<i>Zygosaccharomyces bisporus</i>
<i>Zygosaccharomyces bisporus</i>	<i>Zygosaccharomyces rouxii</i>	<i>Zygosaccharomyces microellipsoides</i>
<i>Zygosaccharomyces rouxii</i>	-	<i>Zygosaccharomyces rouxii</i>

^a En Stratford y col., 2000

Nota: cambios recientes en la nomenclatura (Barnett y col., 2000; Kurtzman, 2003)

Brettanomyces intermedius=*Brettanomyces bruxellensis*=***Dekkera bruxellensis***

Brettanomyces anomalus=***Dekkera anomala***

Candida krusei=***Issatchenkia orientalis***

Candida holmii= *Torulopsis holmii*= *Saccharomyces exiguus*=***Kazachstania exigua***

Kloeckera apiculata= ***Hanseniaspora uvarum***

Zygosaccharomyces microellipsoides=***Torulaspota microellipsoides***

ANEXO 2

FORMATO DE ENCUESTA PARA PRUEBAS DE PREFERENCIAS

NOMBRE: _____ **Fecha:** _____

Parámetro a evaluar: Sabor

A usted se le presentan 3 muestras: Pruébelas de izquierda a derecha y posteriormente marque con una "X" la de su preferencia en cuanto a sabor.

534	
271	
869	

NOMBRE: _____ **Fecha:** _____

Parámetro a evaluar: Consistencia

A usted se le presentan 3 muestras: Pruébelas de izquierda a derecha y posteriormente marque con una "X" la de su preferencia en cuanto a consistencia

432	
579	
361	

ANEXO 3

FORMATO DE ENCUESTAS PARA PRUEBA DE ESCALA HEDÓNICA

NOMBRE: _____ **Fecha:** _____

Pruebe la muestra presentada e indique con una "x" el nivel de agrado de acuerdo a la escala que se presenta a continuación.

Gusta muchísimo	_____
Gusta mucho	_____
Gusta moderadamente	_____
Gusta un poco	_____
Me es indiferente	_____
Disgusta un poco	_____
Disgusta moderadamente	_____
Disgusta mucho	_____
Disgusta muchísimo	_____

ANEXO 4

TABLAS DE STUMBO PARA PASTEURIZACION

TABLE 3.12
 $f_h/U:g$ Relationships When $z = 10^\circ F$

f_h/U	Values of g When j of Cooling Curve Is									
	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	
0.20	2.68-05	2.78-05	2.88-05	2.98-05	3.07-05	3.17-05	3.27-05	3.36-05	3.46-05	
0.30	8.40-04	9.39-04	1.04-03	1.14-03	1.24-03	1.34-03	1.43-03	1.53-03	1.63-03	
0.40	5.84-03	6.51-03	7.18-03	7.85-03	8.53-03	9.20-03	9.87-03	1.05-02	1.12-02	
0.50	2.01-02	2.21-02	2.40-02	2.60-02	2.79-02	2.99-02	3.18-02	3.38-02	3.57-02	
0.60	4.73-02	5.11-02	5.49-02	5.87-02	6.25-02	6.63-02	7.01-02	7.39-02	7.77-02	
0.70	8.85-02	9.44-02	1.00-01	1.06-01	1.12-01	1.18-01	1.24-01	1.30-01	1.36-01	
0.80	0.143	0.151	0.159	0.167	0.175	0.183	0.191	0.199	0.207	
0.90	0.208	0.218	0.228	0.238	0.248	0.258	0.268	0.278	0.288	
1.00	0.282	0.294	0.305	0.317	0.329	0.340	0.352	0.364	0.376	
2.00	1.14	1.17	1.19	1.21	1.24	1.26	1.29	1.31	1.33	
3.00	1.83	1.88	1.92	1.97	2.01	2.05	2.10	2.14	2.19	
4.00	2.33	2.41	2.48	2.55	2.63	2.70	2.77	2.85	2.92	
5.00	2.71	2.81	2.92	3.03	3.14	3.24	3.35	3.46	3.57	
6.00	3.01	3.15	3.29	3.43	3.57	3.72	3.86	4.00	4.14	
7.00	3.25	3.42	3.61	3.78	3.96	4.13	4.31	4.49	4.66	
8.00	3.47	3.68	3.89	4.10	4.30	4.51	4.72	4.93	5.14	
9.00	3.67	3.90	4.14	4.38	4.62	4.85	5.09	5.33	5.57	
10.00	3.84	4.11	4.38	4.64	4.91	5.17	5.44	5.70	5.97	
15.00	4.60	4.97	5.35	5.72	6.09	6.47	6.84	7.21	7.59	
20.00	5.22	5.67	6.12	6.57	7.01	7.46	7.91	8.35	8.80	

25.00	5.78	6.27	6.27	6.77	7.27	7.77	8.27	8.76	9.26	9.76
30.00	6.27	6.81	7.29	7.34	7.88	8.41	8.95	9.48	10.02	10.55
35.00	6.72	7.29	7.72	7.85	8.41	8.98	9.54	10.10	10.67	11.23
40.00	7.14	7.72	8.12	8.31	8.89	9.48	10.06	10.65	11.23	11.82
45.00	7.52	8.12	8.49	8.72	9.33	9.93	10.53	11.13	11.73	12.33
50.00	7.87	8.49	9.15	9.10	9.72	10.34	10.95	11.57	12.18	12.80
60.00	8.51	9.15	9.72	9.78	10.42	11.06	11.69	12.33	12.97	13.60
70.00	9.07	9.72	10.23	10.37	11.02	11.68	12.33	12.98	13.63	14.28
80.00	9.56	10.23	10.7	10.89	11.55	12.22	12.88	13.55	14.21	14.88
90.00	10.0	10.7	11.1	11.4	12.0	12.7	13.4	14.1	14.7	15.4
100.00	10.4	11.1	11.8	11.8	12.5	13.1	13.8	14.5	15.2	15.9
150.00	11.9	12.6	13.4	13.4	14.1	14.8	15.5	16.3	17.0	17.7
200.00	13.0	13.7	14.5	14.5	15.2	16.0	16.8	17.5	18.3	19.0
250.00	13.7	14.5	15.3	15.3	16.1	16.9	17.7	18.5	19.3	20.1
300.00	14.3	15.2	16.0	16.0	16.8	17.7	18.5	19.3	20.1	21.0
350.00	14.8	15.7	16.5	16.5	17.4	18.3	19.1	20.0	20.9	21.7
400.00	15.2	16.1	17.0	17.0	17.9	18.8	19.7	20.6	21.5	22.4
450.00	15.5	16.5	17.4	17.4	18.3	19.3	20.2	21.2	22.1	23.0
500.00	15.8	16.8	17.8	17.8	18.7	19.7	20.6	21.6	22.6	23.5
600.00	16.3	17.4	18.4	18.4	19.4	20.4	21.4	22.4	23.4	24.5
700.00	16.8	17.8	18.9	18.9	19.9	21.0	22.1	23.1	24.2	25.3
800.00	17.1	18.2	19.3	19.3	20.4	21.5	22.6	23.7	24.8	25.9
900.00	17.4	18.5	19.7	19.7	20.8	22.0	23.1	24.3	25.4	26.6
999.99	17.7	18.8	20.0	20.0	21.2	22.4	23.6	24.7	25.9	27.1

Source: Stumbo, 1973. With permission.

TABLE 3.13
 $f_p/U;g$ Relationships When $z = 18^\circ\text{F}$

f_p/U	Values of g When j of Cooling Curve Is									
	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	
0.20	4.09-05	4.42-05	4.76-05	5.09-05	5.43-05	5.76-05	6.10-05	6.44-05	6.77-05	
0.30	2.01-03	2.14-03	2.27-03	2.40-03	2.53-03	2.66-03	2.79-03	2.93-03	3.06-03	
0.40	1.33-02	1.43-02	1.52-02	1.62-02	1.71-02	1.80-02	1.90-02	1.99-02	2.09-02	
0.50	4.11-02	4.42-02	4.74-02	5.06-02	5.38-02	5.70-02	6.02-02	6.34-02	6.65-02	
0.60	8.70-02	9.43-02	1.02-01	1.09-01	1.16-01	1.23-01	1.31-01	1.38-01	1.45-01	
0.70	0.1150	0.163	0.176	0.189	0.202	0.215	0.228	0.241	0.255	
0.80	0.226	0.246	0.267	0.287	0.308	0.328	0.349	0.369	0.390	
0.90	0.313	0.342	0.371	0.400	0.429	0.458	0.487	0.516	0.545	
1.00	0.408	0.447	0.485	0.523	0.561	0.600	0.638	0.676	0.715	
2.00	1.53	1.66	1.80	1.93	2.07	2.21	2.34	2.48	2.61	
3.00	2.63	2.84	3.05	3.26	3.47	3.68	3.89	4.10	4.31	
4.00	3.61	3.87	4.14	4.41	4.68	4.94	5.21	5.48	5.75	
5.00	4.44	4.76	5.08	5.40	5.71	6.03	6.35	6.67	6.99	
6.00	5.15	5.52	5.88	6.25	6.61	6.98	7.34	7.71	8.07	
7.00	5.77	6.18	6.59	7.00	7.41	7.82	8.23	8.64	9.05	
8.00	6.29	6.75	7.20	7.66	8.11	8.56	9.02	9.47	9.93	
9.00	6.76	7.26	7.75	8.25	8.74	9.24	9.74	10.23	10.73	
10.00	7.17	7.71	8.24	8.78	9.32	9.86	10.39	10.93	11.47	
15.00	8.73	9.44	10.16	10.88	11.59	12.31	13.02	13.74	14.45	
20.00	9.83	10.69	11.55	12.40	13.26	14.11	14.97	15.82	16.68	

25.00	10.7	11.7	12.7	13.6	14.6	15.6	16.5	17.5	18.4
30.00	11.5	12.5	13.6	14.6	15.7	16.8	17.8	18.9	19.9
35.00	12.1	13.3	14.4	15.5	16.7	17.8	18.9	20.0	21.2
40.00	12.8	13.9	15.1	16.3	17.5	18.7	19.9	21.1	22.3
45.00	13.3	14.6	15.8	17.0	18.3	19.5	20.8	22.0	23.2
50.00	13.8	15.1	16.4	17.7	19.0	20.3	21.6	22.8	24.1
60.00	14.8	16.1	17.5	18.9	20.2	21.6	22.9	24.3	25.7
70.00	15.6	17.0	18.4	19.9	21.3	22.7	24.1	25.6	27.0
80.00	16.3	17.8	19.3	20.8	22.2	23.7	25.2	26.7	28.1
90.00	17.0	18.5	20.1	21.6	23.1	24.6	26.1	27.6	29.2
100.00	17.6	19.2	20.8	22.3	23.9	25.4	27.0	28.5	30.1
150.00	20.1	21.8	23.5	25.2	26.8	28.5	30.2	31.9	33.6
200.00	21.7	23.5	25.3	27.1	28.9	30.7	32.5	34.3	36.2
250.00	22.9	24.8	26.7	28.6	30.5	32.4	34.3	36.2	38.1
300.00	23.8	25.8	27.8	29.8	31.8	33.7	35.7	37.7	39.7
350.00	24.5	26.6	28.6	30.7	32.8	34.9	37.0	39.0	41.1
400.00	25.1	27.2	29.4	31.5	33.7	35.9	38.0	40.2	42.3
450.00	25.6	27.8	30.0	32.3	34.5	36.7	38.9	41.2	43.4
500.00	26.0	28.3	30.6	32.9	35.2	37.5	39.8	42.1	44.4
600.00	26.8	29.2	31.6	34.0	36.4	38.8	41.2	43.6	46.0
700.00	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	39.9	42.4	44.9	47.4
800.00	28.1	30.7	33.3	35.8	38.4	40.9	43.5	46.0	48.6
900.00	28.7	31.3	34.0	36.6	39.2	41.8	44.4	47.0	49.7
999.99	29.3	31.9	34.6	37.3	39.9	42.6	45.3	47.9	50.6

Source: Stumbo, 1973. With permission.

ANEXO 5

TABLAS DE STUMBO DE DEGRADACIÓN DE NUTRIENTES

$$f_h/U \text{ vs. } g$$

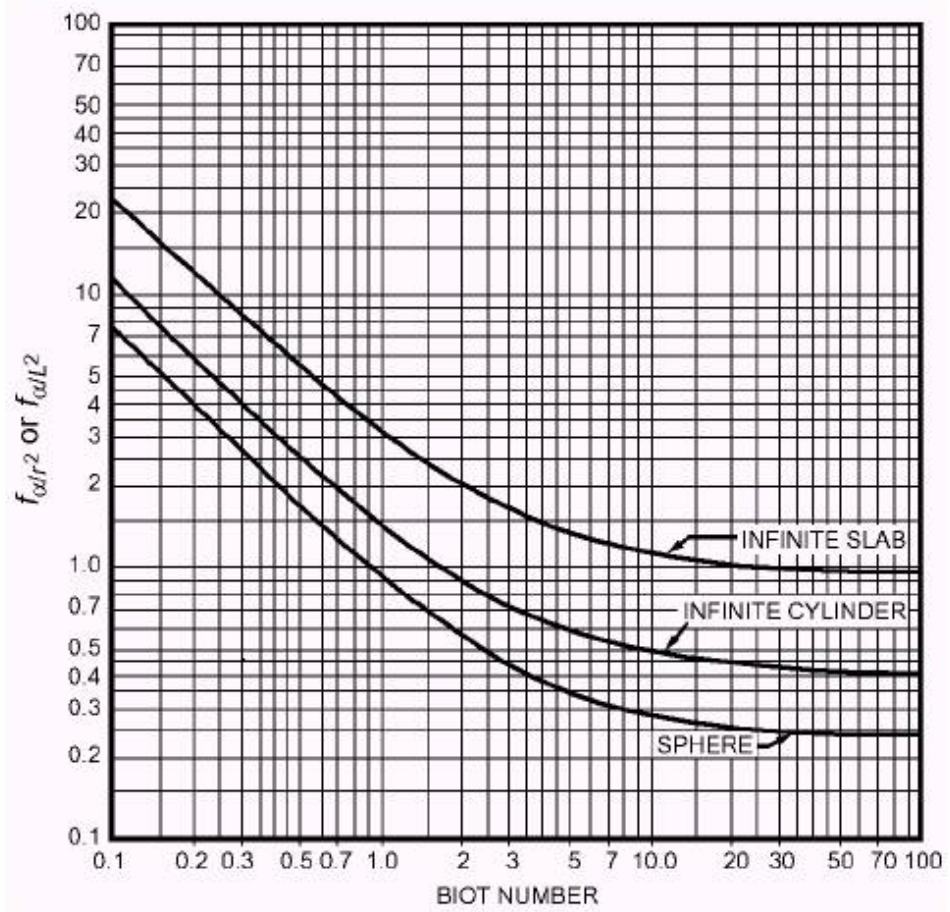
f_h/U	$z = 60$		$z = 70$		$z = 80$		$z = 90$	
	g_{i-1}	$\frac{\Delta g}{\Delta j}$	g_{i-1}	$\frac{\Delta g}{\Delta j}$	g_{i-1}	$\frac{\Delta g}{\Delta j}$	g_{i-1}	$\frac{\Delta g}{\Delta j}$
0.2	0.00018	0.00015	0.000218	0.000134	0.000253	0.00017	0.000289	0.000208
0.3	0.0085	0.000475	0.0101	0.0062	0.000253	0.00017	0.0134	0.0097
0.4	0.0583	0.032	0.0689	0.0421	0.0118	0.00775	0.0919	0.0661
0.5	0.185	0.1025	0.0219	0.0134	0.0802	0.0545	0.292	0.208
0.6	0.401	0.2225	0.474	0.292	0.255	0.17	0.632	0.452
0.7	0.699	0.3875	0.828	0.510	0.552	0.3675	1.101	0.791
0.8	1.064	0.595	1.263	0.777	0.963	0.6425	1.678	1.205
0.9	1.482	0.8325	1.76	1.08	1.469	0.9775	2.34	1.68
1.0	1.94	1.075	2.30	1.42	2.05	1.45	3.06	2.19
2.0	7.04	4.025	8.35	5.19	2.68	1.775	11.03	7.88
3.0	11.63	6.65	13.73	8.58	9.68	6.475	18.0	12.8
4.0	15.40	9.00	18.2	11.4	12.92	8.65	23.6	16.7
5.0	18.70	10.75	21.9	13.7	15.85	10.65	28.2	19.7
6.0	21.40	12.50	25.1	15.6	18.5	12.5		
7.0	23.80	13.75	27.9	17.2	20.9	14.0		
8.0	26.00	15.00	30.3	18.6	23.1	15.5		
9.0	27.90	16.00	32.5	19.8	25.1	16.75		

Source: Based on f_h/U vs. g tables in Stumbo, C. R. 1973. *Thermobacteriology in Food Processing*, 2nd ed. Academic Press, New York.

ANEXO 6

TABLAS DE PFLUG ET AL

Relación del parámetro $f\alpha/d_c^2$ en función del número de Biot



ANEXO 7

TABLAS DE HEISLER

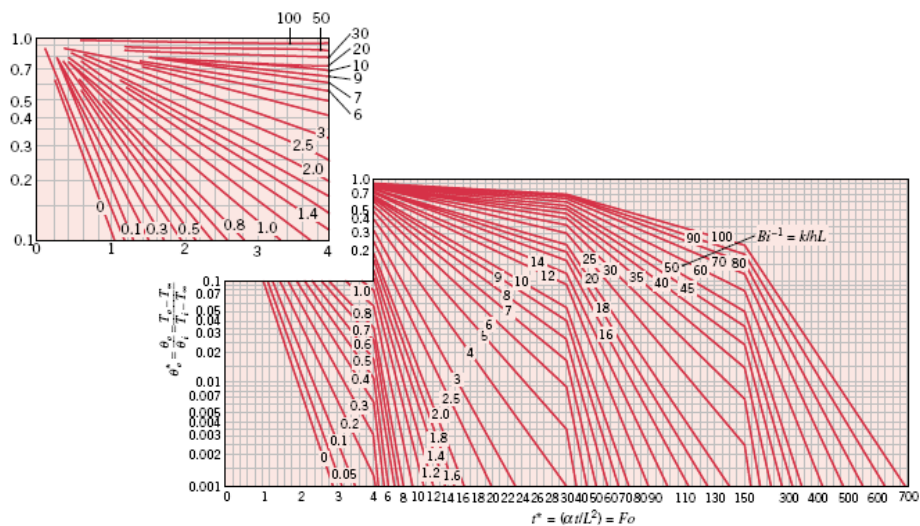


FIGURE 5S.1 Midplane temperature as a function of time for a plane wall of thickness $2L$ [1]. Used with permission.

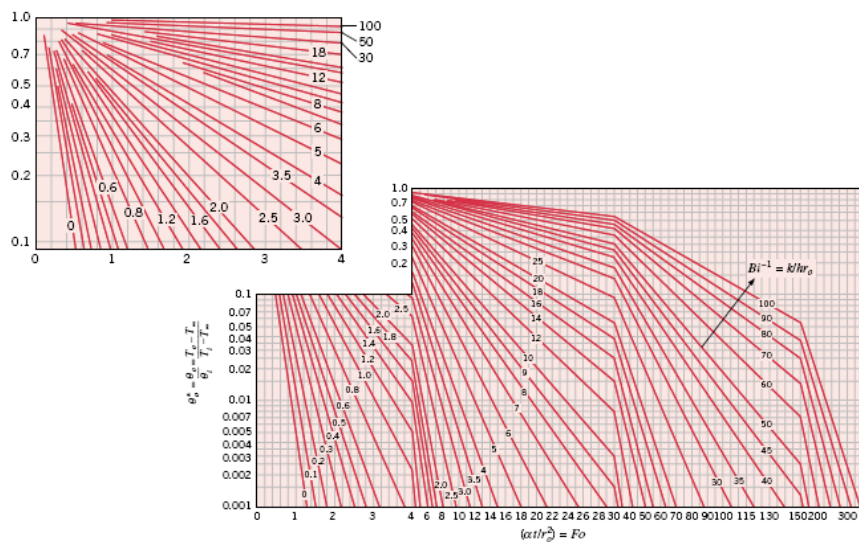


FIGURE 5S.4 Centerline temperature as a function of time for an infinite cylinder of radius r_o [1]. Used with permission.

ANEXO 8

RESULTADOS OBTENIDOS POR EL METODO DE HEISLER PARA COMPARACION CON ENSAYO EXPERIMENTAL

tiempo (s.)	T (°C)	Fo = $\alpha t/dc$	(Ta-T)/(Ta-Ti)	T
0	23	0,00	1,000	23,00
60	23	0,05	1,000	23,00
120	23	0,10	0,975	24,18
180	25	0,15	0,935	26,06
240	26	0,20	0,860	29,58
300	28	0,25	0,810	31,93
360	30	0,30	0,740	35,22
420	33	0,36	0,670	38,51
480	36	0,41	0,610	41,33
540	38	0,46	0,560	43,68
600	39	0,51	0,510	46,03
660	41	0,56	0,470	47,91
720	42	0,61	0,430	49,79
780	42	0,66	0,390	51,67
840	45	0,71	0,360	53,08
900	48	0,76	0,330	54,49
960	53	0,81	0,300	55,90
1200	55	1,02	0,220	59,66
1500	57	1,27	0,160	62,48
1800	60	1,52	0,080	66,24
2100	60	1,78	0,060	67,18
2400	65	2,03	0,040	68,12
2700	64	2,29	0,020	69,06
3000	62	2,54	0,020	69,06

ANEXO 9

RESULTADOS OBTENIDOS POR EL METODO ANALÍTICO

TABLA 15			
Valores de Y_{cf} y de temperaturas obtenidas por método analítico			
tiempo (min.)	Temperatura experimental	Y_{cf}	Temperatura Teórica
0	23	1,273	10,16
1	23	1,198	13,71
2	23	1,126	17,06
3	25	1,059	20,21
4	26	0,996	23,17
5	30	0,937	25,95
6	31	0,882	28,57
7	32	0,829	31,03
8	35	0,780	33,35
9	41	0,734	35,53
10	37	0,690	37,57
11	40	0,649	39,50
12	44	0,610	41,31
13	44	0,574	43,02
14	45	0,540	44,62
15	45	0,508	46,13
16	46	0,478	47,55
20	54	0,374	52,43
25	56	0,275	57,07
30	60	0,203	60,48
35	61	0,149	62,99
40	62	0,110	64,84
45	63	0,081	66,20
50	61	0,059	67,20

Elaborado por: Cindy Hurel P.