



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

“Evaluación y adecuación de un tanque con agitador y chaqueta
de vapor de 0,9 m³ para la pasteurización de 880 Kg de pulpa de
fruta”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

MAGISTER EN CIENCIA ALIMENTARIA

Presentada por:

Arturo Sócrates Palacios Ponce

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2011

AGRADECIMIENTO

A Dios por la dicha de la vida que me ha dado.

A mi novia y futura esposa Maricela Z. por su ayuda, paciencia, comprensión para poder sobresalir con este trabajo y con el día a día de nuestro vivir juntos.

A Mario M. por su gran apoyo.

A mi madre y hermana por su ayuda.

A los catedráticos que han ayudado a fortalecer mis conocimientos y un agradecimiento especial a, el M.Sc. Luis Miranda, a la MSc. Fabiola Cornejo y al Dr. José Suarez, por su dedicación y continua ayuda en la elaboración de esta tesis.

DEDICATORIA

A MI NOVIA

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Marcelo Espinosa L.
SUBDECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

MSc. José Antonio Suárez M.
DIRECTOR DE TESIS

M.Sc. Fabiola Cornejo Z.
VOCAL PRINCIPAL

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)

Arturo Sócrates Palacios Ponce

Resumen

Actualmente, la demanda de pulpas de frutas por parte de mercados extranjeros se ha ido incrementando. La empresa auspiciante del presente trabajo, en vista de este comportamiento del mercado, tiene la necesidad de producir este tipo de producto, para lo cual la misma cuenta con una línea de procesamiento aséptica que entrega 3000 Kg/hora de pulpa. Frutas como la naranjilla, mora, guanábana, tomate de árbol no se producen en las cantidades requeridas para un proceso aséptico.

Por tal motivo, el presente trabajo tiene como finalidad instalar y adecuar un tanque con agitación y chaqueta de vapor de 0.9 m³ de capacidad, para la pasteurización de 880 Kg por parada de pulpa de fruta con calidad y precio competitivo. En la tesis, se evaluarán las condiciones operacionales del equipo y se validará la operatividad del mismo en condiciones ideales, usando para ello 0.9 m³ de agua potable a 30 °C. Finalmente, se recomendarán las adecuaciones necesarias, si el caso lo amerita.

Posteriormente, se determinarán los parámetros de proceso tiempo y temperatura a través de corridas experimentales in situ. Estas corridas experimentales permitirán, calcular matemáticamente tiempo de procesamiento para la pasteurización de pulpa de fruta almacenada en condiciones ambientales (30 °C), con el fin de garantizar la correcta pasteurización. Los valores obtenidos en las pruebas experimentales serán validados estadísticamente para ser comparados con los obtenidos por cálculos matemáticos; así mismo se procederá a realizar pruebas microbiológicas y de aceptabilidad para los productos obtenidos.

Por otro lado, se estudiará el consumo de vapor, de agua de enfriamiento y de energía eléctrica requerida. Además se propondrá un sistema de enfriamiento independiente para ahorro energético del sistema a implementar. Finalmente, se realizará la estimación de costos del proceso de pasteurización de la pulpa.

INDICE GENERAL

Pág.	
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGÍA.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE GRAFICOS.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1	
1. GENERALIDADES.....	2
1.1. Materia Prima.....	2
1.2. Pasteurización de pulpa de frutas.....	6
1.3. Letalidad F_T	13
1.4. Equipos de Pasteurización.....	15
CAPITULO 2	
2. MATERIALES Y METODOS.....	23
2.1. Evaluación y adecuación del equipo.....	23
2.1.1. Determinación de condiciones iniciales del equipo.....	23
2.1.2. Cálculo matemático de tiempo de proceso con 0.9 m ³ de agua potable.....	25
2.1.3. Validación in situ del tiempo de procesamiento calculado.....	28
2.2. Determinación de parámetros de proceso con pulpa de naranjilla.....	30
2.2.1. Caracterización de pulpa.....	30
2.2.2. Pasteurización comercial tiempo y temperatura de proceso.....	32
2.3. Pruebas experimentales.....	33
2.3.1. Calculo del tiempo de calentamiento, retención, enfriamiento de la pulpa almacenada a temperatura ambiente (30°C).....	33
2.3.2. Corridas experimentales.....	34
2.4. Pruebas microbiológicas y sensoriales.....	35

2.5. Estudio energético del proceso de pasteurización.....	38
2.5.1. Consumo de Vapor.....	39
2.5.2. Consumo de Agua.....	39
2.6. Calculo de un recipiente enchaquetado independiente para el enfriamiento de pulpa de naranjilla.....	40

CAPITULO 3

3. ANALISIS DE RESULTADOS	41
3.1. Comparación entre los parámetros de proceso cálculos y los obtenidos en el tanque con 0.9 m ³ de agua potable.....	41
3.2. Comparación entre los parámetros de proceso calculados para pulpa de naranjilla y los valores validados estadísticamente de pruebas experimentales.....	32
3.3. Resultados microbiológicos.....	95
3.4. Análisis de varianza de dos vías para las pruebas de aceptabilidad de los productos obtenidos experimentalmente.....	96
3.5. Estimación del costo del proceso de pasteurización.....	101
3.6. Análisis del ahorro energético al utilizar el sistema de enfriamiento sugerido.....	107

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	112
--	-----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ABREVIATURAS

m	Metros
cm	Centímetros
cc	Centímetros cúbicos
k	Kilo
J	Joule
l	Litro
g	Gramos
μm	micrómetro
ppm	partes por millón
h	Hora
min.	Minuto
s	Segundo
W	Watt
Máx	Máximo
°C	Grados centígrados
K	Grados Kelvin
DVS	Cultivo Directo
P	Proteína
G	Grasa
psig	Libra fuerza sobre pulgada cuadrada manométrica
lb	Libra
R	Rendimiento
U	Coefficiente global de transferencia de calor
p-value	Estadístico P
F	Estadístico Fisher
gal	Galón
IIPP	Inventario inicial de producto en proceso
IFPP	Inventario final de producto en proceso
m ²	Metro cuadrado
UFC	Unidades formadoras de colonias
nm	nanómetro

SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
#	Número
Δ	Delta
A	Area
γ	Gamma
β	Beta
κ	Kapa
\$	Dólares de de Los Estados Unidos de Norteamérica

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1: Procesamientos térmicos de los alimentos.....	6
Figura 1.2: Resistencia térmica de esporas de Alicyclobacillus en productos de frutas de alta acidez (pH < 4.6).....	12
Figura 1.3: Tanque típico de proceso con agitación mecánica.....	16
Figura 2.1 A: Tanque enchaquetado No operativo vista frontal.....	24
Figura 2.1 B: Tanque enchaquetado No operativo vista lateral.....	24
Figura 2.2: Incubadora de placas Petri Film.....	35
Figura 2.3: Muestras preparadas para pruebas de aceptabilidad.....	37
Figura 2.4: Muestras a ser degustadas en pruebas de aceptabilidad.....	37
Figura 2.5: Degustación de las muestras preparadas.....	38
Figura 2.6: Esquema estructura lateral de tanque.....	39
Figura 3.1: Proceso térmico de 0,9 m ³ de agua potable en recipiente con chaqueta de vapor y agitación mecánica.....	51
Figura 3.2: Cartilla de perfil tiempo - temperatura prueba experimental 1 con 0,9 m ³ agua potable en tanque enchaquetado.....	52
Figura 3.3: Cartilla de perfil tiempo – temperatura prueba experimental 2 con 0,9 m ³ de agua potable en recipiente enchaquetado.....	53
Figura 3.4: Cartilla de perfil tiempo - temperatura prueba experimental 3 con 0,9 m ³ de agua potable en recipiente enchaquetado.....	54
Figura 3.5: Cartilla de perfil tiempo - temperatura prueba experimental 4 con 0,9 m ³ de agua potable en recipiente enchaquetado.....	55
Figura 3.6: Curvas de Calentamiento para 0,9 m ³ del agua potable en tanque enchaquetado, fase de validación.....	58
Figura 3.7: Curvas de enfriamiento para 0,9 m ³ del agua potable en tanque enchaquetado, fase de validación.....	59
Figura 3.8: Tanque Enchaquetado Instalado en Planta.....	62

Figura 3.9: Cartilla de perfil tiempo - temperatura prueba experimental 1 con 880 Kg de pulpa de naranjilla.....	72
Figura 3.10 Cartilla de perfil tiempo - temperatura prueba experimental 2 con 880 Kg de pulpa de naranjilla.....	73
Figura 3.11 Cartilla de perfil tiempo - temperatura prueba experimental 3 con 880 kg de pulpa de naranjilla.....	74
Figura 3.12 Cartilla de perfil tiempo - temperatura prueba experimental 4 con 880 Kg de pulpa de naranjilla.....	75
Figura 3.13: Curvas de calentamiento para 880 Kg de pulpa de naranjilla en tanque enchaquetado.....	77
Figura 3.14: Curvas de enfriamiento para 880 Kg de pulpa de naranjilla en tanque enchaquetado.....	78
Figura 3.15: Curvas de penetración de calor, calentamiento de 880 kg de pulpa de naranjilla en tanque enchaquetado.....	80
Figura 3.16: Curvas de penetración de calor, calentamiento de 880 kg de pulpa de naranjilla en tanque enchaquetado.....	82
Figura 3.17: Temperaturas medias tratamiento térmico de pulpa naranjilla.....	89
Figura 3.18: Grafica de temperaturas y letalidades vs. tiempo de pulpa naranjilla en tanque enchaquetado.....	91
Figura 3.19: Letalidades medias tratamiento térmico pulpa naranjilla.....	93
Figura 3.20: Contador de Colonias.....	95
Figura 3.21: Puntuación de muestras evaluadas.....	97
Figura 3.22: Puntuaciones medias evaluación sensorial muestras.....	98

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Composición nutricional de la naranjilla.....	4
Tabla 2 Alimentos de alta acides estabilidad en percha.....	9
Tabla 3 Valores de Constantes a, b, m en Función del Tipo de Agitador.....	19
Tabla 4 Características del Tanque con Agitación Mecánica.....	24
Tabla 5 Dimensiones del Tanque y Agitador Mecánico.....	25
Tabla 6 Parámetros y Propiedades Termodinámicas del Agua al Interior del Tanque.....	27
Tabla 7 Parámetros del Vapor al Interior de la Chaqueta.....	28
Tabla 8 Parámetros del Agua al Interior de la Chaqueta.....	28
Tabla 9 Parámetros de Proceso Etapa de Calentamiento y Enfriamiento.....	29
Tabla 10 Parámetros Físico – Químicos Pulpa de naranjilla.....	31
Tabla 11 Estadígrafos Parámetros Físico-Químico Pulpa de naranjilla.....	31
Tabla 12 Valores de Resistencia Térmica del Alicyclobacillus acidoterrestris en Jugo de Toronja.....	32
Tabla 13 Parámetros y Propiedades Termodinámicas de la Pulpa de Naranjilla al Interior del Tanque.....	33
Tabla 14 Formulación para Preparación Jugo de Naranjilla.....	37
Tabla 15 Tiempos Estimados versus Tiempos Experimentales Tratamiento Térmico de 0.90 m ³ Agua Potable.....	56
Tabla 16 Estadígrafos Relacionados a los Tiempos de Calentamiento y Enfriamiento con 0.9 m ³ de Agua Potable.....	56
Tabla 17 Tabla Anova Temperaturas de Calentamiento Agua Potable.....	60
Tabla 18 Tabla Anova Temperaturas de Enfriamiento Agua Potable.....	60
Tabla 19 Inversión Inicial por Instalación de Tanque Enchaquetado.....	62
Tabla 20 Tiempos Estimados versus Tiempos Experimentales Tratamiento Térmico 880 Kg Pulpa de Naranjilla.....	76

Tabla 21 Curvas de calentamiento.....	83
Tabla 22 Letalidad promedio a través del Método General.....	84
Tabla 23 Análisis de Regresión Lineal para Curvas de Calentamiento Pulpa de Naranja.....	86
Tabla 24 Tabla Anova Modelo Curva de Calentamiento Pulpa de Naranja.....	86
Tabla 25 Análisis de Regresión Polinomial para Curvas de Enfriamiento Pulpa de Naranja.....	87
Tabla 26 Tabla Anova Modelo Curva de Enfriamiento Pulpa de Naranja.....	88
Tabla 27 Tabla Anova Tratamiento Térmico 880 Kg de Pulpa de Naranja.....	89
Tabla 28 Contraste Múltiple de Rango para Tratamiento Térmico de 880 Kg Pulpa de Naranja.....	90
Tabla 29 Tabla de Letalidad FT Teórico vs. FT Real.....	92
Tabla 30 Tabla Anova Letalidades Corridas Experimentales.....	93
Tabla 31 Contraste Múltiple de Rango para Letalidades.....	94
Tabla 32 Resultados de Pruebas Microbiológico.....	96
Tabla 33 Tabla Anova Puntuaciones de Muestras.....	98
Tabla 34 Contraste Múltiple de Rango para Puntuaciones por Muestra.....	99
Tabla 35 Tabla Anova Puntuaciones de Jueces.....	100
Tabla 36 Datos Placa de Caldera.....	105
Tabla 37 Caudales de Agua de Enfriamiento.....	105
Tabla 38 Consumo de Energía Equipos Auxiliares.....	106
Tabla 39 Costo Estimado de Proceso de Pasteurización.....	106
Tabla 40 Consumo de energía equipos auxiliares por mejoras.....	109
Tabla 41 Costo estimado de proceso de pasteurización con mejoras.....	110
Tabla 42 Comparativo tiempos de proceso producción.....	110
Tabla 43 # Estimado de lotes por implementación sistema enfriamiento.....	111

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1 Exportación de Naranja Congelada.....	5
--	---

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Perfiles tiempo – temperatura experimento 1 Pasteurización 0.9 m3 agua potable.....	
ANEXO 2: Perfiles tiempo – temperatura experimento 2 Pasteurización 0.9 m3 agua potable.....	
ANEXO 3: Perfiles tiempo – temperatura experimento 3 Pasteurización 0.9 m3 agua potable.....	
ANEXO 4: Perfiles tiempo – temperatura experimento 4 Pasteurización 0.9 m3 agua potable.....	
ANEXO 5: Perfiles tiempo – temperatura experimento 1 Pasteurización 880 kg pulpa de naranjilla.....	
ANEXO 6: Perfiles tiempo – temperatura experimento 2 Pasteurización 880 kg pulpa de naranjilla.....	
ANEXO 7: Perfiles tiempo – temperatura experimento 3 Pasteurización 880 kg pulpa de naranjilla.....	
ANEXO 8: Perfiles tiempo – temperatura experimento 4 Pasteurización 880 kg pulpa de naranjilla.....	
ANEXO 9: Recuento de microorganismos aerobios mesofilos.....	
ANEXO 10: Recuento de mohos y levaduras.....	
ANEXO 11: Recuento de coliformes totales.....	
ANEXO 12: Preparación de agares.....	
ANEXO 13: Formato de Evaluación de Prueba sensoriales.....	
ANEXO 14: Curva de penetración de calor corrida experimental 1 con 880 Kg de pulpa de naranjilla.....	
ANEXO 15: Curva de penetración de calor corrida experimental 2 con 880 Kg de pulpa de naranjilla.....	
ANEXO 16: Curva de penetración de calor corrida experimental 3 con 880 Kg de pulpa de naranjilla.....	

INTRODUCCIÓN

La demanda de productos alimenticios como, pulpas congeladas de naranjilla, mora, tomate de árbol, guanábana, provenientes de países tropicales como el nuestro, por parte de los mercados extranjeros, se ha ido incrementando paulatinamente con el tiempo.

La empresa auspiciante del presente trabajo, dedicada en la actualidad al procesamiento de pulpas asépticas y productos IQF, tiene la necesidad de elaborar este tipo de producto existiendo la limitante de que los volúmenes de acaparamiento al granel para las frutas detalladas anteriormente son menores a 3 toneladas por lo que su capacidad instalada para el proceso aséptico de las mismas no es viable.

Por tal motivo el trabajo a realizar, tiene como finalidad instalar y adecuar un recursos disponible de la empresa, un tanque con agitación y chaqueta de vapor de 0.9 m³ de capacidad, para la pasteurización de 880 Kg por lote de pulpa de fruta con calidad, con lo cual se garantice un producto desde el punto vista de calidad e inocuidad apto para el consumo humano y poder así asegura una producción por lotes para ser comercializado entre los clientes que actualmente posee la compañía.

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1. Materia prima

La naranjilla, de la especie *Solanum quitoense* Lam, conocida en otros países como lulo, es originaria del Ecuador. Esta especie es producida en el área comprendida entre Popayán en Colombia hasta Loja en Ecuador, en donde el cultivo data desde época precoloniales (Paz 2003).

El cultivo de la naranjilla se produce entre los 600 y 2300 m sobre el nivel del mar con temperaturas que oscilan entre los 17 a 26° C, con precipitaciones de entre 1800 a 4300 mm/año, aunque los mejores rendimientos se obtienen de 1000 a 1400 msnm a 20° C de temperatura y con pluviosidad de 2500 mm/ año (Paz, 2003).

El *Solanum quitoense* es un arbusto de 2,5 a 3 metros de alto y el fruto presenta una variación de peso entre los 32 y 78 mm diámetro ecuatorial.

Variedades

Las variedades de frutos ácidos son las más recomendables debido a que tienen mejor aceptación en el mercado. Una ventaja de la naranjilla *Solanum quitoense* es la gama de variedades que presentan con sabores distintos (agridulce, agrio, dulce).

La variedad botánica *septentrionale*, se encuentra en Colombia central y septentrional, y también en Ecuador y Venezuela. Se dice que difieren de la forma típica, variedad *quitoense*, de Ecuador, Perú y sur de Colombia, sólo por tener espinas en el tallo, ramas, pecíolos y venas principales de las hojas. (Oñate, 2011). Hay una cepa dulce, pero no muy jugosa alrededor de la ciudad andina de Baza, a 80 km del este de Quito, Ecuador.

La literatura reporta los siguientes tipos de naranjilla:

Naranjilla Agria: Fruto redondo, ligeramente achatado en los polos, de color amarillo; corteza delgada, resistente al transporte, pulpa de sabor ácido; se utiliza en refrescos, helados y alimentos preparados. La planta es vigorosa y resistente al ataque de insectos.

Naranjilla Dulce: Fruto de forma redonda, color rojo a anaranjado, tamaño grande, comparado con la anterior, la corteza es más gruesa, pero de menos resistencia al transporte y almacenamiento. La planta es delicada y susceptible al ataque de insectos.

Hibrido cocona por naranjilla: Este es normalmente estéril y se parece más a la cocona, pero ha permitido que los rendimientos en algunos países como Ecuador, hayan vuelto a hacer rentable el cultivo subiendo 5 TM por hectárea al año, con este híbrido se ha subido a 18 TM.

Cocona Naranjilla: No existen variedades definidas, lo que existe son agrotipos (agria, dulce, bola, baeza roja, híbrida, septentrional) y lo que normalmente hace el agricultor es sacar semilla de aquellos frutos que considera superiores en tamaño, calidad y que estén sanos.

Tanto en el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, INIAP en Ecuador, como la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, disponen de semilla de variedades mejoradas que, de manera genérica, se denominan como "agrias" y "dulces". En Ecuador existen las variedades "Híbrido Puyo", "Baeza", "Septentrional" y "Bola".

Composición Nutricional

La naranjilla es una fruta rica en vitaminas, proteínas y minerales que tiene un potencial nutricional considerable tal como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla # 1
Composición nutricional de la naranjilla

Componente	Unidad	Pulpa Pura	Pulpa + semilla
Valor energético	Cal	28,00	45,0
Proteína	g	0,7	1,2
Grasa	g	0,1	0,2
Carbohidratos	g	6,8	10,9
Fibra	g	0,4	4,0
Ceniza	g	0,6	0,7
Vitamina A	mg	50,0	70,0
Tiamina	mg	0,6	0,7
Riboflavina	mg	0,4	0,4
Niacina	mg	1,5	1,5
Ácido ascórbico	mg	65,0	48,0
Calcio	mg	8,0	11,0
Fósforo	mg	14,0	41,0
Hierro	mg	0,4	0,6

Fuente: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (2)

Utilidad

Gracias a su valor nutricional, el interés de la naranjilla está creciendo en el mercado. La naranjilla es una fruta que muy rara vez se consume en su estado natural por su grado de acidez, pero es muy común consumirla procesada como en jugos o néctares.

El principal mercado del consumo está dado por los propios países productores, donde, el consumo de la fruta, se da por la población local y sector industrial. Este último usándolo como materia prima para el procesamiento de pulpa simple o concentrada destinando el producto procesado a los mercados extranjeros.

De acuerdo con los estudios de la Comunidad Económica Europea (Tamayo, 2001), la naranjilla es una de las frutas andinas con mayor posibilidad de exportación. El jugo concentrado es una de las alternativas más claras. Además, por su jugo apetecido, es apreciado en países de América Latina y Estados Unidos debido a que el color verde y el sabor agridulce de la pulpa lo hacen atractivo en comparación con otras frutas.

La exportación de la fruta en estado natural no ha tenido éxito por su alta perecibilidad. La información disponible de exportaciones de naranjilla indica incremento en las presentaciones de jugo, concentrado y congelado, pero disminución en conserva. Tal como se observa en el gráfico 1.1, la exportación de naranjilla congelada en kilos del 1998 al 2000, se incrementó en un 78%.

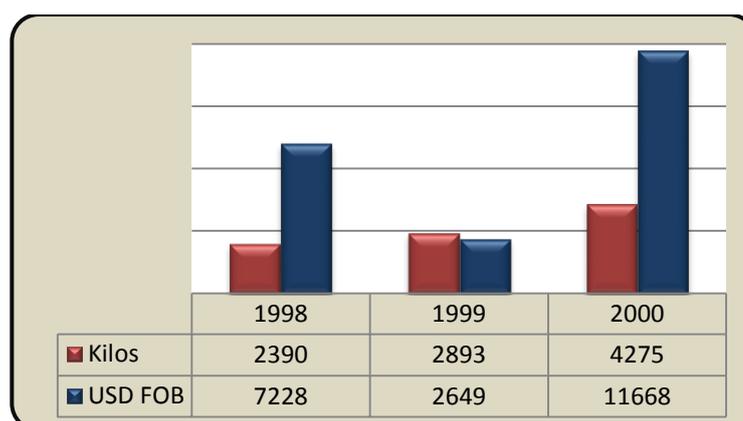


Gráfico 1.1 Exportación de Naranjilla Congelada

Fuente: Banco Central del Ecuador (2008)

Elaborado por: Sócrates Palacios

1.2. Pasteurización de pulpa de frutas

Tratamiento térmico

El término tratamiento térmico se emplea para todos aquellos procesos en donde se utiliza calor para la inactivación de enzimas y/o la destrucción de cualquier tipo de microorganismo existente en el producto alimenticio. Los más conocidos son la pasteurización y la esterilización, los dos procesos vienen acompañados de un envasado aséptico del alimento en envases preesterilizados de diferentes materiales. En el caso de la pasteurización también se almacenan a temperaturas de refrigeración. (Holdsworth et al, 2007).

En la figura 1.1 se puede observar los procesos térmicos aplicados en alimentos:

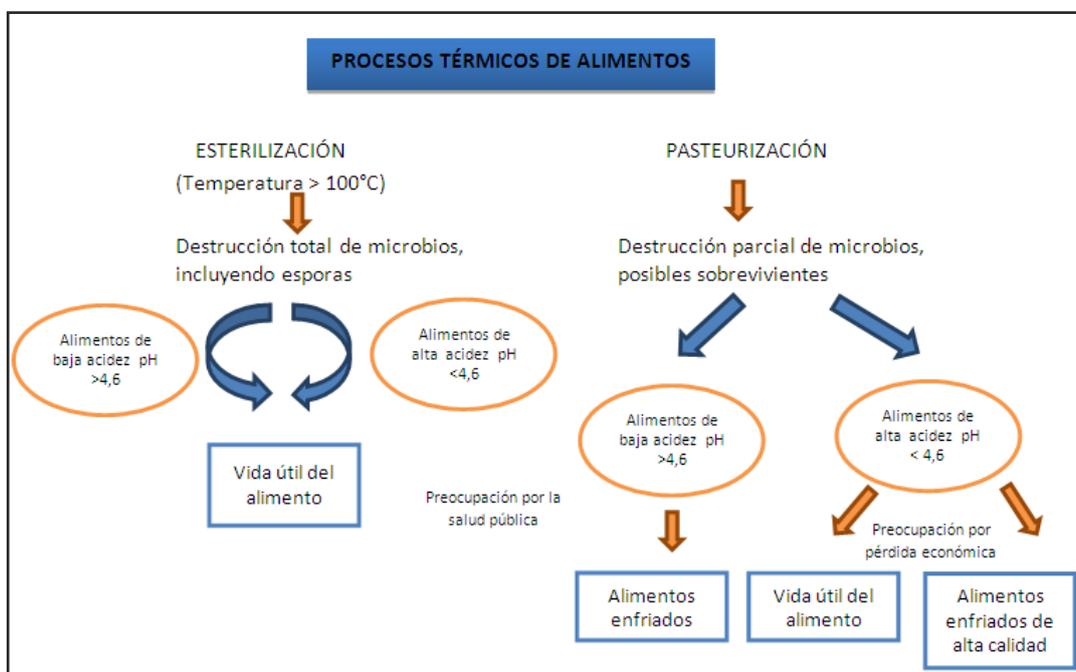


Figura 1.1 Procesamientos térmicos de los alimentos (7)

El efecto del tratamiento térmico depende principalmente de las temperaturas utilizadas y del periodo de exposición, aunque otros factores ejercen también una influencia sobre éste, como lo son el pH y aw (actividad de agua), dado que influye mucho sobre la posibilidad de que proliferen los microorganismos que pueden sobrevivir después del tratamiento térmico.

Pasteurización

La pasteurización fue definida por el departamento de Agricultura de Estados Unidos como un proceso térmico o combinación del mismo que es aplicado a los alimentos para reducir los microorganismos más resistentes que tenga un nivel de significancia para la salud pública y que no presenten un riesgo para la misma bajo condiciones normales de distribución y almacenamiento (Silva, 2009). Por lo tanto, esta definición incluye a los procesos de pasteurización no térmicos tales como alta presiones (HP).

La pasteurización es el método más antiguo de aplicación de calor en los alimentos. Los efectos de pasteurización no térmica, tales como campos intensivos de pulsos eléctricos y altas presiones sobre microorganismos y alimentos, están siendo investigados. (Hendrickx and Knorr, 2001).

Así mismo, la pasteurización es un tratamiento térmico menos drástico que la esterilización, pero suficiente para inactivar los microorganismos causantes de enfermedades, presentes en los alimentos. (García, M. *et al.*, 1997)

La pasteurización, inactiva la mayor parte de las formas vegetativas de los microorganismos, pero no sus formas esporuladas, por lo que constituye un proceso adecuado para la conservación por corto tiempo. Además, la pasteurización ayuda en la inactivación de las enzimas que pueden causar deterioro en los alimentos. De igual modo que en el caso de la esterilización, la

pasteurización se realiza con una adecuada combinación entre tiempo y temperatura.

Microorganismo y enzimas asociadas a alimentos de alta acidez

En los alimentos de alta acidez, el principal propósito de la pasteurización es evitar el deterioro durante la distribución a una temperatura controlada. El deterioro de la flora depende principalmente del pH y de los sólidos solubles. El tipo de ácido orgánico y otros componentes de estos alimentos, tales como polifenoles, también pueden afectar a los microorganismos de deterioro potencial. Dado a que el contenido de alta acidez de esta clase de alimentos ($\text{pH} < 4.6$), los patógenos referidos a células vegetativas y esporas, incluyendo los formadores de esporas del *C. botulinum*, no son capaces de crecer a estas condiciones.

En general, se asume que cuanto mayor es la acidez de los alimentos, menos probable es la germinación y el crecimiento de las esporas bacterianas. Un $\text{pH} < 4,6$ es aceptado como más seguro en términos de patógenas formadores de esporas (Cerny et al, 1984).

Sin embargo, se han venido registrando varios incidentes en alimentos de alta acidez, que incluye a la bacteria deteriorativa formadoras de esporas como el *Alicyclobacillus acidoterrestris*, ya que su pH óptimo de crecimiento es entre 3,5 y 4,5 para el tipo de cepa (Pinhattim et al, 1997) y el crecimiento óptimo de temperatura está entre 35°C y 53°C dependiendo de la cepa (Sinigaglia et al, 2003).

Los microbios típicos asociados con el deterioro de alimentos de alta acidez y alimentos acidificados en percha son: *A. acidoterrestris*, mohos, levaduras y algunas bacterias acidolácticas. La resistencia térmica de enzimas deteriorativas tales como pectinesterase (PE), polifenoloxidasas (PPO) y

peroxidasa (PRO) pueden causar degradación en la calidad de alimentos de alta acidez durante el almacenamiento.

Adicionalmente, el crecimiento de esporas formadoras deteriorativas de Bacillus y Clostridium han sido registradas en alimento de menos acidez ($3.7 < \text{pH} < 4.6$) tales como jugo y puré de tomate, pulpa y néctar de mango, peras enlatadas y jugos de pera (Shridhar 1986).

En la tabla 2, se describe la temperatura de pasteurización mínima para alcanzar un ciclo de reducción logarítmica microbiana (1 *D*) en pocos minutos.

Tabla # 2
Alimentos de alta acidez estabilidad en percha (9)

Valores D ≤ 3 min								
60°C	65°C	70°C	75°C	80°C	85°C	90°C	95°C	100°C
	Saccharomyces cerevisiae						Alicyclobacillus acidoterrestis Bacillus spp.	
Bacteria ácido lácticas	Algunos mohos y levaduras					Neosartorya fischeri		
				Clostridium pasteurianum	Talaromyces flavus Eupenicillium javanicum Clostridium butyricum			
			Polifenoloxidasas Peroxidasas		Pectinesterasa			

Elaboración: Sócrates Palacios P.

Alicyclobacillus acidoterrestis

El *A. acidoterrestis* es una bacteria termoacidofílica, no patógena, y formadora de esporas identificada en la década de 1980 (Deinhard et al, 1987), que ha sido asociada con varios casos de deterioro en jugos de manzana y naranja.

Debido a que este microbio no produce gas, la degradación es detectada por el consumidor en el final de la cadena alimentaria, dando como resultados quejas en el consumidor, la retirada del producto, y pérdidas económicas posteriores.

El deterioro por el *A. acidoterrestris* no sólo se ha observado principalmente en jugos de manzana, sino también en el jugo de pera, jugo de naranja, mezclas de zumos y conservas, tomates cortados en cubitos (Walls, 2000). Los incidentes se registraron en todo el mundo (Alemania, Estados Unidos, Japón, Australia y el Reino Unido). Una encuesta llevada a cabo por National Food Processors Association en los Estados Unidos (Silva, 2009), en 57 empresas, había mostrado que el 35% de los fabricantes de jugo tuvieron problemas sobre todo en estaciones más cálidas, primavera y verano, posiblemente asociado a *Alicyclobacillus*.

Tomando en cuenta estos reportes, Silva et al, sugirieron el uso de esporas de *A. acidoterrestris* como microorganismo de referencia del proceso de pasteurización en productos de alta acidez. Ellos realizaron un estudio que incluye la identificación, métodos de detención y datos de resistencia térmica en donde describen una nueva metodología para establecer el criterio de pasteurización y un diseño del proceso de pasteurización basado en la reducción específica del número de esporas de *A. acidoterrestris*, usando la pulpa de cupuaçu (fruto originario de Brasil).

En cuanto a la resistencia térmica, Pontius et al (1998), concluyó que el tipo de ácidos orgánicos (málico, cítrico, tartárico) no afectaron significativamente los valores D. Silva et al, llevaron a cabo un estudio sistemático para investigar la influencia de la temperatura (T: 85-97 °C), sólidos solubles (SS: 50-60 ° Brix) y pH (2.5-6.0) en el valor D de esporas *A. acidoterrestris* y concluyeron que la temperatura fue el factor

con mayor impacto en el valor D, seguido por los sólidos solubles, y por último el pH. Los valores D disminuyeron con el aumento de la temperatura de calentamiento y disminuyeron los Sólidos solubles y el pH. Cerca de los 97° C, los efectos de los sólidos solubles y el pH no fueron perceptibles. Una revisión de los valores D y Z determinados en diferentes frutas se llevó a cabo y se resume en la siguiente figura.

Heating Medium	Spore Strain	pH	SS (°Brix)	T (°C)	D-Value (min)	z-Value (°C)	T Range (°C)	References
<i>Juices, nectars, fruit drinks, and wine</i>								
Orange juice drink	nr	4.1	5.3	95	5.3	9.5	nr	Baumgart et al. (1997)
Fruit drink	nr	3.5	4.8	95	5.2	10.8	nr	
Fruit nectar	nr	3.5	6.1	95	5.1	9.6	nr	
Apple juice	VF	3.5	11.4	85	56	7.7	85–95	Splittstoesser et al. (1994)
				90	23			
				95	2.8			
Grape juice	WAC	3.3	15.8	85	57	7.2	85–95	
				90	16			
				95	2.4			
Orange juice	Type	3.5	11.7	85	66	7.8	85–91	Silva et al. (1999)
				91	12			
Orange juice	DSM 2498; three isolated strains: 46; 70; 145.	3.2	9.0	85	50–95	7.2–11.3	85–95	Eiroa et al. (1999)
				90	10–21			
				95	2.5–8.7			
Orange juice	Z	3.9	nr	80	54	12.9	80–95	Komitopoulou et al. (1999)
				90	10			
				95	3.6			
Apple juice	Z(CRA 7182)	3.5	nr	80	41	12.2	80–95	
				90	7.4			
				95	2.3			
Cupuacu extract	Type	3.6	11.3	85	18	9.0	85–97	Silva et al. (1999)
				91	5.4			
				95	2.8			
				97	0.57			
Grapefruit juice	Z	3.4	nr	80	38	11.6	80–95	Komitopoulou et al. (1999)
				90	6.0			
				95	1.9			
Berry juice	nr	3.5	nr	88	11	7.2	88–95	Walls (1997)
				91	3.8			
				95	1.0			
Wine	nr	nr	nr	75	33	10.5	75–85	Splittstoesser et al. (1997)
				85	0.57			
<i>Fruit concentrate</i>								
Black currant concentrate	Type	2.5	58.5	91	24	nr	nr	Silva et al. (1999)
Light black currant concentrate	Type	2.5	26.1	91	3.8	nr	nr	
SS, soluble solids (°Brix); T, temperature (°C); nr, not reported; A. acidoterrestris type strain, NCIMB 13137, GD3B, DSM 3922, ATCC 49025.								

Figura 1.2. Resistencia térmica de esporas de *Alicyclobacillus* en productos de frutas de alta acidez (pH < 4.6) (7)

Diseño del Proceso de Pasteurización.

Según Betts (1992), se debe establecer un valor mínimo de pasteurización P que ofrezca por lo menos niveles de reducción de decimal (6D), en el microorganismo más termo resistente.

Así mismo, la Food Drug Administration (FDA), en su manual Guidance for Industry: Juice HACCP Hazards and Controls Guidance exige a las industrias de alimentos, una reducción de 5-log sobre el microorganismo más termo resistente que afecte a la salud pública. Sin embargo, la literatura recomienda para conservas comerciables, un valor P (valor de pasteurización) con tiempos de reducción decimal que van desde 2D-3D a 6D.

1.3 Letalidad

Este término hace referencia a la inactivación de cualquier microorganismo que se encuentre en un determinado medio y que sea tratado térmicamente a cierta temperatura fija, donde la velocidad de destrucción sigue una cinética de primer orden.

$$\ln\left(\frac{N_0}{N}\right) = K\theta \quad (1)$$

Esta ecuación puede integrarse bajo la condición que exista un número inicial de microorganismos (N_0), obteniéndose el valor D o tiempo de reducción que es el tiempo necesario para que haya una reducción de 10 veces en el número de microorganismos a una temperatura constante.

$$\ln\left(\frac{N_0}{N}\right) = \frac{t}{D_T} \quad (2)$$

El valor Z mide la variación de la velocidad de destrucción térmica con la

temperatura y representa el incremento de temperatura necesaria para reducir el tiempo de tratamiento a la décima parte. En este caso el valor D para las esporas del *A. acidoterrestris* se reportan: $4 \text{ min} < D_{90^{\circ}\text{C}} < 23 \text{ min}$, $1 \text{ min} < D_{95^{\circ}\text{C}} < 5 \text{ min}$ y valores Z $7^{\circ}\text{C} < Z \text{ valores} < 13^{\circ}\text{C}$.

Este valor se lo utiliza para calcular la velocidad letal L (3), que convierte el tiempo real de calentamiento de un proceso a una temperatura de referencia especificada T_R en uno equivalente a otra temperatura T .

$$L = 10^{\left(\frac{T - T_R}{Z}\right)} \quad (3)$$

El valor F_T (4), es el tiempo de proceso a la temperatura de referencia, que por lo general en esterilización es 250°F , y toma el nombre de F_0 . Que para analizar al *Clostridium botulinum* se la utiliza en la siguiente ecuación:

$$F_0 = F_T \times 10^{\frac{T - 250}{18}} \quad (4)$$

Existen algunos métodos con los que podemos hallar en un proceso, como métodos numéricos y gráficos que integran el efecto letal. Por ejemplo, existe regla trapezoidal, regla de Simpson, método de Patashnik, método Bigelow, por pesadas, planímetro polar. Otros son métodos de fórmula como los de Ball, Stumbo y Hayakawa, que hacen uso de parámetros obtenidos a partir de estudios de penetración de calor junto con procedimientos matemáticos para integrar los efectos letales.

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. Este método tiene como ventaja sobre el método 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 procesamiento (Toledo, 1991).

1.4 Equipos de Pasteurización

La aplicación y usos de sistemas de pasteurización se pueden clasificar o dividir en los siguientes:

a) Productos Fluidos y “a granel” sin envasar o (antes de este)

- 1.- Procesamiento discontinuo, cíclico o templas: realizado generalmente en tanques con chaquetas.
- 2.- Procesamiento continuo, a flujo: sistema que involucra recorrido en tuberías y un posterior envasado aséptico.

b) Productos Sólidos o mixtos (ya envasados).

- 1.- Procesamiento discontinuo, cíclico o periódico: realizado generalmente en autoclaves o baños de agua.
- 2.- Procesamiento semi-continuo o continuo: sistema que involucra diversos aparatos específicos.

Entre las aplicaciones habituales en procesos alimenticios para alimentos líquidos, se requiere el uso de recipientes agitados en operaciones discontinuas en las cuales es característico un calentamiento o enfriamiento del reactor agitado, manteniendo una temperatura constante durante un periodo de retención o reacción (Suárez, 2010).

Los equipos de pasteurización en lotes o discontinuos, consisten de tanques de varias formas geométricas, ancho y de poca altura, los más frecuentes son:

- Doble pared, camiseta, marmita, enchaquetado
- De serpentín sumergido
- De inyección directa de vapor
- De resistencias eléctricas

Combinaciones de las anteriores y los medios de calentamiento y enfriamiento para estos equipos pueden ser:

- Vapor o agua caliente
- Agua fría o helada, salmuera o refrigerante

Recipientes con Agitación Mecánica

Los líquidos se agitan frecuentemente en tanques o recipientes, generalmente de forma cilíndrica y provista de un eje vertical. Su parte superior puede estar abierta al aire o cerrada.

Las proporciones del tanque varían bastante dependiendo de la naturaleza del problema de agitación. Sin embargo, en muchas situaciones se utiliza un diseño estandarizado como el que se muestra en la Figura 3.

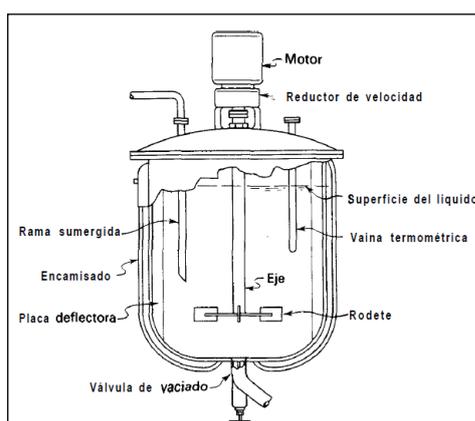


Figura 1.3: Tanque típico de proceso con agitación mecánica

Fuente: http://www.thermoequipos.com.ve/pdf/articulo_03.pdf (21)

El fondo del tanque es redondeado y no plano, con el fin de eliminar los rincones escarpados o regiones en las que no penetrarían las corrientes de fluido. La altura del líquido es aproximadamente igual al diámetro del tanque.

El rodete va instalado sobre un eje suspendido, es decir, un eje soportado en la parte superior. El eje está accionado por un motor, a veces directamente conectado al eje, pero más frecuentemente acoplado al eje a través de una caja reductora de velocidad.

El rodete crea un modelo de flujo en el sistema, dando lugar a que el líquido circule a través del tanque y eventualmente retorne al rodete.

Generalmente, lleva incorporados también accesorios tales como tuberías de entrada y salida, serpentines, encamisados y vainas para termómetros u otros instrumentos de medida de la temperatura.

En la figura 3, se muestra un recipiente enchaquetado estándar, el cual consiste de un recipiente y su chaqueta y los medios apropiados para circular el líquido dentro de la misma y un agitador de aspas planas.

Coeficientes de Películas en Recipiente Encamisados

En un recipiente encamisado se trata de mantener caliente a él líquido que lo contiene, por lo general para este tipo de equipos la resistencia controlante está del lado del líquido. A nivel de la chaqueta se usa normalmente vapor como medio calefactor del sistema y el empleo de agitadores aseguran un buen intercambio de calor y un mezclado uniforme de la solución a tratar.

Si no existe agitación en solución acuosa se puede asumir un coeficiente de película $h=30$ para un $\Delta T=10$ °F o $h=150$ para un $\Delta T=100$ °F

Para recipientes no agitados que contengan agua o soluciones acuosas y se calientan o enfrían con agua en la camisa es razonable asumir un coeficiente

global $U=30$ Btu/hr pie $^{\circ}$ F para recipientes agitados el valor del coeficiente global U varía según el grado de agitación, valores razonables son: vapor a agua 150 Btu/hr pie 2 $^{\circ}$ F, agua a agua 60 Btu/hr pie 2 y mezclas de sulfonación o nitración a agua 20 Btu/hr pie 2 $^{\circ}$ F (Thermo equipos, 2008).

Para el interior del recipiente, se han publicado diversas correlaciones, las cuales toman en cuenta las características del equipo, incluyendo el tipo de impelente y el fluido en cuestión.

La correlación más general tiene la siguiente forma:

$$Nu = \frac{h_{oj} \cdot D_j}{k} = a Re^b Pr^c \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^m \quad (5)$$

donde:

NU = Número de Nusselt

hoj = Coeficiente individual de transferencia de calor, para el interior del tanque, W / (m 2 - $^{\circ}$ C)

D_j = Diámetro interior del tanque, m.

k = Conductividad térmica del fluido, W / m- $^{\circ}$ C.

Re = Número de Reynolds = $LN \rho / \mu$.

L = Diámetro del agitador, m.

ρ = Densidad del fluido, kg / m 3 .

μ = Viscosidad del fluido, Pa-s, o kg / m-s.

N = Número de revoluciones por segundo, 1 / s.

Pr = Número de Prandtl, (Cp. μ / k).

Cp = Calor específico del fluido, J / (kg- $^{\circ}$ C)

μ_w = Viscosidad del fluido a la temperatura de la pared, Pa-s, o kg/ (m-s.).

Los valores que se estipulan para las constantes a, b, c m, d, se detallan en la tabla # 3.

Para el agua y soluciones acuosas se puede asumir que $(u/u_w)=1$. Si la viscosidad cambia apreciablemente con la temperatura entonces se hace necesario realizar la corrección.

La siguiente ecuación puede utilizarse para estimar la temperatura de la pared, para lo cual se requiere de un tanteo y error. Se asume que el flujo de calor que se cede en la chaqueta es el mismo que pasa la pared y que la diferencia de temperatura a través de la pared es despreciable.

$$t_w = - \frac{T - t}{1 + \frac{h_f A_0}{h_i A_i}} \quad (6)$$

El coeficiente “a”, y los exponentes “b” y “m” dependen del tipo de agitador, así pues se presenta la siguiente tabla que permite evaluar los parámetros a, b y m para diferentes situaciones. El exponente del Pr usualmente es 0,33

Tabla # 3

Valores de Constantes a, b, m en Función del Tipo de Agitador

Tipo de agitador	a	b	m	Re	Claridad
Paleta plana	0,36	0,67	0,14	≥ 4000	
	0,415	0,67	0,14	≥ 20 y ≤ 4000	
Turbina de aspas retractil	0,68	0,67	0,24	80 -200	

Turbina de aspas planas o disco	0,54	0,67	0,14	< 400	
	0,74	0,67	0,14	> 400	
Propela NPr ^{0,25}	0,54	0,67	0,14	2.10 ³	
Ancla (Tipo mezclador)	1,0	0,67	0,18	30 - 300	≤ 2,54 cm
Ancla (Tipo mezclador)	0,38	0,67	0,18	300 – 4.10 ⁴	≤ 2,54 cm
	0,55	0,67	0,14	4000 - 37000	2,54 - 14 cm

Fuente: Suárez J. MSc Transferencia de calor en recipiente enchaquetados

Estimación de Tiempo de Calentamiento en Recipiente Enchaquetado

El tiempo de calentamiento en un recipiente con chaqueta de vapor con agitación mecánica en régimen no estacionario puede ser estimado empleando las siguientes correlaciones.

Para medio de calentamiento isotérmico:

$$\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_1 - t_2)} = \frac{U.A.}{M.C} \theta \quad (7)$$

donde:

T_1 = Temperatura del medio calefactor, ° C

t_1 = Temperatura inicial del líquido frío, ° C

t_2 = temperatura del líquido frío a un tiempo dado, ° C

A = Área de transferencia de calor, m²

θ = tiempo en segundos, s

M = Masa del líquido contenida, kg

c = Calor específico del líquido contenido, J/ kg °C

U = Coeficiente global de transferencia calor, W / m²°C

Para medio de calentamiento no isotérmico:

$$\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_1 - t_2)} = \frac{W.C}{M.c} \left[\frac{K_1 - 1}{K_1} \right] \theta; \quad K_1 = e^{U.A/W.C} \quad (8)$$

donde:

T₁ = temperatura inicial del fluido caliente, ° C

t₁ = Temperatura inicial del líquido frío, ° C

t₂ = temperatura del líquido frío a un tiempo dado, ° C

W = Flujo del líquido caliente, kg / s

M = Masa del líquido contenida, kg

c = Calor específico del fluido frío, J / kg ° C

C = Calor específico del fluido caliente, J / kg ° C

θ = tiempo en segundos, s

A = Área de transferencia de calor, m²

K₁ = Constante

U = Coeficiente global de transferencia calor, W / m²°C

Estimación de Tiempo de Enfriamiento en Recipiente Enchaquetado

El tiempo de calentamiento en un recipiente con chaqueta de vapor con agitación mecánica en régimen no estacionario puede ser estimado empleando las siguientes correlaciones.

Para medio de enfriamiento isotérmico:

$$\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_2 - t_1)} = \frac{U.A.\theta}{M.c} \quad (9)$$

donde:

T1 = Temperatura inicial del líquido a enfriar, ° C

T2 = Temperatura del líquido a enfriar a un tiempo dado, ° C

t1 = Temperatura del medio refrigerante, ° C

M = Masa del líquido contenida, kg

c = Calor específico del fluido en el tanque, J / kg ° C

θ = tiempo en segundos, s

A = Área de transferencia de calor, m²

U = Coeficiente global de transferencia calor, W / m²°C

Para medio de enfriamiento no isotérmico:

$$\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_2 - t_1)} = \frac{W.C}{M.c} \left[\frac{K_2 - 1}{K_2} \right] \theta; K_2 = e^{U.A/w.c} \quad (10)$$

donde:

T1 = Temperatura inicial del líquido a enfriar, ° C

T2 = Temperatura del líquido a enfriar a un tiempo dado, ° C

t1 = Temperatura del medio refrigerante, ° C

W = Flujo del fluido de enfriamiento, kg / s

M = Masa del líquido en el recipiente, kg

c = Calor específico del fluido en el tanque, J / kg ° C

C = Calor específico del fluido en la chaqueta, J / kg ° C

θ = tiempo en segundos, s

A = Área de transferencia de calor, m²

K2 = Constante

U = Coeficiente global de transferencia calor, W / m²°C

CAPITULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En la fase experimental se hará uso de la instrumentación de laboratorio con sus procedimientos y equipos de planta, puestos a disposición por parte de la empresa auspiciante del presente trabajo.

2.1. Evaluación y Adecuación del Equipo

La empresa auspiciante dispone en sus instalaciones de un tanque de acero inoxidable fabricado por la empresa Interinox s.a., mismo que posee una chaqueta y un agitar tipo ancla mecánica al cual no se le da uso alguno, por lo que se plantea la viabilidad del mismo para ser usado en el proceso de pasteurización en lote de pulpa de naranjilla.

2.1.1 Determinación de condiciones iniciales del equipo.

Al realizar la evaluación inicial de la estructura, no se evidencio golpes a nivel interno, ni externo se pudo visualizar que el mismo, estaba conformado por:

- 1 termómetro de dial, para el control de temperatura.
- 1 tubería de entrada para el paso del fluido calefactor.
- 1 tubería de entrada para el paso del fluido de enfriamiento.
- 1 tubería de salida destinada para los fluidos de servicio.
- 1 salida de producto, con llave manual
- 1 motor sin su reductor

Las figuras 2.1 A y 2.1 B muestran el tanque enchaquetado antes de instalación en 2 ángulos diferentes.



Figura 2.1A: Tanque enchaquetado
No operativo vista frontal



Figura 2.1 B: Tanque enchaquetado
No operativo vista lateral

Los datos de placa concernientes al sistema evaluado se detallan en la tabla 4.

Tabla # 4

Características del Tanque con Agitación Mecánica

Tanque	Datos de Placa
Capacidad	0,9 m ³
Material	AISI 304
Agitador	2 HP
Aislamiento	PU
Presión de trabajo máxima	ATMF (100 °c)
Chaqueta	
Presión de trabajo máxima	42 PSI (142°c)

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

Las dimensiones correspondientes para el tanque y para el agitador contenido en este, se detallan en la tabla 5.

Tabla # 5
Dimensiones del Tanque y Agitador Mecánico

Tanque	Valor	Unidades
Diámetro externo	1,25	m
Diámetro interno	1,10	m
Altura	1,47	m
Agitador		
Velocidad	55	rpm
Altura	1,22	m
Ancho	1,06	m

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

Con respecto a la instrumentación del equipo evaluado, tanto el termómetro y los aislantes de las tuberías tendrán que ser reemplazados debido a un estado de deterioro avanzado.

2.1.2 Cálculo matemático estimado del tiempo de proceso con 0.9 m³ de agua potable.

El propósito de análisis inicial del sistema con agua, tiene como propósito evaluar la operatividad del mismo, para así evidenciar, si el mismo presenta problemas estructurales previos a la corrida con pulpa de fruta.

A falta de datos de los tiempos de tratamiento para el sistema, se plantea hacer pruebas del proceso de pasteurización considerando la capacidad operativa del tanque 0.9 m³ y usando un fluido newtoniano

de bajo costo como lo es el agua, para lo cual se realizó inicialmente un cálculo estimado para tener una referencia de tiempos de calentamiento y enfriamiento, mismo que servirán de guía una vez que se realicen las corridas experimentales.

Así pues la estimación de los tiempos de calentamiento y enfriamiento con agua y con producto en el sistema, comprenden la suma de los cálculos individuales de tiempo de calentamiento y de enfriamiento, para lo cual inicialmente se determinó el coeficiente global limpio (U_c), el cual está en función de los coeficiente individuales de transferencia de calor (h_t), (para el interior del tanque) y (h_{ch}) (para el interior de la chaqueta) y para lo cual se siguió la siguiente secuencia de pasos:

- a. Definir área de transferencia de calor en el tanque.
- b. Cálculo estimado del coeficiente global sucio (U_d) dentro del recipiente.
 - i. Cálculo estimado del coeficiente de transferencia de calor (h_t) al interior del tanque.
 - ii. Cálculo estimado del coeficiente de transferencia de calor (h_{ch}) al interior de la chaqueta.
 - iii. Cálculo estimado del coeficiente global limpio (U_c)
- c. Cálculo estimado del tiempo de calentamiento y enfriamiento en el tanque.

Para efectos de cálculo, el valor de h_{ch} asumido es de $8000 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, cuando el fluido de calentamiento que pasa en la chaqueta es vapor (Kern, 1999).

El análisis estadístico correspondientes a los resultados obtenidos durante el tratamiento térmico del producto (agua), se lo realizó empleando el programa estadístico statgraphic.

A continuación se detallan los valores de las condiciones del agua y sus respectivas propiedades termodinámicas durante el proceso de calentamiento y enfriamiento, los cuales serán utilizados en los cálculos matemáticos.

Tabla # 6
Parámetros y Propiedades Termodinámicas del
Agua al Interior del Tanque

Parámetros	PROCESO DE CALENTAMIENTO		PROCESO DE ENFRIAMIENTO	
	Valor	Unidades	Valor	Unidades
Volumen	0,9	m ³	0,9	M ³
T° inicial	30	°C	95	°C
T° calentamiento	95	°C	-	-
T° enfriamiento	-	-	30	°C
Propiedades Termodinámicas	Valor	Unidades	Valor	Unidades
Cp	4,1783999	Kj/kg.°C	4,21235435	Kj/kg.°C
K	0,6200	W/m°C	0,6754	W/m°C
u	0,000833	Pa-seg	0,000833	Pa-seg
ρ	993,89	Kg/m ³	967,028	Kg/m ³
Rd	0,0009	m ² .°C/W	0,0009	m ² .°C/W
u/u ₀	1	adimensional	1	adimensional

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

Tabla # 7**Parámetros del Vapor al Interior de la Chaqueta**

Parámetros	Valor	Unidades
T° vapor	128	°C
Presión Trabajo	38	PSI
Vol. Específico.	0,68	m ³ /Kg
Entalpia	2719	Kj/Kg
Rd	0,0009	m ² .°C/W
u/u ₀	1	adimensional
Hch	8000	w/m ² °C
Hch	1500	Btu/hr ft ² °F

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

Tabla # 8**Parámetros del Agua al Interior de la Chaqueta**

Parámetros	Valor	Unidades	Valor	Unidades
Flujo de agua	5	m ³ /h.	11023	lb/hr
t1 inicial agua	28	°C	82,4	°F
t2 salida agua	48	°C	118,4	°F
Cp	4,17795	Kj/kg.°C	1	Btu/lb.°F
K	0.62	W/m°C	0,35	Btu/ft °F
u	0,00084	Pa-seg	2,03	lb/h ft
ρ	994.32	Kg/m ³	62,07	lb/ft ³
Rd	0,00009	m ² .°C/W	0,0005	ft ² h °F/Btu
u/u ₀	1	adimensional	1	adimensional
B	-	adimensional	0,012	1/°F
g	-	adimensional	418000000	ft/hr ²

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

2.1.3 Validación in situ tiempo de procesamiento térmico calculado.

Para la validación del tiempo de procesamiento térmico estimado, se consideraron los factores de proceso críticos, es decir las condiciones

operativas, tanto del producto (agua), como la de los fluidos de servicio (agua de enfriamiento y vapor de calentamiento), en condiciones operativas del tanque enchaquetado, mismos que se detallan en la tabla #9.

Inicialmente para la validación de la operatividad del tanque, se hicieron pruebas con agua debido a que si se utilizaba la pulpa de fruta, el costo de las pruebas iba a ser elevado.

Se realizaron 4 pruebas de validación con 0,9 m³ de agua potable al interior del recipiente enchaquetado, se tomaron in situ los valores de tiempo y temperatura a lo largo del tratamiento térmico (calentamiento, retención y enfriamiento), mismos que se detallan en los apéndices 1, 2, 3, 4.

Con los perfiles de tiempo y temperatura obtenidos, se elaboraron las curvas que caracterizan el proceso térmico bajo las condiciones manifestadas en la tabla #9.

TABLA #9

Parámetros de Proceso Etapa de Calentamiento y Enfriamiento

Producto	PROCESO DE CALENTAMIENTO		PROCESO DE ENFRIAMIENTO	
	Valor	Unidades	Valor	Unidades
Volumen Agua	0,9	m ³	0,9	m ³
T° inicial	30	°C	95	°C
T° calentamiento	95	°C	-	-
T° enfriamiento	-	-	30	°C
Fluido de Servicio				
Presión de Vapor	38	Psi	-	-
T° Agua Enfriamiento	-	-	28	°C

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

2.2. Determinación de parámetros de proceso con pulpa de naranjilla.

Previo a la etapa de experimentación con pulpa de fruta en el recipiente enchaquetado, se definen características físico químicas iniciales de la pulpa de fruta así como el valor de letalidad objetivo, F_T teórico, este último que permita garantizar un producto de calidad con inocuidad al final del tratamiento térmico del mismo.

2.2.1 Caracterización de pulpa de naranjilla.

En las caracterizaciones físicas y químicas: brix, pH, acidez, color, densidad y actividad de agua, del producto en las corridas experimentales, se emplearan los siguientes equipos:

- Refractómetro RX-5000 Digital Atago de 0 a 100 °Brix.
- Potenciómetro Corning 400.
- Titulador Eléctrico DR 12 K Mettler.
- Colorímetro Estándar LSXE Hunter Lab.
- Medidor de Actividad de Agua Aqualack
- Picnómetro.
- Consistometro CSC SCIENTIFIC
- Termómetro de bulbo.
- Vasos de precipitación
- Varilla de vidrio

Es busca de la estandarización del proceso térmico es importante definir las condiciones iniciales del producto previo al mismo, dicha información nos permite establecer parámetros iniciales relacionados al producto y cuantificar como estos se ven afectados por el proceso térmico a implementar.

Para lo cual se caracterizaron 4 muestras de 200 gr de pulpa de fruta y haciendo uso de la instrumentación de laboratorio descrita y los métodos de análisis detallados en los apéndices 9, 10, 11, 12, se determinaron los parámetros físico-químicos de las mismas, los resultados de estas valoraciones se detallan en las tablas #10 y # 11.

TABLA #10
Parámetros Físico – Químicos Pulpa de Naranja

# MUESTRA	BRIX	PH	ACIDEZ	L	A	B	CONSIG	aw.
1	6,22	3,24	1,88	38,95	5,58	18,54	12,00	0,924
2	6,36	3,21	1,87	40,64	5,30	19,05	11,50	0,924
3	6,59	3,42	1,93	37,39	5,64	18,73	11,50	0,922
4	6,20	3,51	1,85	40,48	4,31	18,02	12,00	0,925

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

TABLA #11
Estadígrafos Parámetros Físico – Químicos Pulpa de Naranja

Parámetros	BRIX	pH	Acidez	L	A	B	CONSIG	Aw
Frecuencia	4	4	4	4	4	4	4	4
Media	6,34	3,35	1,88	39,37	5,21	18,59	11,75	0,92
Varianza	0,03	0,02	0,00	2,31	0,38	0,19	0,08	0,92
Desviación Típica	0,18	0,18	0,03	1,52	0,62	0,43	0,29	0,00

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

Las valoraciones realizadas nos otorgan información que permiten definir factores críticos a ser considerados para el proceso de validación térmica del producto en el sistema. Desde el punto de vista físico químico del producto, se considera como factor crítico del proceso térmico a validar, a la consistencia con un valor de referencia de 11.75 cm/10 seg, los grados brix de la pulpa, con un valor medio de 6.34 y temperatura inicial del producto cuyo valor crítico fue de 29°C.

2.2.2 Pasteurización comercial tiempo y temperatura de proceso

La pasteurización de la pulpa de naranjilla acorde al análisis bibliográfico realizado en el capítulo 1, se lo hará tomando, como microorganismo de referencia al Alicyclobacillus acidoterrestris, con los datos reportados para este microorganismo, se tiene como objetivo principal alcanzar un nivel de reducción decimal de 5 escalas logarítmicas es decir se plantea un $F_{95^{\circ}\text{C}}$ teórico de 5D (niveles de reducción decimal).

Con las caracterizaciones realizadas a la materia prima se pudo determinar que el pH del producto se encuentra en un rango de 3,2-3,5, por lo que se tomará como referencia al jugo de toronja cuyos valores reportados para la resistencia térmica de las esporas del Alicyclobacillus acidoterrestris, se detallan en la tabla 12.

TABLA # 12

**Valores de Resistencia Térmica del
Alicyclobacillus acidoterrestris en Jugo de Toronja**

Producto	pH	T °C	D (min)	Z (°C)	Rango T° (°C)	Referencia
Jugo de Toronja	3,4	80	38	11	80 - 95	Komitopoulou et al (1999) (3)
		90	6			
		95	1,9			

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

Por lo tanto, el F_T teórico a alcanzar al finalizar la etapa de retención en el tratamiento térmico del producto a 95°C es $F_{95^{\circ}} = 5 * 1,9 = 9,5$ min.

2.3. Pruebas Experimentales

2.3.1 Cálculo estimado del tiempo de calentamiento, retención y enfriamiento de pulpa a temperatura ambiente (30 °C).

La secuencia de pasos para la estimación del tiempo de calentamiento y enfriamiento será la misma que se aplicó en el epígrafe 2.1.2, y la estimación del tiempo retención será la misma que se estipula en el epígrafe 2.2.2 en el presente trabajo.

A continuación, se detallan los valores de las condiciones del producto y sus respectivas propiedades termodinámicas para el proceso de calentamiento y enfriamiento, los cuales serán utilizados en los cálculos matemáticos.

Tabla # 13
Parámetros y Propiedades Termodinámicas de la Pulpa de Naranja al Interior del Tanque

Parámetros	PROCESO DE CALENTAMIENTO		PROCESO DE ENFRIAMIENTO	
	Valor	Unidades	Valor	Unidades
Masa Producto	880	Kg	880	Kg
T° inicial	30	°C	95	°C
T° calentamiento	95	°C	-	-
T° enfriamiento	-	-	30	°C
Propiedades Termodinámicas	Valor	Unidades	Valor	Unidades
Cp	3,96933	Kj/kg.°C	3,96933	Kj/kg.°C
K	0,59684	W/m°C	0,5528	W/m°C
u	0,00118	Pa-seg	0,00044	Pa-seg
ρ	1030	Kg/m ³	987	Kg/m ³
Rd	0,0009	m ² .°C/W	0,0009	m ² .°C/W
u/u ₀	1	adimensional	1	adimensional

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

Para efectos de cálculo, tanto los parámetros de proceso del vapor así como los parámetros del agua de enfriamiento al interior de la chaqueta son los mismos que se declaran en la tabla #7 y #8.

El análisis estadístico correspondientes a los resultados obtenidos durante el tratamiento térmico del producto se lo realizo empleando el programa estadístico statgraphic.

2.3.2 Corridas Experimentales.

Las corridas experimentales se basan en 4 repeticiones del tratamiento térmico de 880 Kg de pulpa de naranjilla en el sistema instalado, con el propósito de recopilar información de los perfiles tiempo-temperatura, mismos que se detallan en los apéndices 5,6, 7, 8. Para la recopilación de los datos, se hizo uso de la siguiente instrumentación en el tanque:

- Sensor de temperatura calibrado
- 1 Termo registrador marca Honey
- Cartilla de registro.

Los datos de tiempo y temperatura se los tomó de manera manual in situ asentándolos en un formato que se detalla en el apéndice 1, minuto a minuto, los mismos que se complementaran con las cartillas de registro del sistema controlador de temperatura instalado.

Los resultados obtenidos de las repeticiones se evaluarán estadísticamente para visualizar si existe o no diferencia significativa entre los perfiles de temperaturas y los perfiles de letalidades obtenidas con estas últimas, durante los tiempos incurridos en cada experiencia.

2.4. Pruebas microbiológicas y sensoriales

Pruebas microbiológicas

En los ensayos microbiológicos se usará la técnica de siembra en agar y siembra en placa. Para la cuantificación de mohos, levaduras y acidez láctica se utilizará la técnica de siembra en agar patata glucosa, agar platecount, y agar MRS respectivamente y para la determinación de coliformes totales y se hará siembra en placas petri film de marca 3 M, los métodos de ensayo para estas determinaciones se detallan en los apéndices 15, 16, 17, y 18.

Las placas sembradas fueron incubadas a 36 ± 1 °C durante 48 horas para la determinación de aerobios mesofilos, a 25 °C durante 96 horas para determinación de mohos y levaduras, a 36 ± 1 °C durante 48 horas para determinación de acidez láctica y a 35 °C por 24 horas para la determinación de coliformes.



Figura 2.2: Incubadora de Placas Petri Film
Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce

Pruebas sensoriales

Las pruebas de aceptabilidad consisten en comparar el grado de aceptación entre tres muestra, dos de las cuales son pertenecientes a marcas comerciales existentes en el mercado versus la muestra obtenida de las corridas experimentales.

El número total de jueces para la evaluación fue de 30 personas, las mismas que son trabajadores pertenecientes a diferentes áreas de planta de la empresa auspiciante del presente trabajo. Las edades de los panelistas fluctuaron entre los 25 y 50 años.

El método de evaluación escogido fue el de intervalos (Categoría &Scaling test), el cual permite determinar el nivel de agrado entre varias muestras y es fácil de comprender y de aplicar, además no requiere de entrenamiento o experiencia de los participantes. El formato presentado fue lo suficientemente explícito. Ver Anexo 19.

Las preparaciones se ofrecieron individualmente, proporcionándoles a los jueces un agente neutralizante (agua purificada) en cada intervalo de prueba para evitar influenciar las respuestas. Los tres tratamientos para esta evaluación fueron:

- Tratamiento 0: Pulpa de Marca comercial A
- Tratamiento 1: Pulpa de corridas experimentales
- Tratamiento 2: Pulpa Marca comercial B

Las muestras pertenecientes al tratamiento 0 fueron codificadas con el código 160; las pertenecientes al tratamiento 1 con el código 343 y las pertenecientes al tratamiento 2 con el código 760, todas las muestras fueron estandarizadas en contenido de agua, pulpa y azúcar acorde a la siguiente formulación.

Tabla # 14

Formulación para Preparación Jugo de Naranja

Componente	Porcentaje (%)
Pulpa Naranja	49%
Agua	41,76%
Azúcar	9,23%

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce



Figura 2.3: Muestras preparadas para pruebas de aceptabilidad
Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce



Figura 2.4: Muestras a ser degustadas en pruebas de aceptabilidad
Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce



Figura 2.5: Degustación de las muestras preparadas
Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce

Para analizar la puntuación obtenida de la degustación de las tres muestras por parte de los jueces (ver Anexo 20), las marcas obtenidas en las escalas fueron traducidas a puntuaciones numéricas empleando una regla y midiendo, teniendo como referencia de cero la marca en desagrada y diez la de gusta, para posteriormente aplicar el análisis de varianza, el cual explica la diferencia entre dos factores por ejemplo, similitud entre muestras y similitud entre los fallos de los jueces, para tal evaluación se hará uso del programa estadístico statgraphic.

2.5. Estudio energético del proceso de pasteurización.

El estudio energético del sistema a implementar se basará en estimar el consumo requerido de los fluidos de servicio (vapor y agua), para cumplir con las etapas del procesamiento térmico del producto (calentamiento, retención y enfriamiento), así como estimar el gasto de energía en el que se incurre por uso de equipos auxiliares por lote de producción realizado.

El estudio de energía que se plantea otorgará información para poder estimar el costo de un lote de producción.

2.5.1 Consumo de Vapor.

Para determinar el consumo de vapor, el cual está directamente relacionada con la etapa de calentamiento y retención del proceso térmico, se evaluó el requerimiento de energía para el calentamiento del producto, el calor almacenado en la primera y segunda pared del tanque, el calor por conducción del aislamiento, el calor por convección y radiación al ambiente de la superficie externa a través de un balance de energía del sistema.

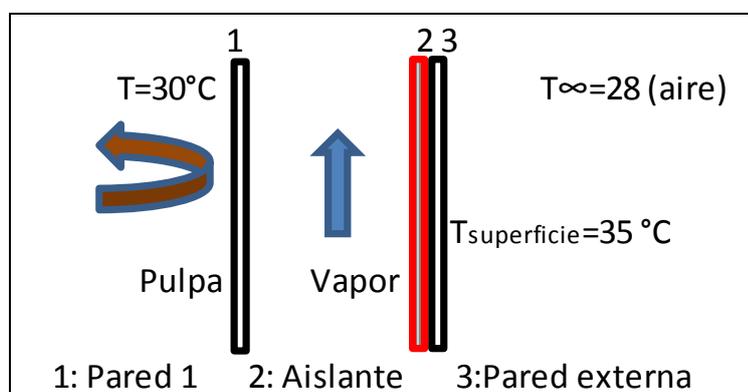


Figura 2.6: Esquema estructura lateral de tanque.

2.5.2 Consumo de agua.

El consumo de agua está directamente relacionado con la etapa de enfriamiento del proceso térmico, durante las corridas experimentales se realizaron mediciones de flujo del agua de enfriamiento que ingreso al sistema con lo cual se determinará el consumo estimado de agua por lote de producción.

2.6. Cálculo de un recipiente enchaquetado independiente para el enfriamiento de pulpa de naranjilla.

En busca realizar mejoras al proceso y de realizar aprovechamiento de los recursos que posee la planta se plantea el cálculo de un sistema que permita el empleo de agua a 15 °C, proveniente de un sistema chiller, con lo cual se podrá:

- Optimizar consumo de agua de enfriamiento.
- Mejorar tiempo de proceso (enfriamiento).
- Disminuir costo de proceso térmico.

En base a los cálculos realizados con 880 Kg pulpa de naranjilla para su respectivo enfriamiento a 30 °C, el área estaría definida y sería de similares características a las del equipo ya validado 4.57 m², esto debido a que la masa o el volumen pasteurizado es constante y no variable por templada o lote de producción.

Para efectos de cálculo se asumirá el coeficiente global Ud del cálculo de enfriamiento a 28 °C igual a 1263 W/m² °C, recalculándose el tiempo de enfriamiento con la ecuación 10 en cual se tendrá que considerar una temperatura de fluido de servicio de 15 °C.

Cabe acotar para efectos de cálculos posteriores que la planta cuenta con un chiller de intercambiador a placas, conectado a un compresor de 150 HP, de 470 Kw de refrigeración a -5°C de Temperatura de evaporación, 35 °C de temperatura de condensación, con lo que provee agua a temperaturas mayores a 5 °C a nivel de planta.

CAPITULO III

3. ANALISIS y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Una vez evaluado las condiciones iniciales del equipo y realizado las mejoras que con llevan al mismo a su operatividad en una línea de proceso, se realizaron inicialmente 4 pruebas experimentales de validación, en condiciones ideales in situ, y posterior a ello se procedió a realizar 4 corridas experimentales con producto (pulpa de naranjilla), aplicando en ambos niveles de experimentación los principios y fundamentos del procesado térmico de los alimentos.

Tanto las pruebas experimentales de validación y las corridas experimentales en el sistema, comprenden previamente de un cálculo matemático del tiempo estimado aproximado de proceso con 880 Kg de agua potable y producto (pulpa de naranjilla), respectivamente con su posterior verificación in situ con el sistema operativo.

3.1 Comparación entre los parámetros de proceso calculados y los obtenidos en el tanque con 0,9 m³ de agua potable.

Para realizar el análisis comparativo de los parámetros de proceso del tratamiento térmico de 0.9 m³ de agua en el tanque enchaquetado, previamente se detallan los cálculos matemáticos estimados seguidos de los resultados de las validaciones y finalmente el análisis comparativos de estos dos.

Tiempo de Calentamiento

- **Cálculo del área transferencia de calor en el tanque**

$$Area.Transf. = 2\pi \times L \quad (11)$$

$$Area.Transf. = 2\pi \left(\frac{1.1m}{2} \right) \times 1,37m$$

$$Area.Transf. = 4,5719m^2$$

- **Cálculo estimado del coeficiente de transferencia de calor ht, al interior del tanque.**

A. Cálculo del # Reynolds para el Fluido en el tanque

$$\#Re_t = \frac{\rho.N.DI^2}{\mu} \quad (12)$$

$$\#Re_t = \frac{993,89 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \times 3300 \left(\frac{rev}{h} \right) \times 1,06^2 m^2}{0,00083 \left(\frac{kg}{m.s} \right)}$$

$$\#Re_t = 1228903,130$$

B. Cálculo del # de Prandal para el Fluido en el tanque

$$\text{Pr} = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (13)$$

$$\text{Pr} = \frac{4,17839 \left(\frac{kJ}{kg \times ^\circ C} \right) \times 0,0083 \left(\frac{kg}{m \times s} \right)}{0,62 \left(\frac{w}{m \times ^\circ C} \right) \times \left(\frac{1kJ}{1000j} \right)}$$

$$\text{Pr} = 5,614$$

C. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor ht.

$$Nu = \frac{h_t \cdot D_t}{k} = a \text{Re}^b \text{Pr}^c \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^m \quad (5)$$

$$h_t = 0,36 \times 1228903,13^{0,62} \times 5,613^{0,33} \times (1)^{0,14} \frac{1.1m}{0,62 \left(\frac{w}{m \times ^\circ C} \right)}$$

$$h_t = 2138,25 \frac{w}{m^2 \times ^\circ C}$$

- **Cálculo estimado del coeficiente global limpio U_c al interior del tanque.**

$$U_c = \frac{h_t \times h_{ch}}{h_t + h_{ch}} \quad (14)$$

$$U_c = \frac{2138,25 \left(\frac{w}{m^2 \times ^\circ C} \right) \times 8000 \left(\frac{w}{m^2 \times ^\circ C} \right)}{2138,25 \left(\frac{w}{m^2 \times ^\circ C} \right) + 8000 \left(\frac{w}{m^2 \times ^\circ C} \right)}$$

$$U_c = 1687,27 \left(\frac{w}{m^2 \times ^\circ C} \right)$$

- **Cálculo estimado del coeficiente global sucio U_d al interior del tanque.**

$$U_D = \frac{1}{\frac{1}{U_c} + Rd}; \text{ se desprecian resistencia de las paredes (15)}$$

$$U_D = \frac{1}{\frac{1}{1687,27 \left(\frac{w}{m^2 \times ^\circ C} \right)} + 0,0009}$$

$$U_D = 669,939 \left(\frac{w}{m^2 \times ^\circ C} \right) \times \left(\frac{1kj}{1000j} \times \frac{1h}{3600seg} \right)$$

$$U_D = 2411,78 \left(\frac{kj}{h \times m^2 \times ^\circ C} \right)$$

- **Cálculo del tiempo estimado de calentamiento**

Para medio de calentamiento isotérmico (vapor de agua) se emplea la siguiente ecuación:

$$\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_1 - t_2)} = \frac{U.A.}{M.C} \theta \quad (7)$$

Despejando el tiempo se reordena a;

$$\theta = \left(\frac{\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_1 - t_2)}}{\frac{U.A.}{M.C}} \right) \quad (16)$$

$$\theta = \left(\frac{\ln \frac{(128^\circ C - 30^\circ C)}{(128^\circ C - 95^\circ C)}}{\frac{2411,8 \left(\frac{kJ}{h \times m^2 \times ^\circ C} \right) \times 4,5719 m^2}{993,89 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \times 0,9 m^3 \times 4,1783 \left(\frac{kJ}{kg \times ^\circ C} \right)}} \right)$$

$$\theta = 0,3689h = 22,13 \text{ min}$$

Tiempo de enfriamiento

- **Cálculo estimado del coeficiente de transferencia de calor h_t , al interior del tanque.**

A. Cálculo del # Reynolds para el Fluido en el tanque

$$\#Re_t = \frac{\rho \cdot N \cdot DI^2}{\mu} \quad (12)$$

$$\#Re_t = \frac{967,02 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \times 3300 \left(\frac{rev}{h} \right) \times 1,06^2 m^2}{0,00083 \left(\frac{kg}{m.s} \right)}$$

$$\#Re_t = 1195686,21$$

B. Cálculo del # de Prandal para el Fluido en el tanque

$$Pr = \frac{Cp \cdot \mu}{k} \quad (13)$$

$$Pr = \frac{4,2123 \left(\frac{kJ}{kg \times ^\circ C} \right) \times 0,00083 \left(\frac{kg}{m \times s} \right)}{0,6754 \left(\frac{w}{m \times ^\circ C} \right) \times \left(\frac{1kJ}{1000j} \right)}$$

$$Pr = 5,195$$

C. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor h_t .

$$Nu = \frac{h_t \cdot D_t}{k} = a Re^b Pr^c \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^m \quad (5)$$

$$h_t = 0,36 \times 1195686,21^{0,62} \times 5,195^{0,33} \times (1)^{0,14} \frac{1,1m}{0,6754 \left(\frac{w}{m \times ^\circ C} \right)}$$

$$h_t = 2232,29 \frac{w}{m^2 \times ^\circ C}$$

- **Cálculo estimado del coeficiente de transferencia de calor h_{ch} , al interior de la chaqueta.**

A. Cálculo del # de Prandal para el Fluido en la chaqueta

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (13)$$

$$Pr = \frac{0,9978 \left(\frac{BTU}{lb \times ^\circ F} \right) \times 2,03 \left(\frac{lb}{ft \times h} \right)}{0,35 \left(\frac{BTU}{ft \times h \times ^\circ F} \right)}$$

$$Pr = 5,7877$$

C. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor h_{ch} .

$$Nu = \frac{h_{ch}}{k} = 0,15 Pr^{0,33} \left(\frac{\rho \times g \times \beta \times MLDT}{\mu^2} \right)^{0,33} \quad (17)$$

donde;

$$MLDT = \left(\frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \left(\frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)} \right)} \right) = \left(\frac{(203 - 118,4) - (86 - 82,4)}{\ln \left(\frac{203 - 118,4}{86 - 82,4} \right)} \right) = 25,65$$

$$\left(\frac{\rho \times g \times \beta \times MLDT}{\mu^2} \right)^{0.33} = \left(\frac{62,07 \frac{lb}{ft^3} \times 4,18 \times 10^8 \frac{1}{^\circ F} \times 0,012 \frac{ft}{h^2} \times 25,65^\circ F}{(2,03 \frac{lb}{h \times ft})^2} \right)^{0.33}$$

Los valores de K y Pr son respectivamente $0,35 \left(\frac{BTU}{ft \times h \times ^\circ F} \right)$ y 5.78 por

lo que el valor de h_{ch} es:

$$h_{ch} = 424,911 \frac{BTU}{h \times ft^2 \times ^\circ F}$$

- **Cálculo estimado del coeficiente global limpio U_c al interior del tanque.**

$$U_c = \frac{h_t \times h_{ch}}{h_t + h_{ch}} \quad (14)$$

$$U_c = \frac{398,62 \left(\frac{BTU}{h \times ft^2 \times ^\circ F} \right) \times 424,91 \left(\frac{BTU}{h \times ft^2 \times ^\circ F} \right)}{398,62 \left(\frac{BTU}{h \times ft^2 \times ^\circ F} \right) + 424,91 \left(\frac{BTU}{h \times ft^2 \times ^\circ F} \right)}$$

$$U_c = 205,67 \left(\frac{BTU}{h \times ft^2 \times ^\circ F} \right)$$

- **Cálculo estimado del coeficiente global sucio U_d al interior del tanque.**

$$U_D = \frac{1}{\frac{1}{U_c} + Rd}; \text{ se desprecian resistencia de las paredes} \quad (15)$$

$$U_D = \frac{1}{\frac{1}{205,674 \left(\frac{BTU}{h \times ft^2 \times ^\circ F} \right)} + 0,0005 \left(\frac{h \times ft^2 \times ^\circ F}{BTU} \right)}$$

$$U_D = 186,49 \left(\frac{BTU}{h \times ft^2 \times ^\circ F} \right) \times \left(\frac{5,6 \frac{w}{m^2 \times ^\circ C}}{1BTU} \right)$$

$$U_D = 1044,37 \left(\frac{w}{m^2 \times ^\circ C} \right)$$

- **Cálculo del tiempo estimado de enfriamiento**

Para medio de enfriamiento no isotérmico (agua), se emplea la siguiente ecuación:

$$\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_2 - t_1)} = \frac{W.C}{M.c} \left[\frac{K_2 - 1}{K_2} \right] \theta \quad K_2 = e^{U.A/w.c} \quad (10)$$

$$K_2 = e^{\left(\frac{186,49 \frac{BTU}{h \times ft^2 \times ^\circ C} \times 49,21 ft^2}{11023 \frac{lb}{h} \times 1 \frac{BTU}{lb \times ^\circ C}} \right)} = 2,3241$$

$$\theta = \left(\frac{\ln \left(\frac{203^\circ F - 82,4^\circ F}{203^\circ F - 82,4^\circ F} \right)}{\frac{10912,81 \left(\frac{lb}{h} \right) \times 1,005 \left(\frac{BTU}{lb \times ^\circ F} \right)}{1916,18 (lb) \times 0,9978 \left(\frac{BTU}{lb \times ^\circ F} \right)} \times \left(\frac{2,3241 - 1}{2,3241} \right)} \right)$$

$$\theta = 1,09h = 65,4 \text{ min}$$

Validación in situ.

Las curvas que caracterizan el proceso térmico bajo las condiciones manifestadas en la tabla #9, son obtenidas de los datos de perfil tiempo y temperatura de las 4 pruebas de validación realizadas en el sistema las cuales se resumen en la figura 3.1.

De las misma forma, se detallan las cartillas de registro térmico (temperatura – tiempo) en las figuras 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, que se obtuvieron a lo largo de las validaciones realizadas en el equipo.

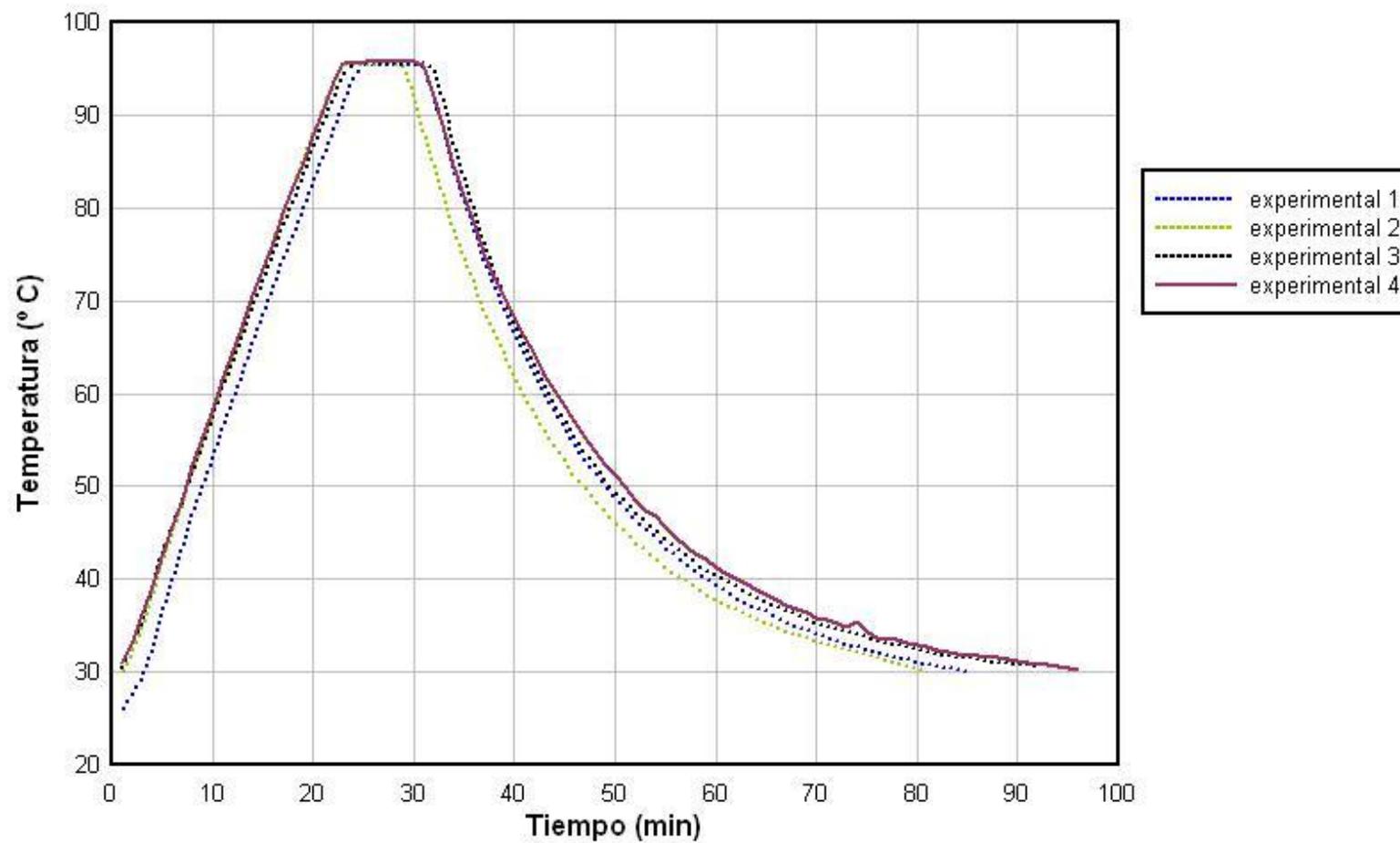


Figura 3.1: Proceso térmico de 0,9 m³ de agua potable en recipiente con chaqueta de vapor y agitación mecánica.

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

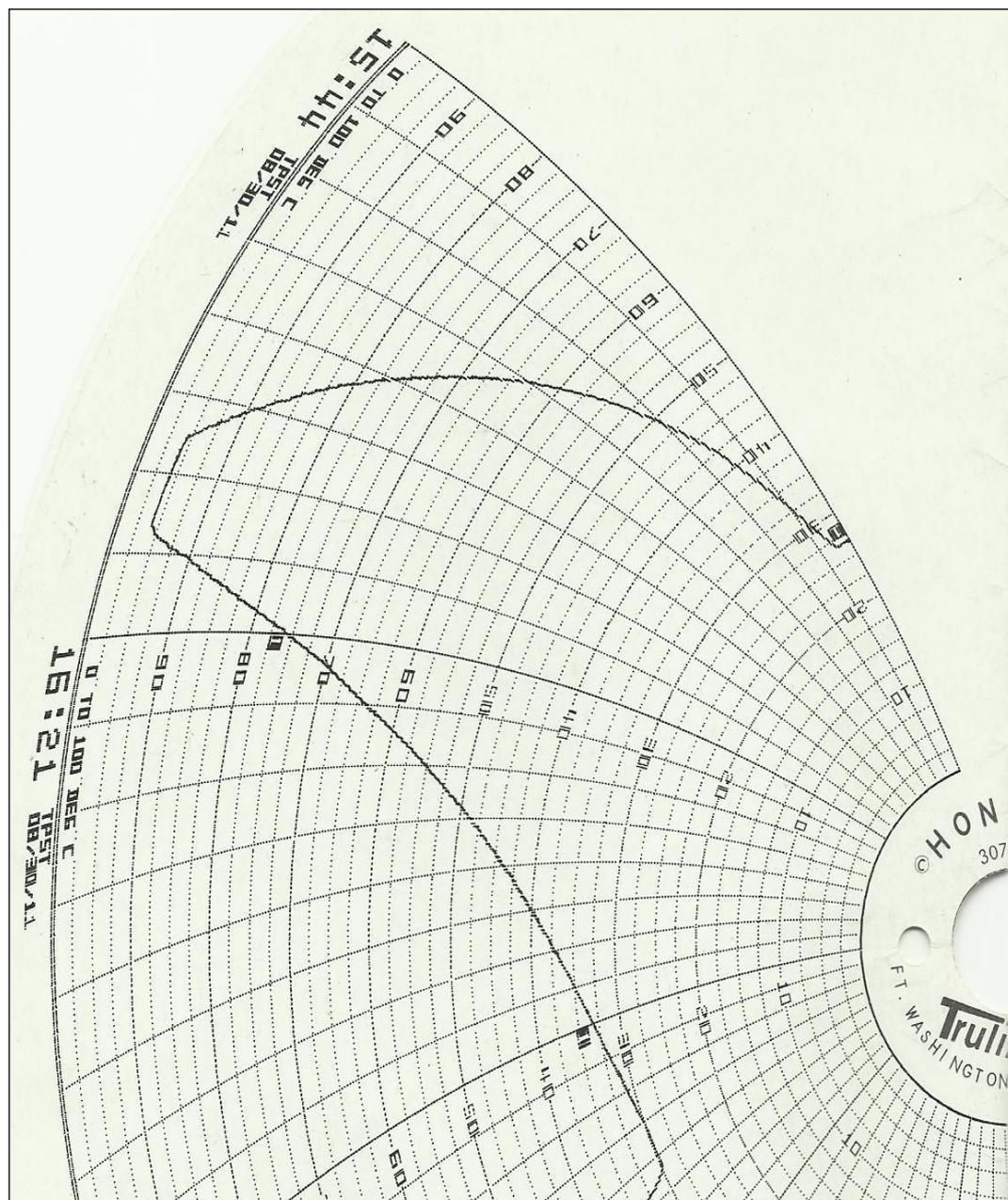


Figura 3.2. Cartilla de perfil tiempo - temperatura prueba experimental 1 con 0,9 m³ agua potable en tanque enchaquetado.
Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce

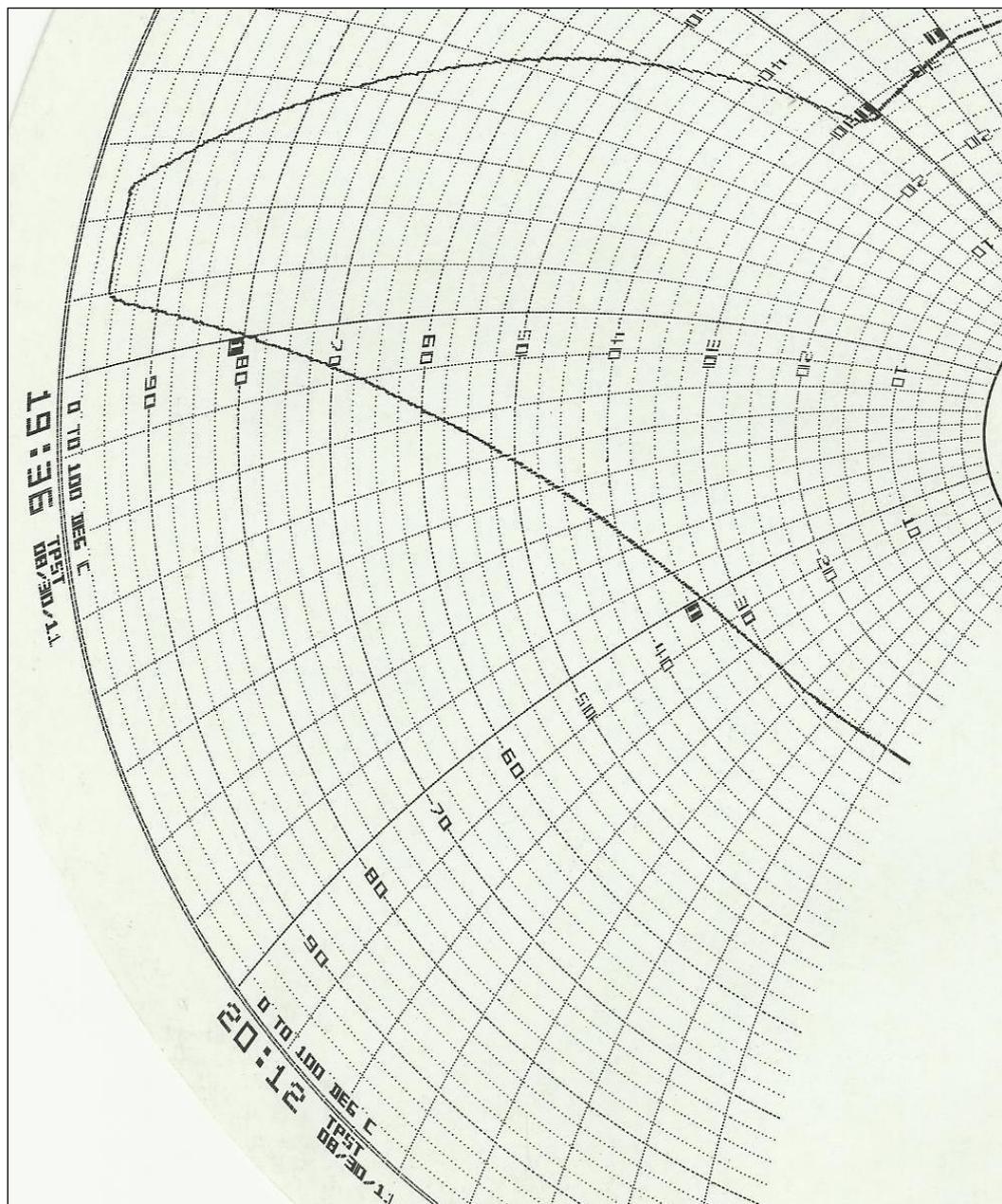


Figura 3.3 Cartilla de perfil tiempo – temperatura prueba experimental 2 con 0,9 m³ de agua potable en recipiente enchaquetado.

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce

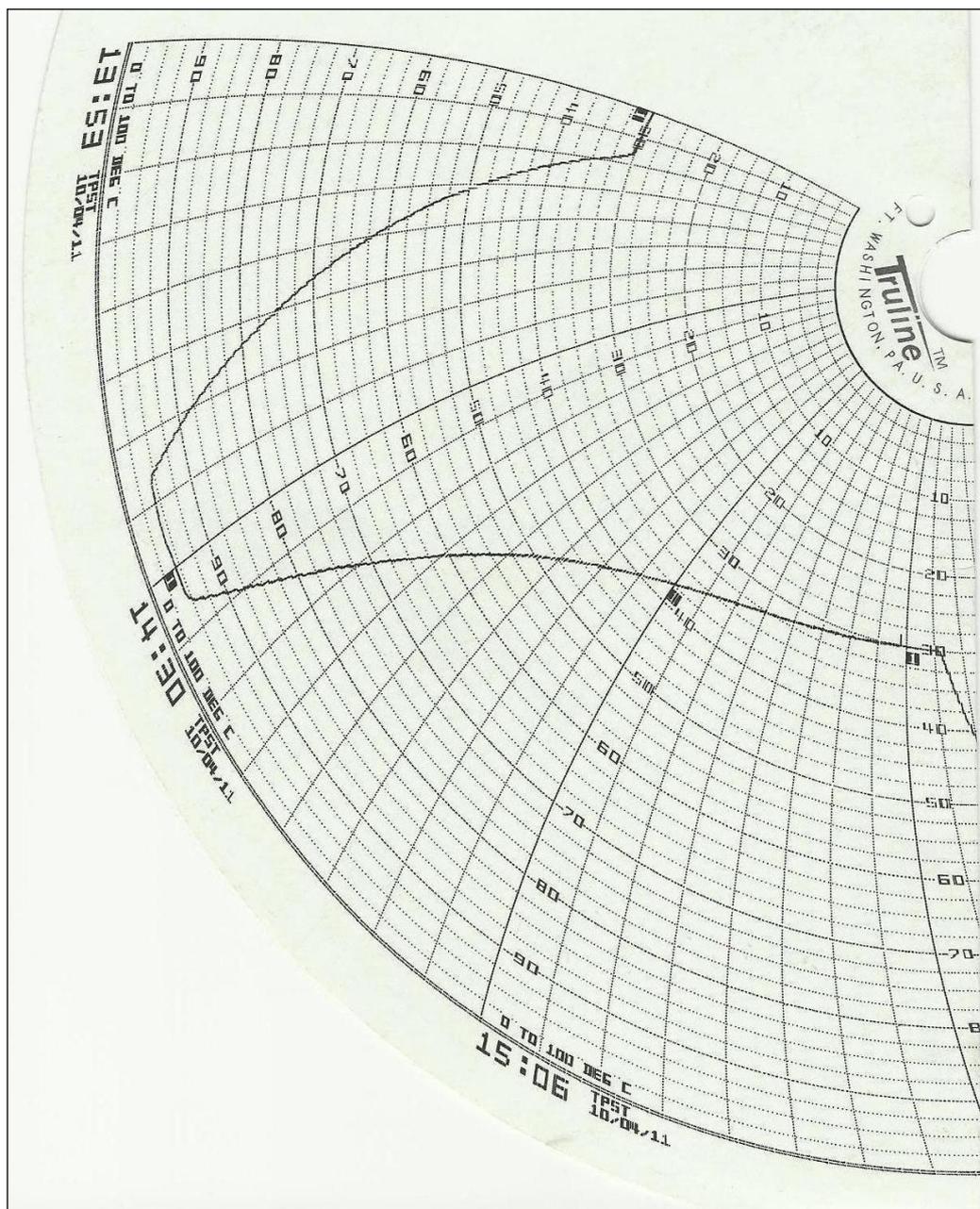


Figura 3.4 Cartilla de perfil tiempo - temperatura prueba experimental 3 con 0,9 m³ de agua potable en recipiente enchaquetado.

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce.

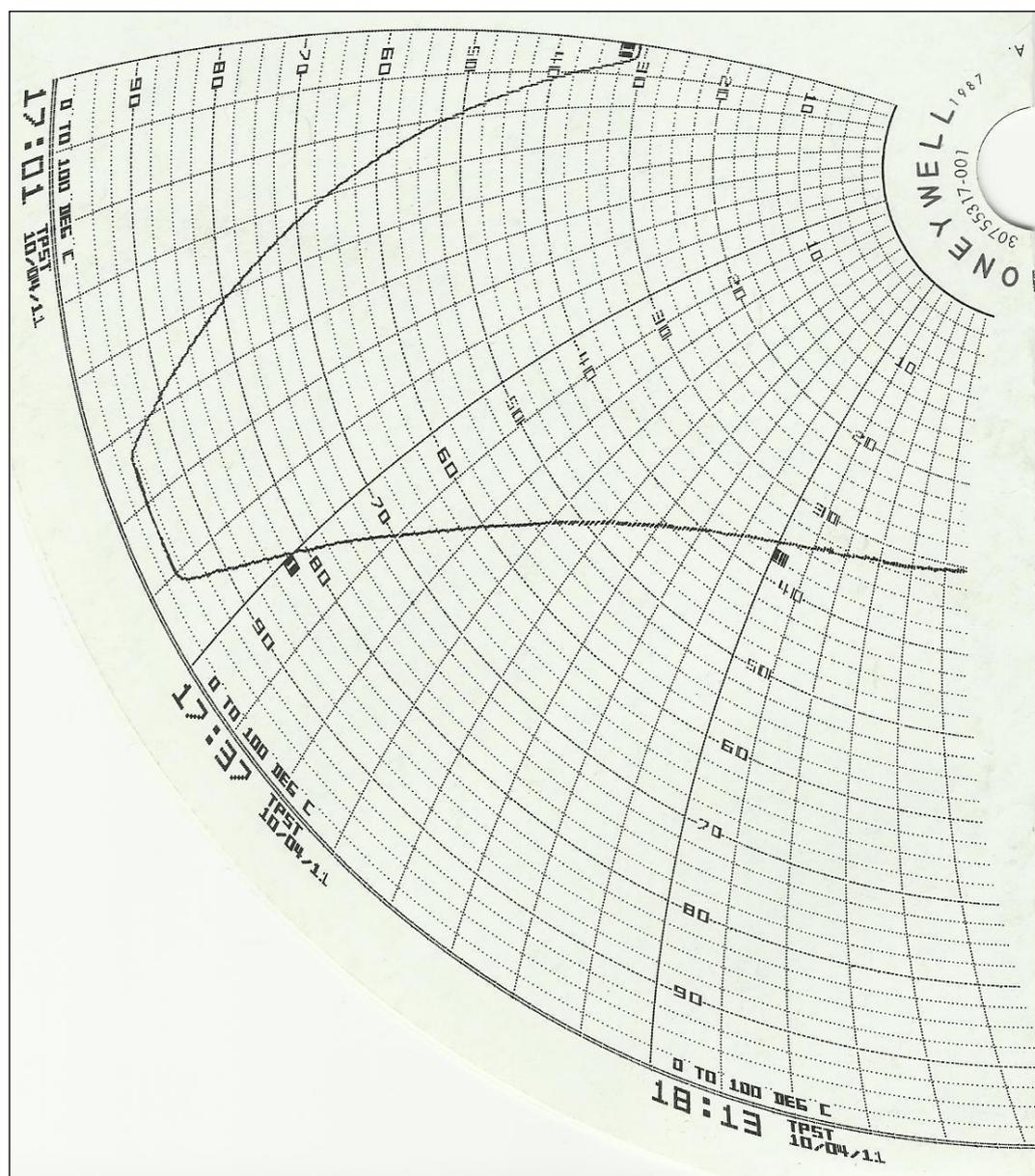


Figura 3.5 Cartilla de perfil tiempo - temperatura prueba experimental 4 con 0,9 m³ de agua potable en recipiente enchaquetado.
Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce

Los resultados obtenidos de las 4 experiencias realizadas en el proceso de validación del tanque enchaquetado con 0,9 m³ de agua potable a 30 °C, y el cálculo estimado para tales, previo al proceso de pasteurización de pulpa de fruta se resumen en la tabla 15.

Tabla 15
Tiempos Estimados versus Tiempos Experimentales
Tratamiento Térmico de 0.90 m³ Agua Potable

	Estimado (min)	Experimental 1 (min)	Experimental 2 (min)	Experimental 3 (min)	Experimental 4 (min)
Calentamiento	22,13	24	23	23	23
Enfriamiento	65,4	54	54	62	66
Total Tiempo	87,53	78	77	85	89

Elaborado por: Sócrates Palacios P (2011)

La tabla #15, muestra los tiempos incurridos tanto en las etapas de calentamiento y de enfriamiento versus los tiempos estimados para las mismas. Con los tiempos reales obtenidos a nivel experimental, se realiza un análisis estadístico de donde se obtienen los siguientes estadígrafos.

Tabla # 16
Estadígrafos Relacionados a los Tiempos de
Calentamiento y Enfriamiento con 0.9 m³ de Agua Potable

Estadígrafos	Calentamiento	Enfriamiento
Media	23,250	59,0
Varianza	0,25	36,0
Desviación típica	0,5	6,0
Error estándar	0,25	3,0
Mínimo	23	54
Máximo	24	66
Rango	1,00	12
Asimetría tipi.	1,63299	0,302406
Curtosis tipificada	1,63299	-1,59267
Coef. de variación	2,15054%	10,1695%

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce (2011).

Acorde a los valores manifestados en la tabla 16, la curtosis tipificada y asimetría tipificada para las diferentes etapas analizadas, están en un rango comprendido entre (-2, 2), por lo que se concluye que los tiempos analizados en dichas etapas, se ajustan a una distribución normal, así pues, se puede estipular que el tanque operativamente en condiciones ideales manejará un tiempo medio de 23 minutos de calentamiento y 59 minutos de enfriamiento.

Realizando el análisis comparativo del tiempo medio de calentamiento y enfriamiento real con los estimados, se obtiene que la variación de tiempo para la etapa de calentamiento es de 1 minuto y para la etapa de enfriamiento es de 6 minutos.

Cabe mencionar que este análisis es solamente referencial e indicativo de funcionamiento con un fluido ideal como el agua, ya que para la validación del tratamiento térmico del sistema con producto no se puede inferir un resultado de tiempo medio de calentamiento bajo un análisis estadístico, si no bajo el empleo de parámetros de penetración de calor obtenidos de curvas de penetración de calor.

De los perfiles tiempo – temperatura obtenidos de la etapa de calentamiento y enfriamiento, se elaboran las curvas que caracterizan cada etapa para cada experiencia, las mismas que se detallan en la figura 3.6 y 3.7.

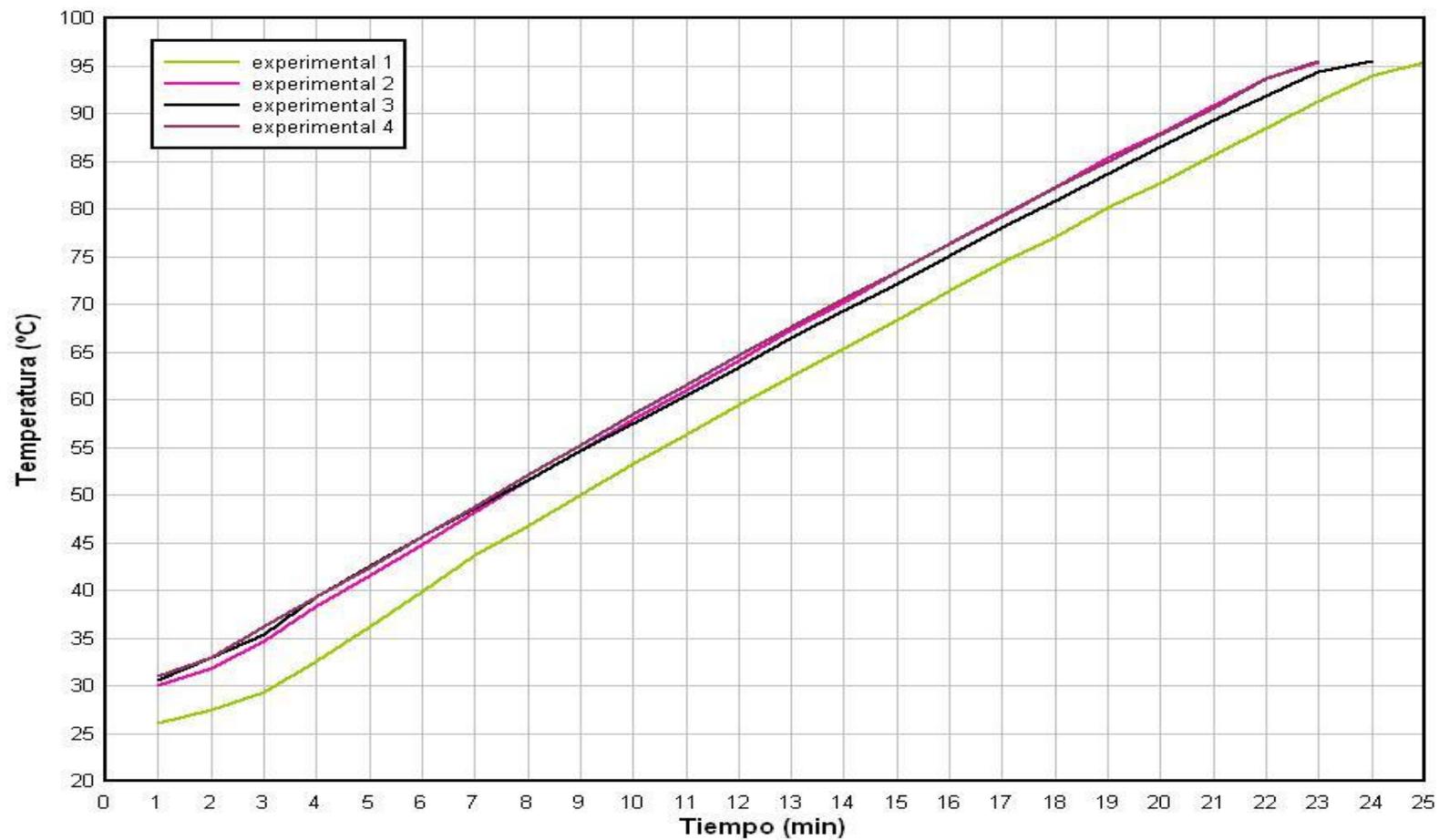


Figura 3.6: Curvas de Calentamiento para $0,9 \text{ m}^3$ del agua potable en tanque enchaquetado, fase de validación.

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce (2011).

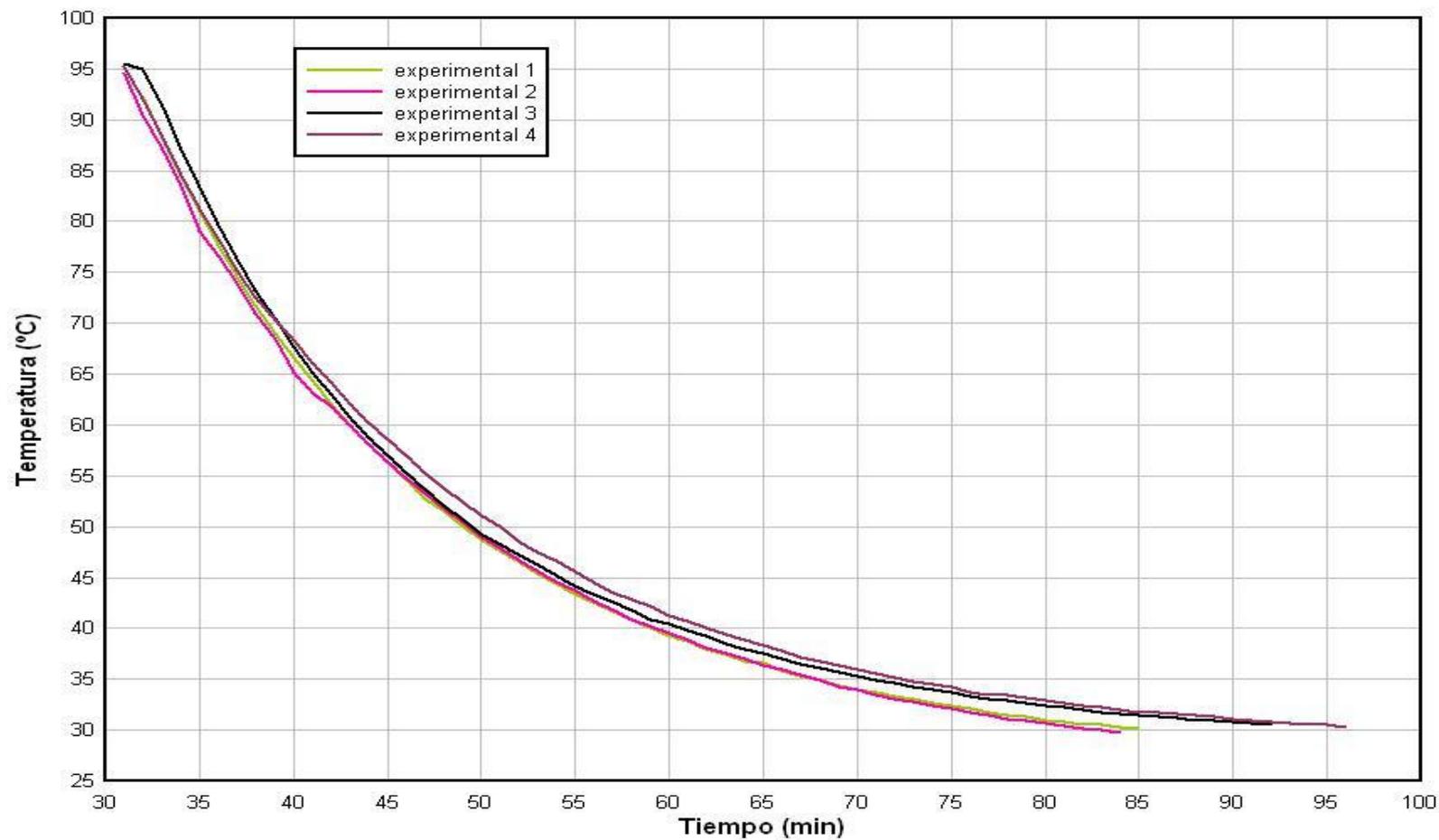


Figura 3.7: Curvas de enfriamiento para 0,9 m³ del agua potable en tanque enchaquetado, fase de validación.

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce (2011).

Para establecer si las corridas experimentales con agua, detalladas en las figuras 3.6 y 3.7, difieren una de otra, se realiza un análisis de varianza entre los tiempos obtenidos de los experimentos realizados, el mismo que se detalla en las tablas #17 y #18

Tabla # 17

Tabla Anova Temperaturas de Calentamiento Agua Potable

Tabla ANOVA para temperaturas calentamiento según experimentos					
Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de Cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	192,831	3	64,277	0,15	0,9286
Intra grupos	38250,9	90	425,01		
Total (Corr.)	38443,7	93			

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce (2011).

Del análisis de varianza realizado para los datos de las temperaturas de calentamiento en la tabla # 17, el P valor obtenido del test F es superior a 0.05 es decir un valor de $P = 0,9286$, por lo que se puede afirmar que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las temperaturas de calentamiento medias de un nivel de experimentos a otro, para un nivel de confianza del 95 %.

Tabla # 18

Tabla Anova Temperaturas de Enfriamiento Agua Potable

Tabla ANOVA para temperaturas enfriamiento según experimentos					
Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de Cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	145,776	3	48,5921	0,16	0,9230
Intra grupos	70088,2	231	303,412		
Total (Corr.)	70234,0	234			

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce (2011).

Del análisis de varianza realizado para los datos de las temperaturas de enfriamiento en la tabla # 118, el P valor obtenido del test F es superior a 0.05 es decir un valor de $P= 0,9230$, por lo que se puede afirmar que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las temperaturas de enfriamiento medias de un nivel de experimentos a otro, para un nivel de confianza del 95 %.

En conclusión, para las pruebas de validación operativas con 0,9 m³ de agua potable en el sistema instalado, los valores obtenidos en tiempos de proceso (tabla #15) en las experiencias realizadas, respecto de los estimados, no presentan diferencias significativas, por lo que el método empleado de estimación servirá como referente para la validación del sistema con 880 Kg de pulpa de naranjilla.

Adecuaciones recomendadas.

Para la operatividad del sistema del tanque enchaquetado para las experiencias previas con agua y posteriores con pulpa de naranjilla, se necesitaron realizar algunas mejoras y adecuaciones del mismo, entre las principales adquisiciones están:

- Registrador de temperatura.
- Sensor de temperatura para el termo pozo.
- Válvula reguladora de presión de entrada de vapor
- Trampa de vapor para el condensado del sistema.
- Reductor para el motor del agitador.
- Bomba de alimentación y descarga al sistema.

En la instalación del sistema se realizó un aprovechamiento de los recursos disponibles por parte de la empresa, por lo que no se necesitó realizar inversiones en el reductor del motor para el agitador, ni en las bombas de

carga y descarga al sistema, incurriendo así en una inversión inicial que se resume en la siguiente tabla.

Tabla # 19
Inversión Inicial por Instalación de Tanque Enchaquetado

Materiales Requeridos	Cantidad	Costo
Registrador de temperatura #DR4500 HONEY WELL	1 unid	1893
Sensor de temperatura	1 unid	250,88
Válvula reguladora de presión de 1"	1 unid	370
Trampa termodinámica D 1" TD52 SPIRAX S.A	1 unid	327,75
Manómetro de 0 - 4 BAR MA-40-4-1/8	1 unid	41,06
Angulo de Acero inoxidable de 3X4"	6 m.	120,6
Otros (uniones, neoplos, válvulas, tornillos, reductores)	-	82,14
	Inversión Total	3085,43

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce



Figura 3.8: Tanque Enchaquetado Instalado en Planta.

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce

3.2 Comparación entre los parámetros de proceso calculados para pulpa de naranjilla y los valores validados estadísticamente de pruebas experimentales.

Para realizar el análisis comparativo de los parámetros de proceso con pulpa de fruta, previamente se detallan los cálculos matemáticos estimados seguidos de los resultados de las validaciones y finalmente el análisis comparativos de estos dos.

Tiempo estimado de calentamiento

- **Cálculo del área transferencia de calor en el tanque**

$$Area.Transf. = 2\pi r \times L \quad (11)$$

$$Area.Transf. = 2\pi \left(\frac{1,1m}{2} \right) \times 1,37m$$

$$Area.Transf. = 4,5719m^2$$

- **Cálculo estimado del coeficiente de transferencia de calor ht, al interior del tanque.**

A. Cálculo del # Reynolds para el Fluido en el tanque

$$\#Re_t = \frac{\rho \cdot N \cdot DI^2}{\mu} \quad (12)$$

$$\#Re_t = \frac{1030 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \times 3300 \left(\frac{rev}{h} \right) \times 1,06^2 m^2}{0,00118 \left(\frac{kg}{m.s} \right)}$$

$$\#Re_t = 899038,701$$

B. Cálculo del # de Prandtl para el Fluido en el tanque

$$Pr = \frac{Cp \cdot \mu}{k} \quad (13)$$

$$Pr = \frac{3,969328 \left(\frac{kJ}{kg \times ^\circ C} \right) \times 0,00118 \left(\frac{kg}{m \times s} \right)}{0,59684 \left(\frac{w}{m \times ^\circ C} \right) \times \left(\frac{1kJ}{1000j} \right)}$$

$$Pr = 7,848$$

C. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor h_t .

$$Nu = \frac{h_t \cdot D_t}{k} = a Re^b Pr^c \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^m \quad (5)$$

$$h_t = 0,36 \times 899038,70^{0,62} \times 7,848^{0,33} \times (1)^{0,14} \frac{1,1m}{0,59684 \left(\frac{w}{m \times ^\circ C} \right)}$$

$$h_t = 1893,977 \frac{w}{m^2 \times ^\circ C}$$

- **Cálculo estimado del coeficiente global limpio U_c al interior del tanque.**

$$U_c = \frac{h_t \times h_{ch}}{h_t + h_{ch}} \quad (14)$$

$$U_c = \frac{1893,977 \left(\frac{w}{m^2 \times ^\circ C} \right) \times 8000 \left(\frac{w}{m^2 \times ^\circ C} \right)}{1893,977 \left(\frac{w}{m^2 \times ^\circ C} \right) + 8000 \left(\frac{w}{m^2 \times ^\circ C} \right)}$$

$$U_c = 1531,41 \left(\frac{w}{m^2 \times ^\circ C} \right)$$

- **Cálculo estimado del coeficiente global sucio U_d al interior del tanque.**

$$U_D = \frac{1}{\frac{1}{U_c} + Rd} ; \text{ se desprecian resistencia de las paredes} \quad (15)$$

$$U_D = \frac{1}{\frac{1}{1531,418 \left(\frac{w}{m^2 \times ^\circ C} \right)} + 0,0009}$$

$$U_D = 643,91 \left(\frac{w}{m^2 \times ^\circ C} \right) \times \left(\frac{1kj}{1000j} \times \frac{1h}{3600seg} \right)$$

$$U_D = 2318,11 \left(\frac{kJ}{h \times m^2 \times ^\circ C} \right)$$

- **Cálculo del tiempo estimado de calentamiento**

Para medio de calentamiento isotérmico (vapor de agua se emplea la siguiente ecuación:

$$\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_1 - t_2)} = \frac{U.A.}{M.C} \theta \quad (7)$$

Despejando el tiempo se reordena a;

$$\theta = \left(\frac{\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_1 - t_2)}}{\frac{U.A.}{M.C}} \right) \quad (16)$$

$$\theta = \left(\frac{\ln \frac{(128^\circ C - 30^\circ C)}{(128^\circ C - 95^\circ C)}}{\frac{2318,11 \left(\frac{kJ}{h \times m^2 \times ^\circ C} \right) \times 4,5719 m^2}{880(Kg) \times 4,1783 \left(\frac{kJ}{kg \times ^\circ C} \right)}} \right)$$

$$\theta = 0,3587h = 21,52 \text{ min}$$

Tiempo estimado de enfriamiento

- Cálculo estimado del coeficiente de transferencia de calor h_t , al interior del tanque.

A. Cálculo del # Reynolds para el Fluido en el tanque

$$\#Re_t = \frac{\rho \cdot N \cdot DI^2}{\mu} \quad (12)$$

$$\#Re_t = \frac{987 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \times 3300 \left(\frac{rev}{h} \right) \times 1,06^2 m^2}{0,00044 \left(\frac{kg}{m \cdot s} \right)}$$

$$\#Re_t = 2488062,500$$

B. Cálculo del # de Prandal para el Fluido en el tanque

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (13)$$

$$Pr = \frac{3,9693 \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right) \times 0,00118 \left(\frac{kg}{m \cdot s} \right)}{0,5528 \left(\frac{w}{m \cdot ^\circ C} \right) \times \left(\frac{1kJ}{1000j} \right)}$$

$$Pr = 8,473$$

C. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor h_t .

$$Nu = \frac{h_t \cdot D_t}{k} = a Re^b Pr^c \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^m \quad (5)$$

$$h_t = 0,36 \times 2488062,5^{0,62} \times 8,473^{0,33} \times (1)^{0,14} \frac{1,1m}{0,59684 \left(\frac{w}{m \times ^\circ C} \right)}$$

$$h_t = 3651,3372 \frac{w}{m^2 \times ^\circ C}$$

- **Cálculo estimado del coeficiente de transferencia de calor h_{ch} , al interior de la chaqueta.**

A. Cálculo del # de Prandtl para el Fluido en la chaqueta

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (13)$$

$$Pr = \frac{0,9978 \left(\frac{BTU}{lb \times ^\circ F} \right) \times 2,03 \left(\frac{lb}{ft \times h} \right)}{0,35 \left(\frac{BTU}{ft \times h \times ^\circ F} \right)}$$

$$Pr = 5,7877$$

B. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor h_{ch} .

$$Nu = \frac{h_{ch}}{k} = 0,15 Pr^{0,33} \left(\frac{\rho \times g \times \beta \times MLDT}{\mu^2} \right)^{0,33} \quad (17)$$

donde ;

$$MLDT = \left(\frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \left(\frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)} \right)} \right) = \left(\frac{(203 - 118,4) - (86 - 82,4)}{\ln \left(\frac{203 - 118,4}{86 - 82,4} \right)} \right) = 25,65$$

$$\left(\frac{\rho \times g \times \beta \times MLDT}{\mu^2} \right)^{0,33} = \left(\frac{62,07 \frac{lb}{ft^3} \times 4,18 \times 10^8 \frac{1}{^\circ F} \times 0,012 \frac{ft}{h^2} \times 25,65^\circ F}{\left(2,03 \frac{lb}{h \times ft} \right)^2} \right)^{0,33}$$

Los valores de K y Pr son respectivamente $0,35 \left(\frac{BTU}{ft \times h \times ^\circ F} \right)$ y 5.78 por lo

que el valor de h_{ch} es:

$$h_{ch} = 424,911 \frac{BTU}{h \times ft^2 \times ^\circ F}$$

- **Cálculo estimado del coeficiente global limpio U_c al interior del tanque.**

$$U_c = \frac{h_t \times h_{ch}}{h_t + h_{ch}} \quad (14)$$

$$U_c = \frac{652,024 \left(\frac{BTU}{h \times ft^2 \times ^\circ F} \right) \times 424,91 \left(\frac{BTU}{h \times ft^2 \times ^\circ F} \right)}{652,024 \left(\frac{BTU}{h \times ft^2 \times ^\circ F} \right) + 424,91 \left(\frac{BTU}{h \times ft^2 \times ^\circ F} \right)}$$

$$U_c = 257,26 \left(\frac{BTU}{h \times ft^2 \times ^\circ F} \right)$$

- **Cálculo estimado del coeficiente global sucio U_d al interior del tanque.**

$$U_D = \frac{1}{\frac{1}{U_c} + Rd} ; \text{ se desprecian resistencia de las paredes} \quad (15)$$

$$U_D = \frac{1}{\frac{1}{257,26 \left(\frac{BTU}{h \times ft^2 \times ^\circ F} \right)} + 0,0005 \left(\frac{h \times ft^2 \times ^\circ F}{BTU} \right)}$$

$$U_D = 227,94 \left(\frac{BTU}{h \times ft^2 \times ^\circ F} \right) \times \left(\frac{5,6 \frac{w}{m^2 \times ^\circ C}}{1BTU} \right)$$

$$U_D = 1276,46 \left(\frac{w}{m^2 \times ^\circ C} \right)$$

- **Cálculo del tiempo estimado de enfriamiento**

Para medio de enfriamiento no isotérmico (agua), se emplea la siguiente ecuación:

$$\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_2 - t_1)} = \frac{W.C}{M.c} \left[\frac{K_2 - 1}{K_2} \right] \theta; K_2 = e^{U.A/w.c} \quad (10)$$

$$K_2 = e^{\left(\frac{227,94 \frac{BTU}{h \times ft^2 \times ^\circ C} \times 49,21 ft^2}{1091281 \frac{lb}{h} \times 0,9478 \frac{BTU}{lb \times ^\circ C}} \right)} = 2,8031$$

$$\theta = \left(\frac{\ln \frac{(203^\circ F - 82.4^\circ F)}{(86^\circ F - 82.4^\circ F)}}{\frac{10912,81 \left(\frac{lb}{h} \right) \times 0,9978 \left(\frac{BTU}{lb \times ^\circ F} \right)}{1936(lb) \times 0,9478 \left(\frac{BTU}{lb \times ^\circ F} \right)} \times \left(\frac{2,776 - 1}{2,776} \right)} \right)$$

$$\theta = 0,91h = 55,2 \text{ min}$$

Corridas experimentales

Para las 4 réplicas del tratamiento térmico con 880 Kg de pulpa de naranjilla en el tanque enchaquetado, se detallan las cartillas de registro de tiempo y temperatura en las figuras 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, cuyos valores servirán como base de análisis, para establecer los tiempos de procesos reales incurridos así como los valores de letalidades reales alcanzados en cada una de las experiencias.

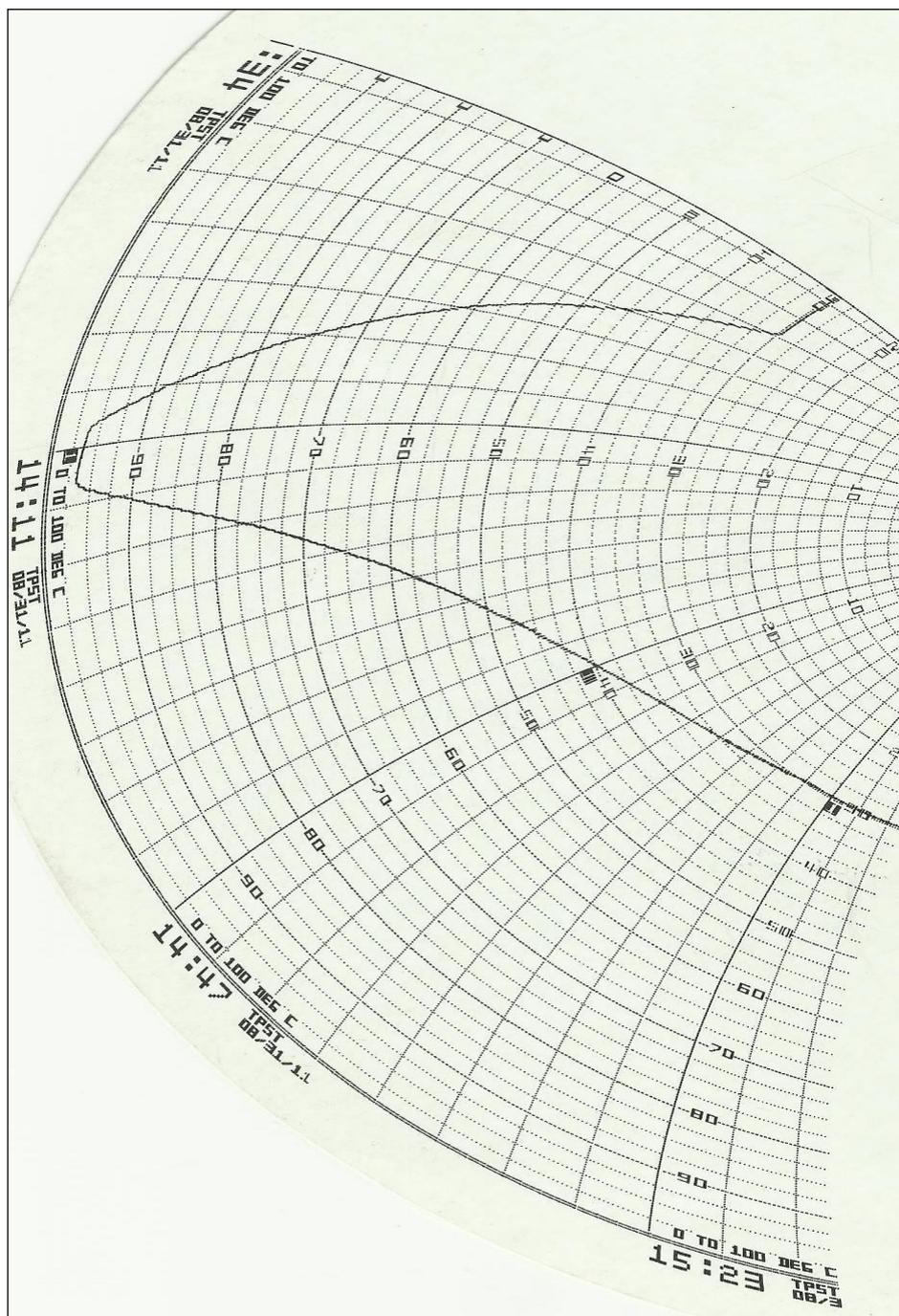


Figura 3.9 Cartilla de perfil tiempo - temperatura prueba experimental 1 con 880 Kg de pulpa de naranjilla.
Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce

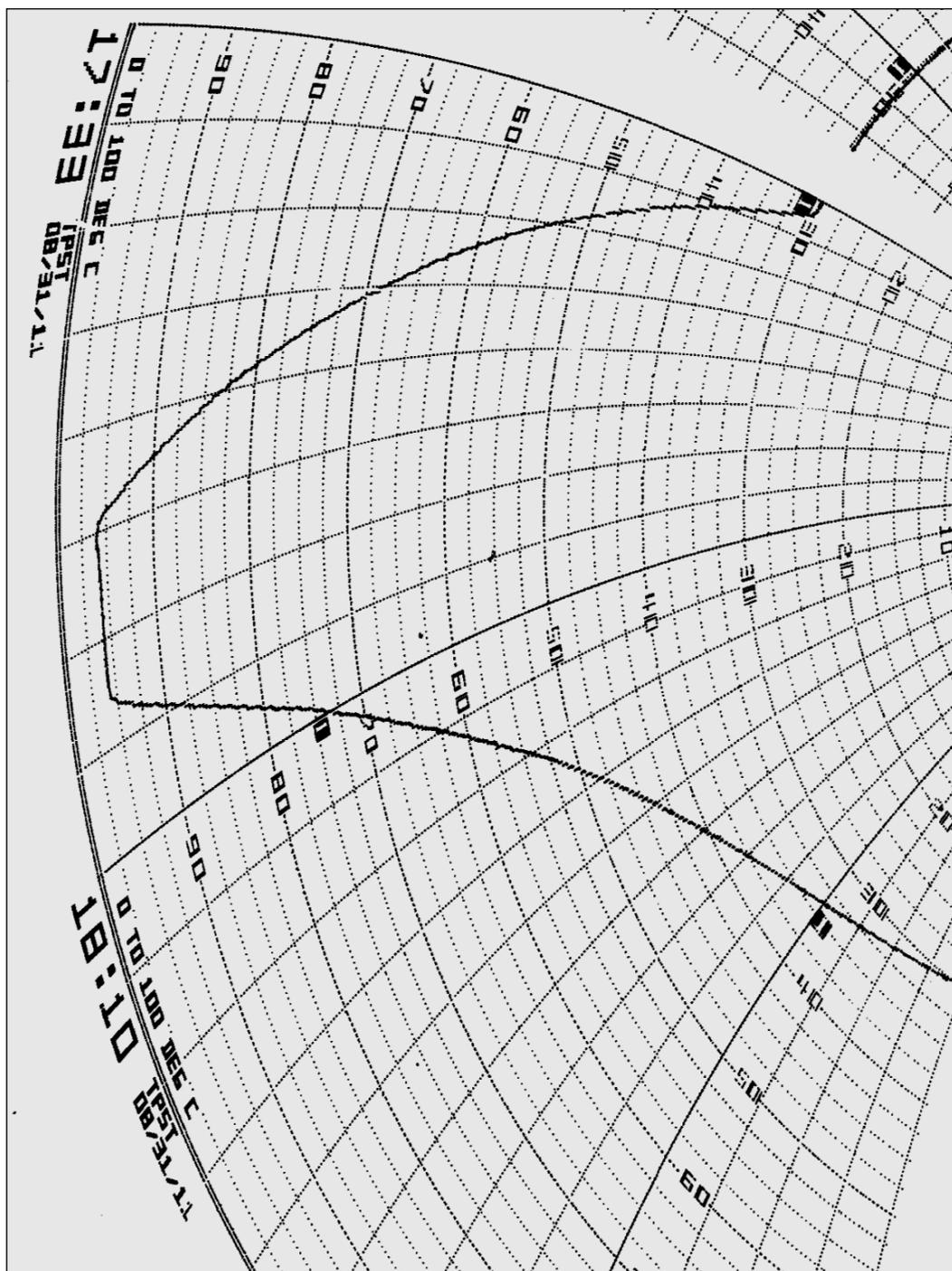


Figura 3.10 Cartilla de perfil tiempo - temperatura prueba experimental 2 con 880 Kg de pulpa de naranjilla.
 Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce

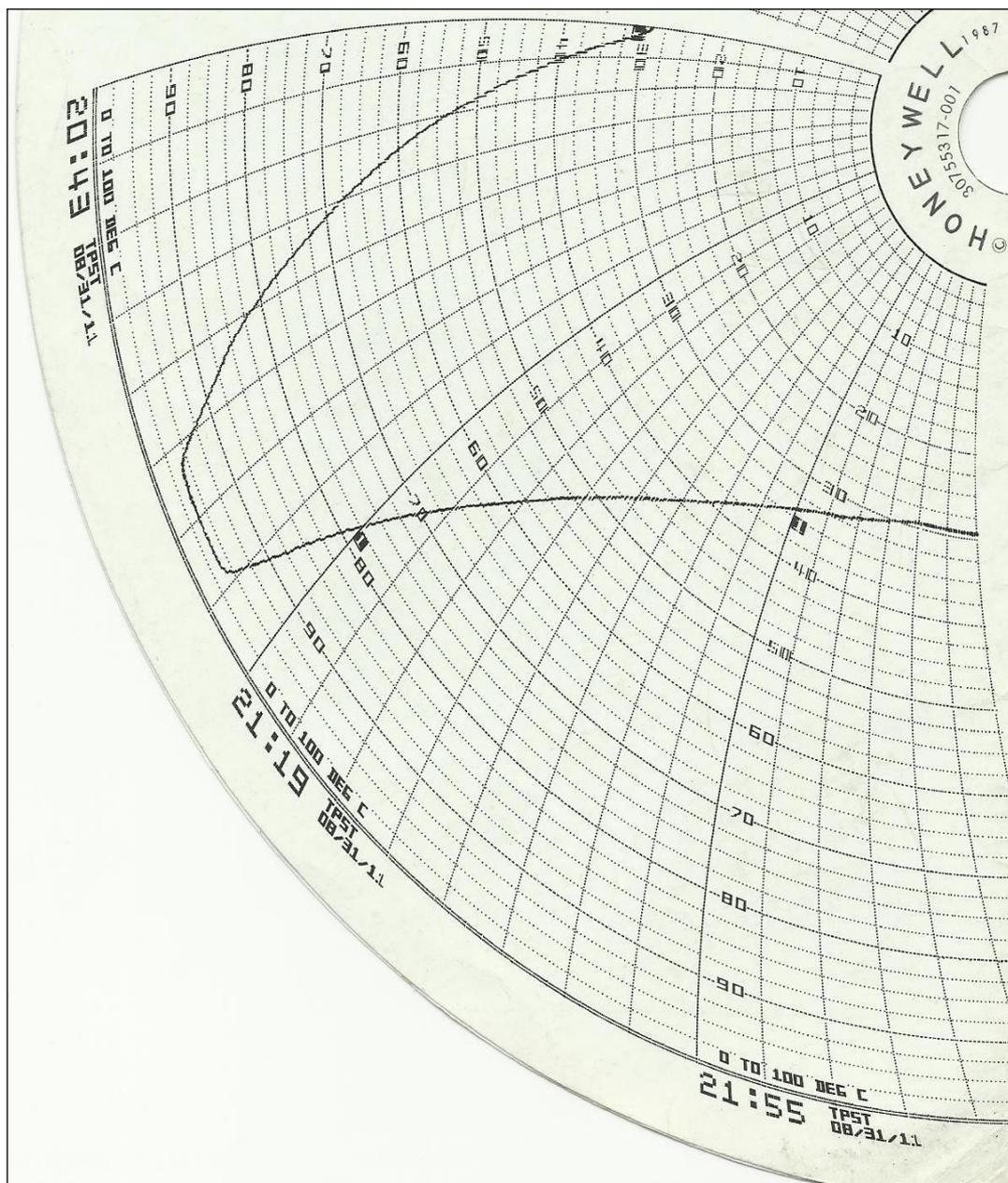


Figura 3.11 Cartilla de perfil tiempo - temperatura prueba experimental 3 con 880 kg de pulpa de naranjilla.

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce

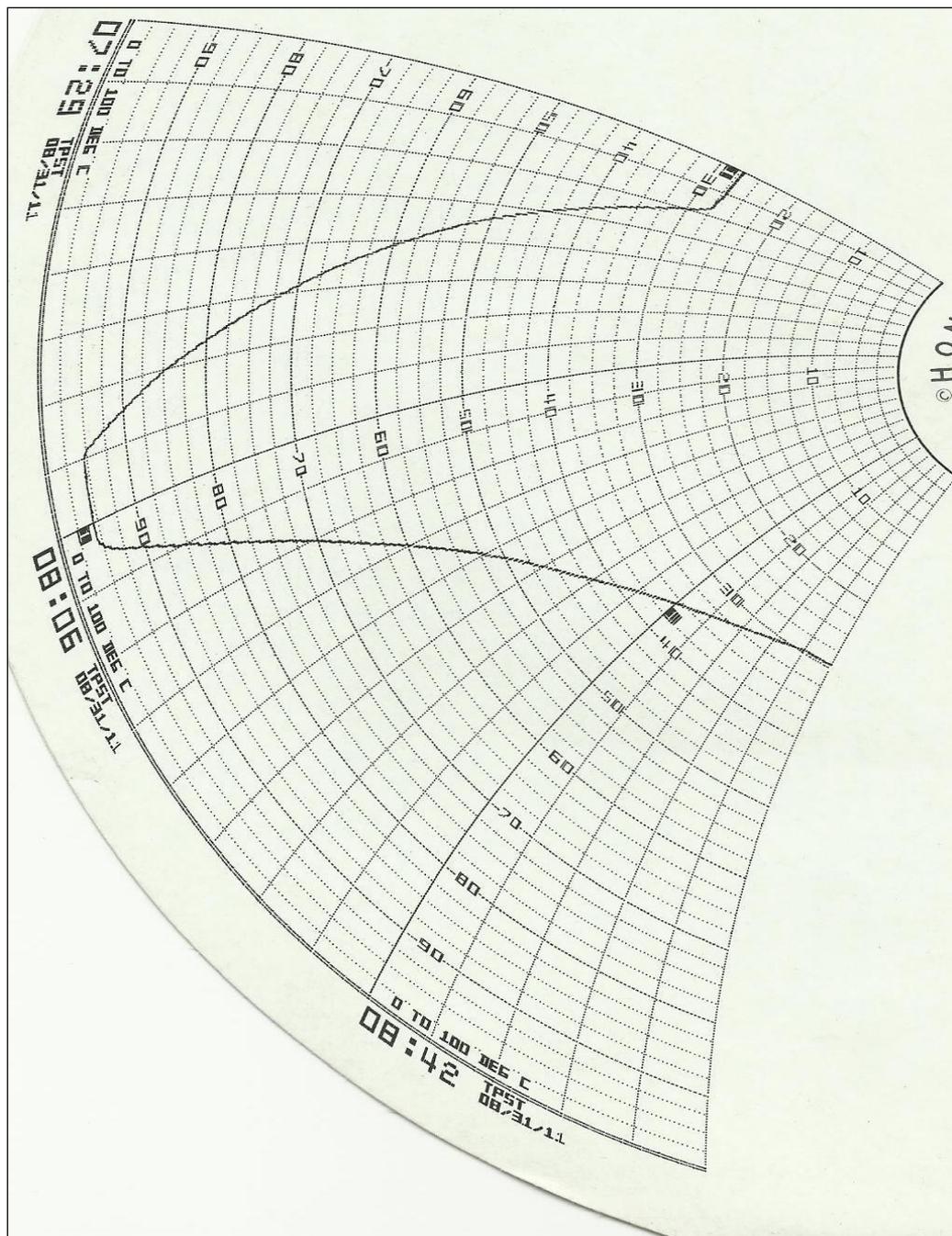


Figura 3.12 Cartilla de perfil tiempo - temperatura prueba experimental 4 con 880 Kg de pulpa de naranjilla.
Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce

Los resultados obtenidos de las 4 experiencias realizadas en el proceso de validación del tratamiento térmico de 880 Kg de pulpa de naranjilla en el tanque enchaquetado con 88 Kg de pulpa de naranjilla a 30 °C y el cálculo estimado para tales se resumen en la siguiente tabla.

Tabla # 20
Tiempos Estimados versus Tiempos Experimentales
Tratamiento Térmico 880 Kg Pulpa de Naranjilla

	Estimado (min)	Experimental 1 (min)	Experimental 2 (min)	Experimental 3 (min)	Experimental 4 (min)
Calentamiento	18,73	21	21	23	24
Enfriamiento	55	62	56	56	50
Total	73,73	83	77	79	74

Elaborado por: Sócrates Palacios P. (2011)

La tabla #20 muestra los tiempos incurridos tanto en las etapas de calentamiento y de enfriamiento versus los tiempos estimados para las mismas.

Realizando el análisis comparativo del tiempo medio de calentamiento y enfriamiento real con los estimados por cálculos matemáticos, se obtiene que la variación de tiempo para la etapa de calentamiento es de, 6 minutos como máximo y para la etapa de enfriamiento es de 7 minutos máximo.

Con los perfiles tiempo – temperatura de las etapa de calentamiento y de enfriamiento obtenidos de las corridas experimentales con producto en el tanque, se presenta en la siguientes figuras 3.13 y 3.14, las curvas correspondientes a dichas experiencias realizadas.

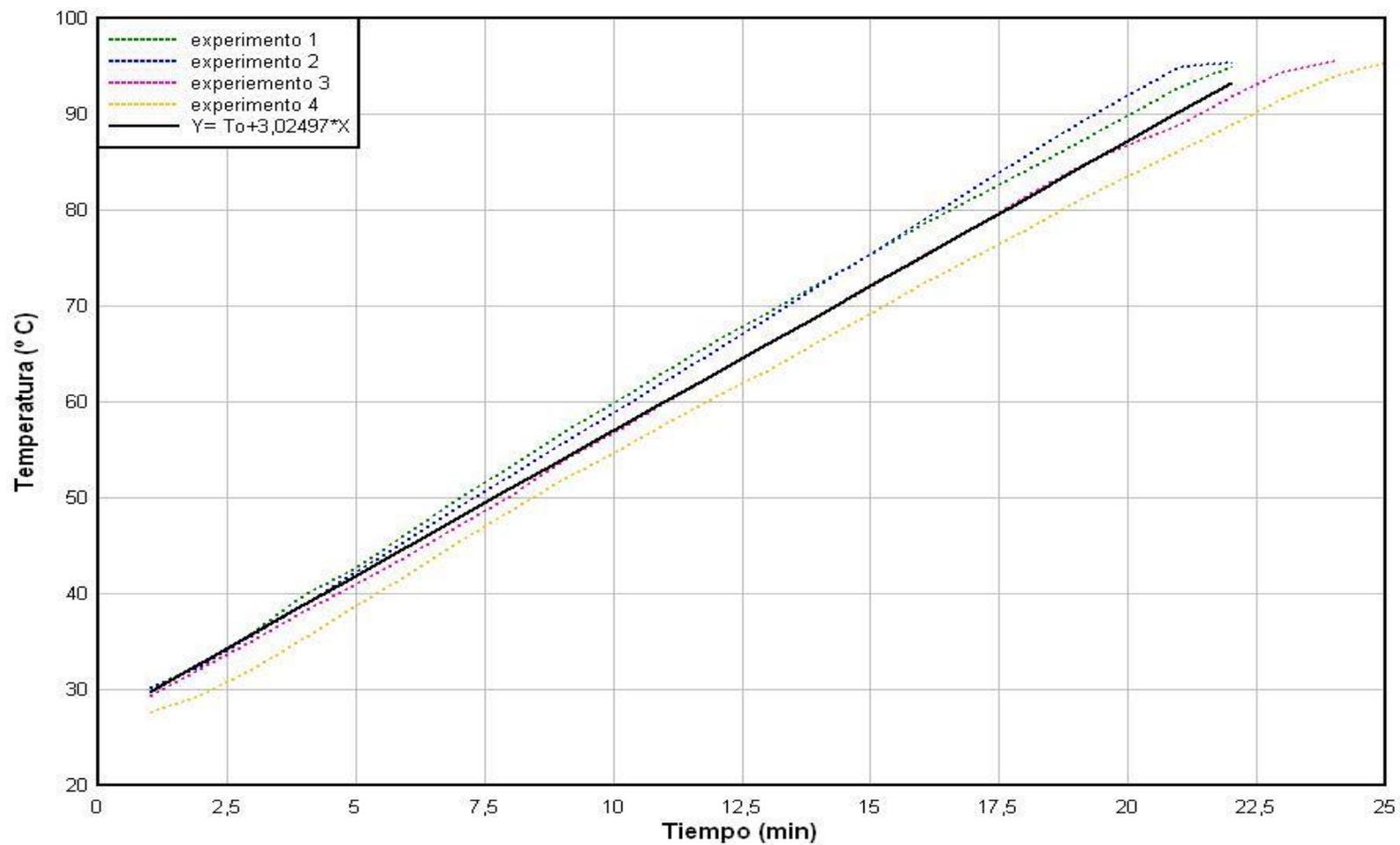


Figura 3.13: Curvas de calentamiento para 880 Kg de pulpa de naranjilla en tanque enchaquetado.

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce (2011).

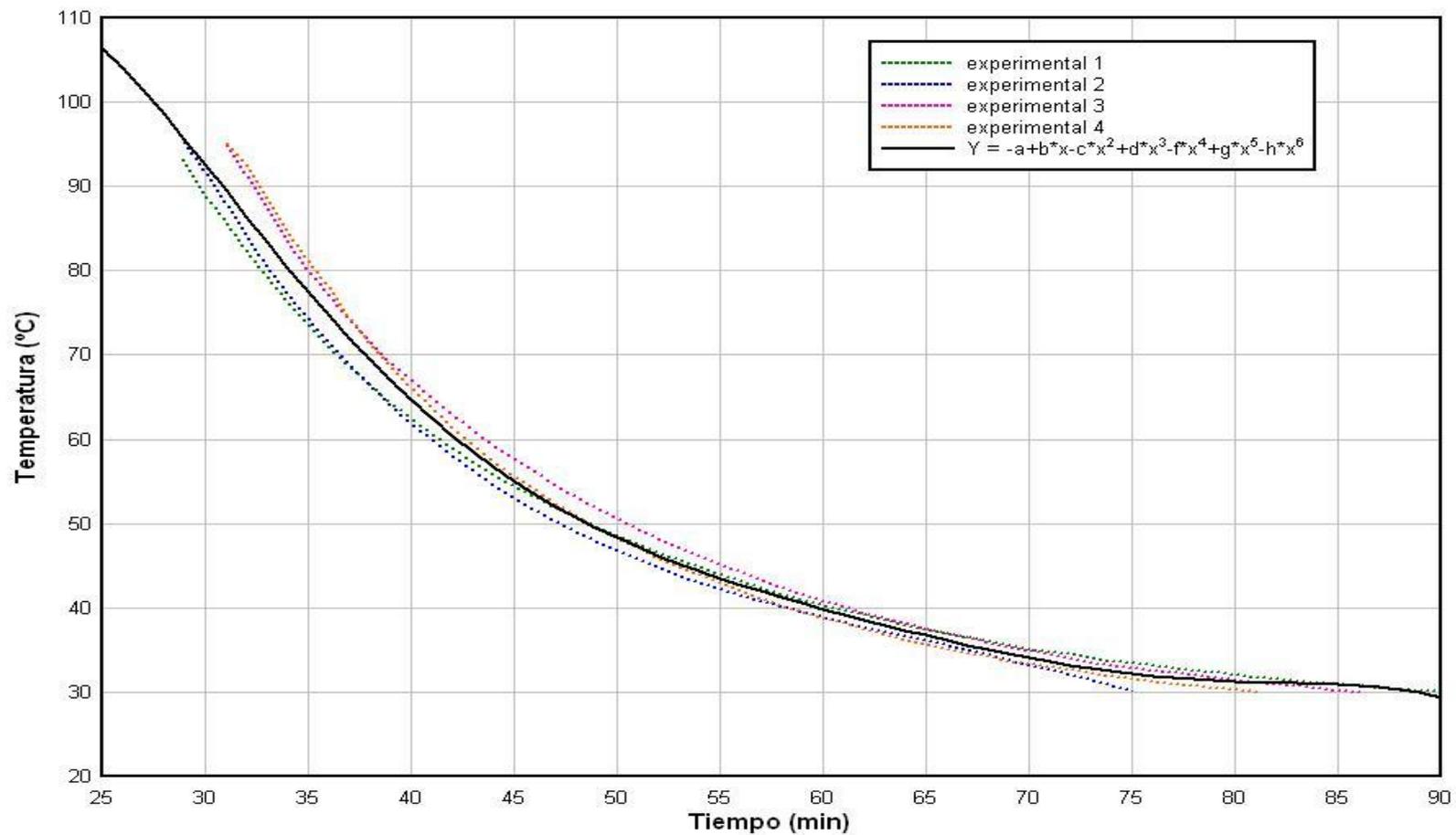


Figura 3.14: Curvas de enfriamiento para 880 Kg de pulpa de naranjilla en tanque encajetado.

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce (2011).

Para los perfiles obtenidos de la etapa de calentamiento (tiempo – temperatura), se procede a graficarlos en una hoja semilogarítmica de 3 ciclos los datos de temperatura a tiempo real, recopilados in situ durante las corridas experimentales minuto a minuto. Con esto es posible construir curvas que denoten la forma como se transfiere en el producto a través de la pared interna del recipiente enchaquetado a lo largo del proceso térmico.

Las curvas se linealizan, con la intención de obtener una ecuación que vincule la mayor cantidad de datos graficados y por medio de la cual el inverso de su pendiente nos dará un parámetro de respuesta a la temperatura llamado f_h , el cual describe la velocidad de transferencia de calor en el sistema durante el calentamiento.

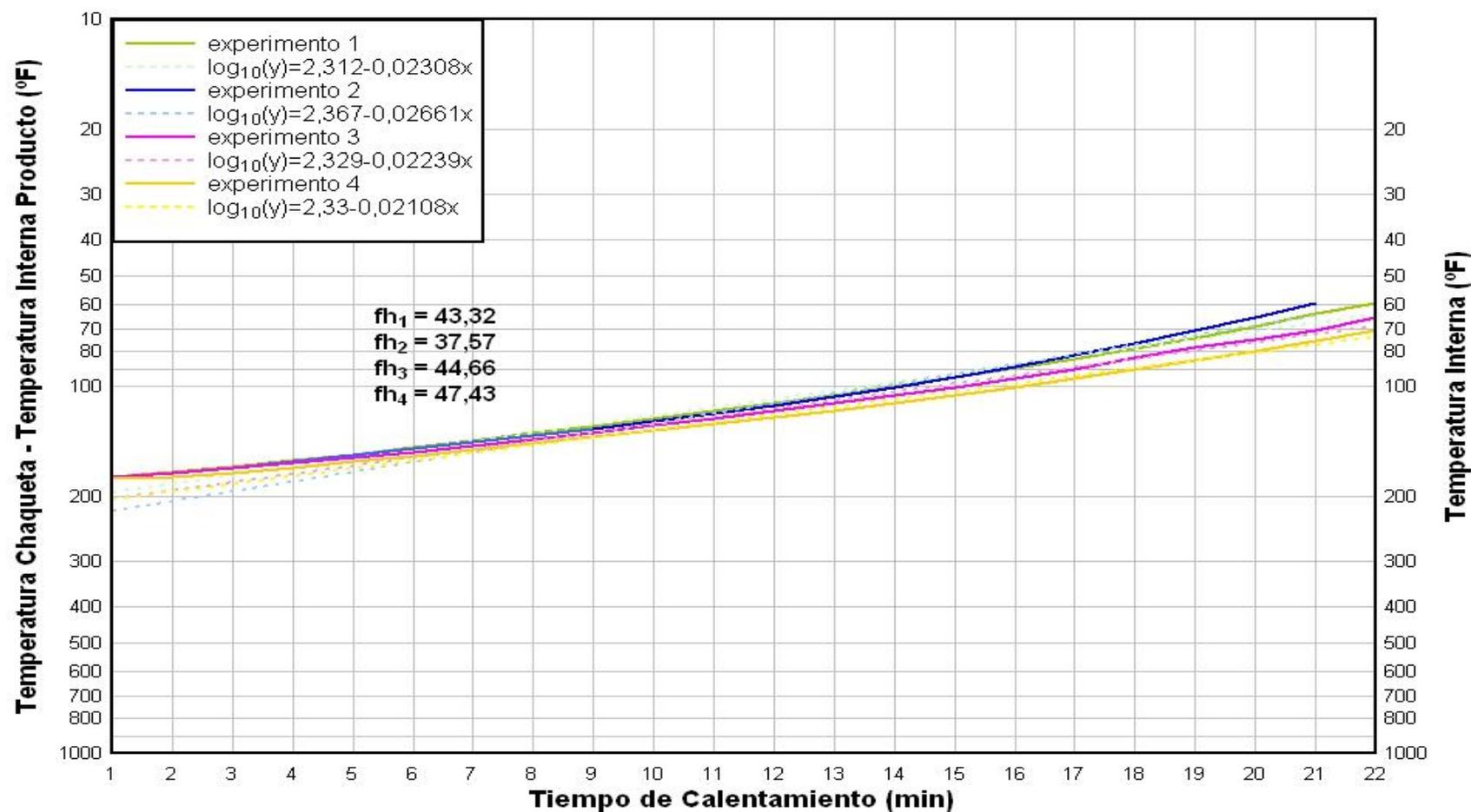


Figura 3.15: Curvas de penetración de calor, calentamiento de 880 Kg de pulpa de naranjilla en tanque enchaquetado.

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce (2011).

La figura 3.15, muestra las curvas de calentamiento y sus respectivas linealizaciones, para los datos obtenidos de la pasteurización de 880 Kg de pulpa en el tanque enchaquetado de las 4 corridas experimentales realizadas, las curvas por separado se encuentran en los anexos 21, 22, 23.

Los parámetros de respuesta de temperatura f_h obtenidos, en cada experiencia fueron, experiencia 1 $f_h=43.32$, experiencia 2 $f_h=37.57$, experiencia 3 $f_h=44.66$ y experiencia 4 $f_h=47.43$.

Al realizar el análisis comparativo de los f_{h1} , f_{h2} , f_{h3} y f_{h4m} se denota que el valor mayor de f_h obtenido es el de la experiencia 4, lo que nos indica que la transferencia de calor para ese caso en particular fue la más lenta, basado en este hecho se puede estipular que el tiempo de calentamiento más crítico para llegar a la temperatura de proceso de 95 °C en el sistema es de 24 minutos.

Por tal motivo, debido a que la experiencia 4, es la más crítica de las experiencias realizadas, por lo que se tomara como base de análisis para la obtención de los parámetros de penetración de calor f_h , j_h , con el propósito de verificar el nivel de letalidad alcanzado F_T al finalizar el proceso de pasteurización de la pulpa a través del método de ball.

Cabe acotar que de las mediciones realizadas in situ para los perfiles de temperatura obtenidos se logro cumplir con el nivel de letalidad estipulado mínimo de 9.5 min en las 4 experimentaciones realizadas, valores que se pueden observar en la tabla 29 comparativa de letalidades.

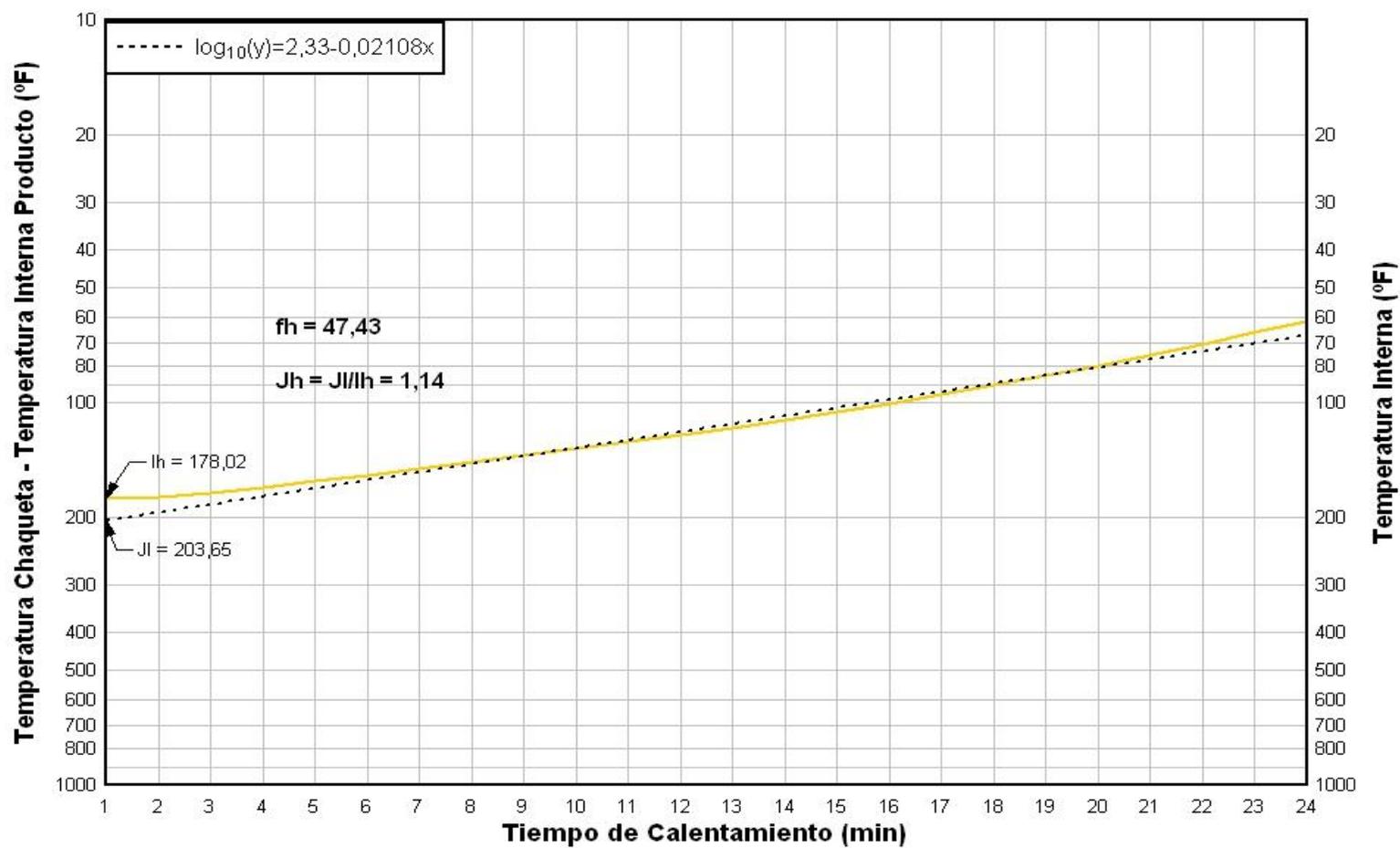


Figura 3.16: Curvas de penetración de calor, calentamiento de 880 Kg de pulpa de naranjilla en tanque enchaquetado.

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce (2011).

La figura 3.16 muestra la curva de calentamiento más crítica obtenida de las experiencias realizadas, de la misma se obtiene los parámetros de penetración de calor $f_h=47.43$ min y $J_h=1.14$, con los mismos y considerando una temperatura de producto inicial crítica 29 °C, se obtiene una curva de calentamiento que se detalla en la tabla # 21.

Tabla # 21
Curva de Calentamiento

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°F)	
1	0,0210837	68,91305748
2	0,0421674	78,06295575
3	0,06325111	86,77926365
4	0,08433481	95,08252793
5	0,10541851	102,99232168
6	0,12650221	110,52729044
7	0,14758592	117,70519624
8	0,16866962	124,54295936
9	0,18975332	131,05669832
10	0,21083702	137,26176778
11	0,23192073	143,17279480
12	0,25300443	148,80371332
13	0,27408813	154,16779695
14	0,29517183	159,27769032
15	0,31625553	164,14543887
16	0,33733924	168,78251722
17	0,35842294	173,19985623
18	0,37950664	177,40786881
19	0,40059034	181,41647439
20	0,42167405	185,23512236
21	0,44275775	188,87281434
22	0,46384145	192,33812536
23	0,48492515	195,63922412
24	0,50600886	198,78389222

25	0,52709256	201,77954251
26	0,54817626	204,63323656
27	0,56925996	207,35170133
28	0,59034366	209,94134497
29	0,61142737	212,40827200
30	0,63251107	214,75829765

Elaborado por: Sócrates Palacios P. (2011)

Con las temperaturas obtenidas del cálculo minuto a minuto con los parámetros de penetración de calor del producto en la tabla # 21, aplicando el método general con un valor de $z = 11,6^{\circ}\text{C}$ y una temperatura de referencia de 95°C , se obtiene niveles de letalidades promedios que se detalla en la tabla # 22.

Tabla # 22
Letalidad Promedio a través del Método de General

Tiempo	Temperatura	Letalidad	Letalidad Promedio
1	68,91305748	3,786269865E-07	0,000000708586
2	78,06295575	0,000001039	0,000001877094
3	86,77926365	0,000002716	0,000004750235
4	95,08252793	0,000006785	0,000011508192
5	102,99232168	0,000016232	0,000026745245
6	110,52729044	0,000037259	0,000059741581
7	117,70519624	0,000082224	0,000128499532
8	124,54295936	0,000174775	0,000266616952
9	131,05669832	0,000358459	0,000534523013
10	137,26176778	0,000710587	0,001037133358
11	143,17279480	0,001363680	0,001950550001
12	148,80371332	0,002537420	0,003560965295
13	154,16779695	0,004584510	0,006319329598
14	159,27769032	0,008054149	0,010915490563
15	164,14543887	0,013776832	0,018375285232

16	168,78251722	0,022973738	0,030183357896
17	173,19985623	0,037392978	0,048433219724
18	177,40786881	0,059473462	0,076004253853
19	181,41647439	0,092535046	0,116763070505
20	185,23512236	0,140991095	0,175783978252
21	188,87281434	0,210576861	0,259580578286
22	192,33812536	0,308584295	0,376337876424
23	195,63922412	0,444091458	0,536132130024
24	198,78389222	0,628172802	0,751124174655
25	201,77954251	0,874075547	1,035711427060
26	204,63323656	1,197347307	1,406624274058
27	207,35170133	1,615901241	1,882954168342
28	209,94134497	2,150007096	2,486103391962
29	212,40827200	2,822199688	3,239649947288
30	214,75829765	3,657100206	1,828550103222
		F _T	14,293129676027

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce (2011).

Con el análisis realizado a los parámetros de penetración de calor se obtiene un perfil de letalidades que al cabo de 30 minutos acumulan un valor de letalidad $F_T=14.29$ min, lo cual es un indicativo que se cumple con el F_T mínimo estipulado de 9.5 min y con lo cual se concluye que existe un sobre procesamiento del producto.

Con los perfiles obtenidos en la figuras 3.13 y 3.14 etapa de calentamiento y enfriamiento respectivamente, desde el punto de vista estadístico, sin que este tenga relevancia en la validación del tratamiento térmico, se realiza un análisis de varianza con miras a obtener modelos puntuales de los mismos que se detallan en las tablas #23, #24, #25 y #26.

Tabla # 23
Análisis de Regresión Lineal para Curvas de Calentamiento
Pulpa de Naranja

Análisis de Regresión - Modelo Lineal $Y = a + b \cdot X$				

Variable dependiente: temperaturas calentamiento				
Variable independiente: tiempos				

Parámetro	Error Estimación	Estadístico estándar	T	P-Valor

Ordenada	26,7243	0,565202	47,2827	0,0000
Pendiente	3,02497	0,0406096	74,4891	0,0000

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce.

Tabla # 24
Tabla Anova Ecuacion Curva de Calentamiento Pulpa de Naranja

Análisis de la Varianza					

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor

Modelo	38986,2	1	38986,2	5548,62	0,0000
Residuo	639,391	91	7,02628		

Total (Corr.)	39625,6	92			

Coeficiente de Correlación = 0,991899					
R-cuadrado = 98,3864 porcentaje					
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 98,3687 porcentaje					
Error estándar de est. = 2,65071					
Error absoluto medio = 2,13761					
Estadístico de Durbin-Watson = 0,0537149 (P=0,0000)					
Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,934133					

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce.

El análisis de los datos de los perfiles tiempo y temperatura que se detallan en las tablas #23, muestra los resultados de ajuste a un modelo lineal de primer orden, para describir la relación entre la temperatura de calentamiento y tiempos, en las corridas experimentales con pulpa de naranja, por lo que

la ecuación obtenida del ajuste realizado para esta etapa del procesamiento térmico del producto para las condiciones experimentadas es:

$$T^{\circ} = 26,7243 + 3,02497 * \text{tiempos}$$

Acorde al análisis de varianza de la tabla anova #24, se puede concluir, que el P-valor es inferior a 0.01, por lo que hay relación estadísticamente significativa entre temperaturas de calentamiento y tiempos para un nivel de confianza del 99%, y cuyo valor de R-cuadrado indica que la ecuación explica un 98,3854% de la variabilidad en temperaturas de calentamiento.

Para la etapa de enfriamiento, se realiza un análisis similar a la etapa de calentamiento, el cual se detalla a continuación:

Tabla # 25
Análisis de Regresión Polinomial para Curvas de Enfriamiento
Pulpa de Naranja

Análisis de Regresión Polinomial				
Variable dependiente: Temperaturas de Enfriamiento				
Parámetro	Error Estimación	Estadístico Estándar	T	P-Valor
CONSTANTE	-312,942	253,733	-1,23335	0,2188
Tiempos	60,2018	29,1019	2,06866	0,0398
Tiempos ²	-3,18071	1,35419	-2,3488	0,0198
Tiempos ³	0,0804316	0,0327519	2,45578	0,0149
Tiempos ⁴	-0,00108086	0,000434743	-2,4862	0,0137
Tiempos ⁵	0,00000745219	0,00000300704	2,47825	0,0140
Tiempos ⁶	-2,07661E-8	8,47954E-9	-2,44897	0,0152

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce.

Tabla # 26
Tabla Anova Ecuación Curva de Enfriamiento Pulpa de Naranja

Análisis de la Varianza					
Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F-Ratio	P-Valor
Modelo	66282,7	6	11047,1	3195,62	0,0000
Residuo	722,504	209	3,45696		
Total (Corr.)	67005,2	215			

R-cuadrado = 98,9217 porcentaje
R-cuadrado (ajustado para d.f.) = 98,8908 porcentaje
Error Estándar de la Est. = 1,85929
Error absoluto medio = 1,40777
Estadístico Durbin-Watson = 0,154953 (P=0,0000)
Auto correlación de residuos en Lag 1 = 0,917565

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce.

El análisis de los datos de la tabla # 25, muestra los resultados de ajuste a un modelo polinomial de sexto orden para describir la relación entre la temperatura de enfriamiento y tiempos en las corridas experimentales con pulpa de naranja, por lo que la ecuación del ajuste realizado para esta etapa del procesamiento térmico del producto es:

$$T^{\circ} = -312,942 + 60,2018 \cdot X - 3,18071 \cdot X^2 + 0,0804316 \cdot X^3 + 0,00108086 \cdot X^4 + 0,00000745219 \cdot X^5 - 2,07661 \cdot 10^{-8} \cdot X^6$$

Acorde al análisis de varianza de la tabla anova #26, se puede concluir, que el P-valor de la tabla anova es inferior a 0.01, por lo que hay relación estadísticamente significativa entre temperaturas de enfriamiento y tiempos para un nivel de confianza del 99% y cuyo valor de R-cuadrado indica que la ecuación explica un 98,9217% de la variabilidad en temperaturas de enfriamiento.

Para definir si las corridas experimentales con pulpa de naranja difieren una de otra estadísticamente, se realiza un análisis de varianza entre las

variables (tiempo –temperatura) de cada corrida experimental, de donde se obtienen los siguientes resultados que se detallan a continuación:

Tabla # 27

Tabla Anova Tratamiento Térmico 880 Kg de Pulpa de Naranja

Tabla ANOVA para Temperaturas según experimentos					
Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de Cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	154,167	3	51,3891	0,1045	0,9574
Intra grupos	165615,0	337	491,438		
Total (Corr.)	165769,0	340			

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce.

Del análisis de varianza realizado para los datos de las temperaturas obtenidos de los tratamientos térmicos para la pulpa (tabla # 27), el P valor obtenido del test F es superior a 0,05 es decir un valor de $P= 0,9574$, por lo que se puede afirmar que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las temperaturas medias de un nivel de experimentos a otro, para un nivel de confianza del 95 %.

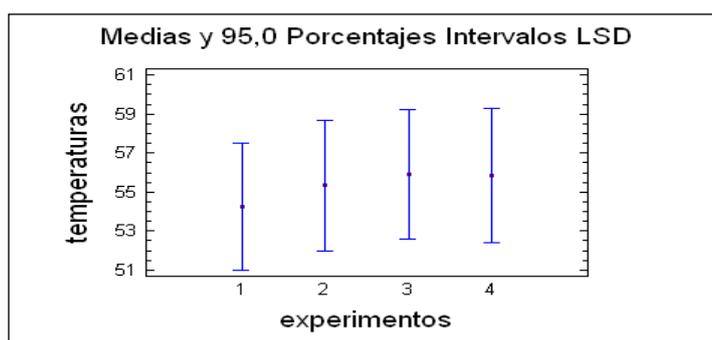


Figura 3.17: Temperaturas medias tratamiento termico de pulpa naranja
Elaborado por: Sócrates Palacios P.

La figura muestra las temperaturas medias obtenidas en las corridas experimentales con pulpa de naranjilla, datos que son base para realizar un análisis de contraste de las misma que se detalla en la tabla 28.

Tabla # 28
Contraste Múltiple de Rango para Tratamiento Térmico de
880 Kg Pulpa de Naranjilla

Contraste Múltiple de Rango para Temperaturas según experimentos			
Método: 95,0 porcentaje LSD			
Experimentos	Frec.	Media	Grupos homogéneos
1	90	54,27	X
2	84	55,325	X
4	81	55,8617	X
3	86	55,9221	X
Contraste	Diferencias		+/- Límites
1 - 2	-1,055		6,61546
1 - 3	-1,65209		6,57555
1 - 4	-1,59173		6,67852
2 - 3	-0,597093		6,68931
2 - 4	-0,536728		6,79056
3 - 4	0,0603646		6,75169

* indica una diferencia significativa.

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce.

Acorde al análisis de la diferencia estimada entre cada una de las temperaturas medias en las 4 experiencias realizadas (tabla # 28), no hay diferencias estadísticamente significativas entre ningún par de medias para un nivel de confianza 95,0%.

En la parte superior de la tabla, se identifica un grupo homogéneo según la alineación del signo X en la columna, dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas.

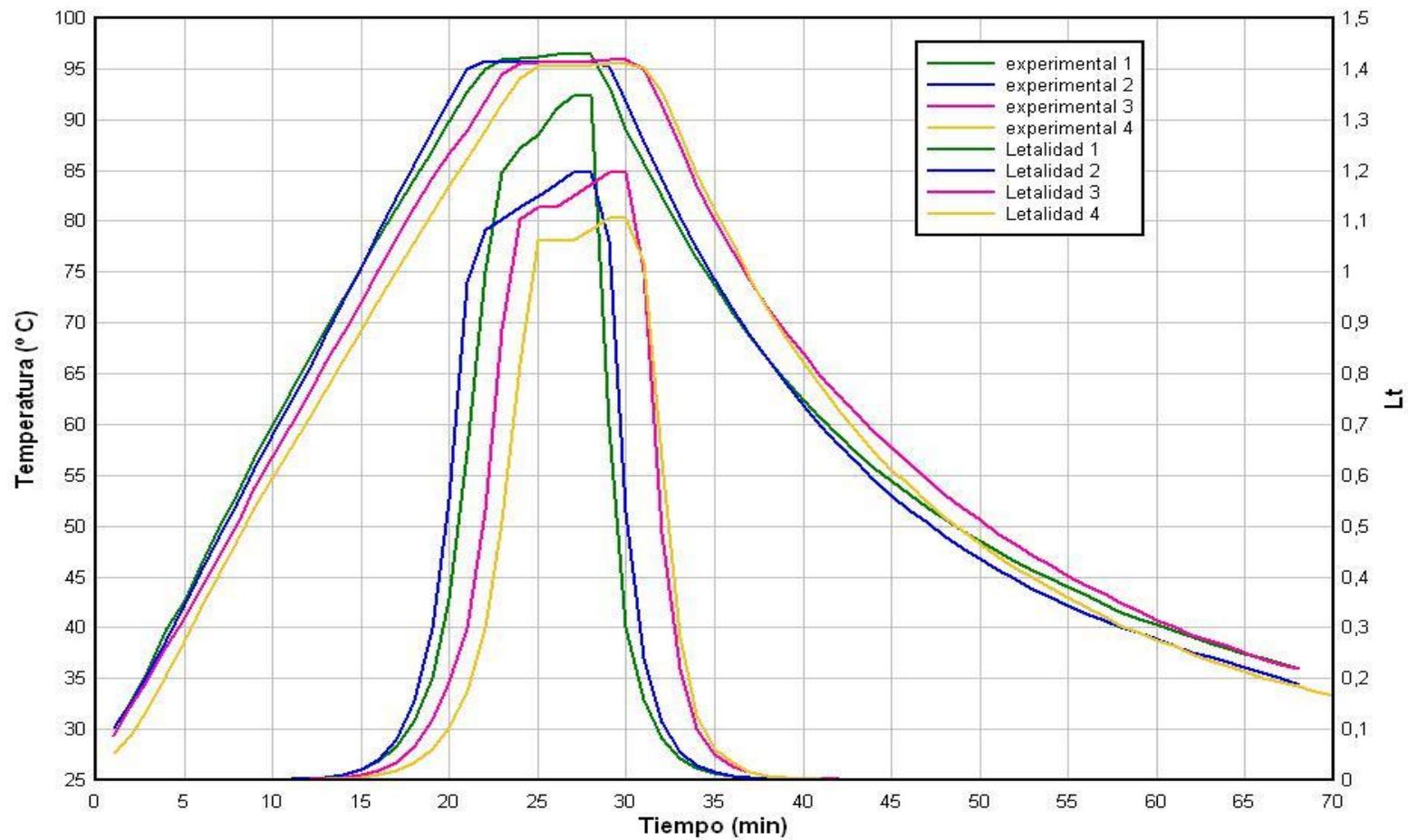


Figura 3.18: Grafica de Temperaturas y Letalidades vs. Tiempo de pulpa Naranja en Tanque Enchaquetado
Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce.

Tabla # 29

Tabla de Letalidad F_T Teórico vs. F_T Real

	Temperatura	Tiempo	F_T Teórico	F_T Real
	Calentamiento y Retención	Retención		
Experimental 1	95 °C	7 min	9,5	10,19
Experimental 2	95 °C	7 min	9,5	10,17
Experimental 3	95 °C	7 min	9,5	10,25
Experimental 4	95 °C	7 min	9,5	9,54

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce.

La tabla # 29 muestra los valores de letalidades alcanzado al final de la etapa de retención en cada una de las experiencias realizada, misma que detalla el cumplimiento de la letalidad objetivo planteada para las esporas del Alicyclobacillus acidoterrestri alcanzando una letalidad real $F_T= 10$ en tres de las cuatro experiencia.

Considerando el análisis realizado con los parámetros de penetración de calor f_h y j_h de la cual se obtuvieron los valores de las tablas #21 y #22, se puede estipular que para la experiencia más crítica de calentamiento con pulpa obtenida (experimental 4), trabajando operativamente el tanque con un tiempo de 24 min de calentamiento mas los 7 minutos de retención, se cumple el nivel de letalidad mínimo estipulado.

Con los perfiles de letalidades obtenidos a lo largo del tratamiento térmico los cuales se detallan en los apéndices 5, 6, 7,8, se realiza un análisis de varianza que se detalla en la tabla #30.

Tabla # 30

Tabla Anova Letalidades Corridas Experimentales

Tabla ANOVA para Letalidades según experimentos					
Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	GI	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0,118647	3	0,0395489	0,29	0,8311
Intra grupos	37,9053	280	0,135376		

Total (Corr.)	38,0239	283
----------------------	----------------	------------

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce.

Del análisis de varianza realizado para las letalidades obtenidas en la etapa de calentamiento y retención en la tabla # 30, el P valor obtenido del test F es superior a 0.05 es decir un valor de $P = 0.8311$, por lo que se puede afirmar que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las letalidades medias de un nivel de experimentos a otro, para un nivel de confianza del 95 %.

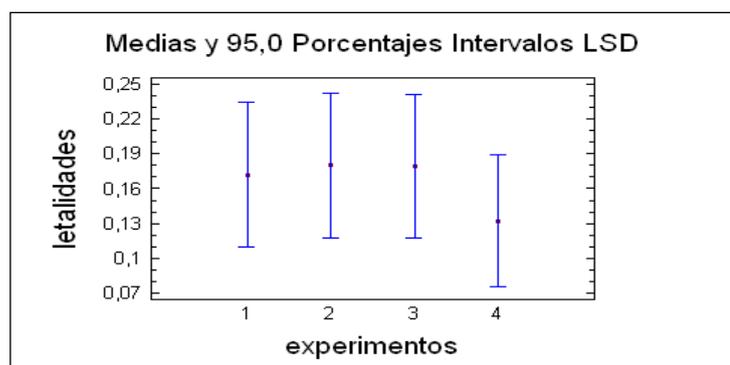


Figura 3.19: Letalidades medias tratamiento termico pulpa naranjilla
Elaborado por: Socrates Palacios P.

La figura 3.17, muestra las letalidades medias obtenidas en las corridas experimentales con pulpa de narajilla, datos base para realizar un analisis de contraste de las mismas.

Tabla # 31

Contraste Múltiple de Rango para Letalidades

Contraste Múltiple de Rango para Letalidades según experimentos			
Método: 95,0 porcentaje LSD			
Experimentos	Frec.	Media	Grupos homogéneos
4	81	0,13227	X
1	67	0,172121	X
3	68	0,178988	X
2	68	0,180009	X
Contraste	Diferencias		+/- Límites
1 - 2	-0,00788756		0,124674
1 - 3	-0,00686721		0,124674
1 - 4	0,0398507		0,119606
2 - 3	0,00102036		0,124211
2 - 4	0,0477383		0,119123

3 - 4	0,046718	0,119123

* indica una diferencia significativa.		

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce.

Acorde al análisis de la diferencia estimada entre cada una de las letalidades medias (tabla 31), en las 4 experiencias realizadas, no existe diferencias estadísticamente significativas entre ningún par de medias para un nivel de confianza 95,0%.

En la parte superior de la tabla # 31, se identifica un grupo homogéneo según la alineación del signo X en la columna, dentro de cada columna, los niveles que tienen signo X forman un grupo de medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas.

Con los resultados de letalidad alcanzado y con el análisis realizado de letalidades a los 4 procesos térmicos de las corridas experimentales hechas con pulpa de naranjilla, se puede concluir que los mimos cumplen con un nivel de letalidad mínimo $F_T = 9.5$ min, no evidenciándose estadísticamente diferencia entre los perfiles obtenidos por lo que se garantiza la pasteurización comercial del producto en el recipiente enchaquetado implementado, con 24 minutos de calentamiento mas 7 minutos de retención a 95 °C, partiendo de una pulpa con 29 °C, 6.34°Brix y una consistencia de 11.75 cm/seg.

3.3 Resultados microbiológicos

Una vez finalizada la etapa de incubación de las muestras sembradas bajo los métodos mencionados en el capítulo 2.1, se realizó un conteo de las mismas en un contador de colonias con lupa (marca gerber), obteniéndose los resultados que se detallan en tabla #32.



Figura 3.20: Contador de Colonias
Elaborado por: Socrates Palacios P.

Para las 4 corridas experimentales realizadas con pulpa de naranjilla, el conteo inicial para aerobios mesofilos, mohos y levaduras presentan un comportamiento similar es decir, en promedio un valor de 100 UFC/10 gr, se evidencian 2 corridas experimentales (corrida experimental #2 y #3) que presentan incidencia de acidez láctica, y en ninguna de las experiencias se detectó presencia de coliformes totales en el producto. (ver tabla #32).

Tabla # 32

Resultados de Pruebas Microbiológicas

Corridas Experimentales	Toma de Muestra	Aerobios Totales UFC/10 g	Coliformes Totales UFC/10 g	Mohos y Levaduras UFC/10 g	Acido Láctico UFC/10 g
# 1	A1	120	0	50	0
	B1	0	0	0	0
# 2	A2	130	0	130	100
	B2	0	0	0	0
# 3	A3	100	0	120	50
	B3	0	0	0	0
# 4	A4	60	0	60	0
	B4	0	0	0	0

A: Muestra Sin Pasteurizar; **B:** Muestra Pasteurizada a 95 °C.

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce.

En referencia al tratamiento térmico implementado se concluye que los parámetros valorados en las pruebas microbiológicas para la pulpa de naranjilla, con un tratamiento térmico de 95 °C con 7 minutos de retención disminuyen la presencia de los mismos a niveles iguales a 0, evidenciándose

así que el tratamiento térmico garantiza un producto desde el punto de vista de inocuidad, apto para consumo humano.

3.4 Análisis de varianza de dos vías para pruebas de aceptabilidad de los productos obtenidos experimentalmente.

Las puntuaciones obtenidas por parte de los jueces (30 personas) en las degustaciones, se detallan en la siguiente figura 3.21.

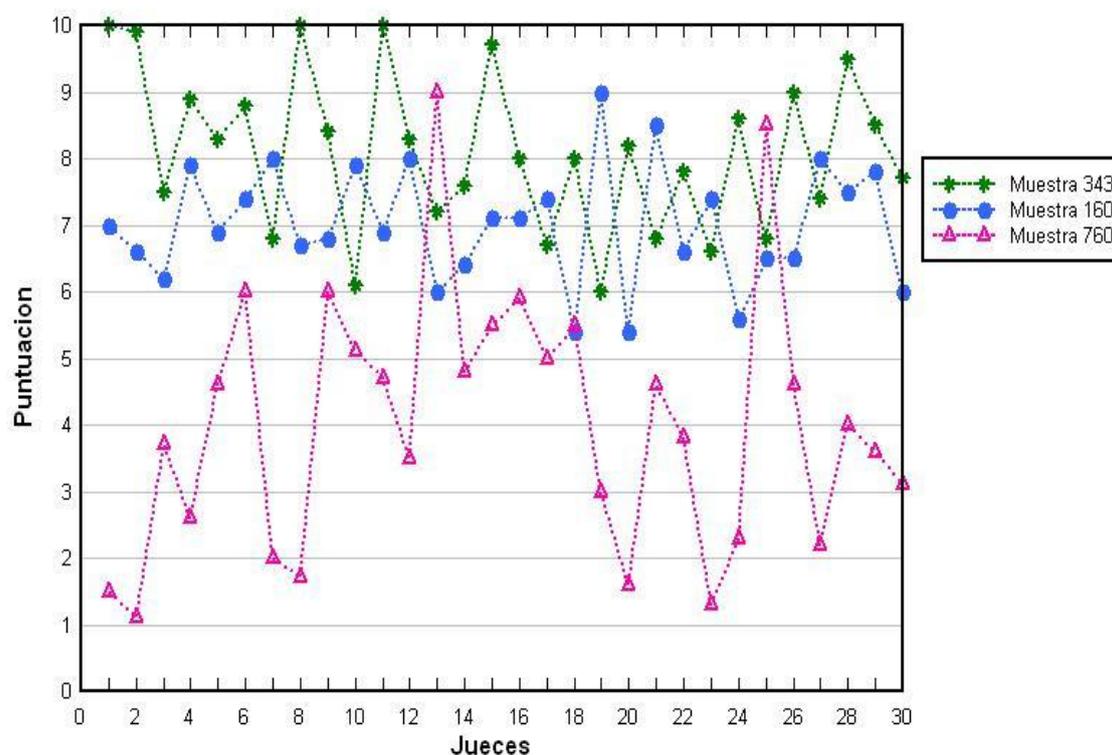


Figura 3.21: Puntuación de muestras evaluadas.
Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce.

La figura 3.21, detalla que la muestra 343 perteneciente a las corridas experimentales y la muestra 160 perteneciente a una marca de mercado local presentan un nivel de agrado mayor respecto de la muestra 760 cuya marca se comercializa en el mercado local también.

Con las puntuaciones obtenidas en las degustaciones se procede a realizar un análisis de varianza para las mismas, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla # 33
Tabla Anova Puntuaciones de Muestras

Tabla ANOVA para puntuación según muestras					
Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	GI	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	267,402	2	133,701	65,54	0,0000
Intra grupos	177,49	87	2,04011		
Total (Corr.)	444,892	89			

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce.

Del análisis de varianza realizado para las puntuaciones de las muestras obtenidas de la degustación de los productos tabla # 33, el P valor obtenido del test F es inferior a 0.05 es decir un valor de $P= 0.000$, por lo que se puede afirmar existe diferencia estadísticamente significativa entre las puntuaciones medias de un nivel de muestras a otro, para un nivel de confianza del 95 %.

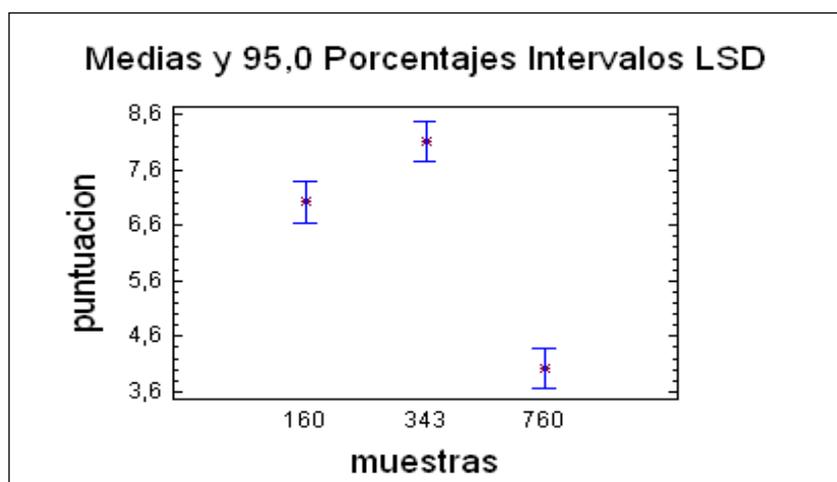


Figura 3.22: Puntuaciones medias evaluación sensorial muestras
Elaborado por: Socrates Palacios P.

La figura 3.22, muestra las puntuaciones medias obtenidas en las evaluaciones sensoriales a 3 muestras de jugo de naranjilla, datos que son base para realizar un análisis de contraste de las misma, el cual se detalla en la siguiente tabla.

Tabla # 34
Contraste Múltiple de Rango para Puntuaciones por Muestra

Contraste Múltiple de Rango para puntuación según muestras			
Método: 95,0 porcentaje LSD			
Muestras	Frec.	Media	Grupos homogéneos
760	30	4,02667	X
160	30	7,01667	X
343	30	8,10333	X
Contraste	Diferencias		+/- Límites
343 - 160	*1,08667		0,733016
160 - 760	*2,99		0,733016
343 - 760	*4,07667		0,733016

* indica una diferencia significativa.

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce (2011).

La parte superior de la tabla # 34, detalla de menor a mayor cuales fueron las muestras más agradables según los criterios de los jueces siendo la más agradable la muestra 343.

Al realizar el análisis comparativo de los límites con las diferencias podemos inferir que las 3 diferencias son mayores que sus límites por lo tanto se considera que las medias son diferentes.

El asterisco que se encuentra al lado de los valores de las diferencias, indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95,0%.

Por lo tanto en la tabla # 34, se aprecia que la muestra 343 (corridas experimentales) es significativamente más agradable que la muestra 160 (maraca comercial local) y la muestra 760 (marca comercial local) y a su vez la muestra 160 es significativamente más agradable con respecto a la 760.

Así mismo se realizó un análisis para comparar las opiniones de los jueces con miras a verificar si es que existe congruencia entre el criterio de los jueces obteniéndose en la tabla 34.

Tabla # 35
Tabla Anova Puntuaciones de Jueces

Tabla ANOVA para puntuación según jueces					
Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de Cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	38,4316	29	1,32523	0,20	1,0000
Intra grupos	406,46	60	6,77433		
Total (Corr.)	444,892	89			

Del análisis de varianza realizado para las puntuaciones de los jueces obtenidas de la degustación de los productos tabla # 35, el P valor obtenido del test F es superior a 0,05 es decir un valor de $P= 1,00$, por lo que se puede afirmar no existe diferencia estadísticamente significativa entre las puntuaciones medias de un nivel de jueces a otro, para un nivel de confianza del 95 %.

3.5 Estimación de costo de proceso de pasteurización.

La estimación del costo del proceso se realizó en base a 3 elementos los cuales son: mano de obra, materia prima (fruta procesada) y costos energéticos. Se tomaron las siguientes consideraciones para la estimación del mismo:

- El rendimiento de materia prima, para el cual se estipula acorde a pruebas de laboratorio un 60%.
- La dotación asignada y Kg/hora obtenidos por lote de producción.
- El consumo de los fluidos de servicio vapor y agua además del consumo de energía eléctrica de los equipos auxiliares.

Acorde a la información puesta disposición se estima que el Kilo de fruta pre procesada es decir fruta entera convertida a pulpa, sin tratamiento térmico esta alrededor de \$1.34/kilo, en base a un costo de fruta al granel de \$0.75/kilo. Con respecto al rubro mano de obra y velocidad de corrida, en las validaciones para el sistema implementado se obtuvieron 300 Kg/h de producto pasteurizado con 2 personas, con lo cual se incurre en 5.87 HH/lote procesado.

El consumo estimado de vapor y agua por lote de producción, se detalla a continuación.

Consumo de Vapor.

En base a lo manifestado en el epígrafe 2.5.1, el balance energético para determinar el consumo de vapor sería:

$$Q_{cedido\ vapor} = Q_{producto} + Q_{pared1} + Q_{pared2} + Q_{aislamiento} + Q_{conveccion} + Q_{radiacion}$$

1.-Calor por calentamiento de producto.

$$Q1 = m_p C_{p_p} \frac{(T_f - T_i)}{\Delta t}$$

$$Q1 = 880\text{Kg} \times 3,9693 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} \times ^\circ\text{C}} \times \frac{(95^\circ\text{C} - 29^\circ\text{C})}{24 \times 60} = 160,1\text{Kw}$$

2.-Calor almacenado en la primera pared del tanque

$$Q2 = \rho_{acero} C_{p_{acero}} V \frac{(T_f - T_i)}{\Delta t}$$

$$Q2 = 7900 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1\text{Kj}}{1000\text{J}} \times 477 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \times \text{K}} \times \pi \times (1,105^2 - 1,10^2) \text{m}^2 \times 1,47\text{m} \times \frac{(95 - 29)^\circ\text{C}}{24\text{min} \times 60\text{seg}}$$

$$Q2 = 8.79Kw$$

3.-Calor almacenado en la segunda pared del tanque

$$Q2 = \rho_{acero} C p_{acero} V \frac{(T_f - T_i)}{\Delta t}$$

$$Q2 = 7900 \frac{Kg}{m^3} \times \frac{1Kj}{1000J} \times 477 \frac{J}{Kg^{\circ}K} \times \pi \times (1,20^2 - 1,195^2) m^2 \times 1,47m \times \frac{(95 - 29)^{\circ}C}{24 \text{ min} \times 60 \text{ seg}}$$

$$Q2 = 9,55Kw$$

4.-Calor por conducción a través del aislamiento

$$Q3 = \frac{K_{aislante} \times (2\pi L) \times (T_f - T_i)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

$$Q3 = \frac{(95 - 35)^{\circ}C}{\frac{\ln\left(\frac{1,25}{1,20}\right)}{2 \times \pi \times 1,47m \times 0,03 \frac{W}{m^{\circ}K}}} = 407,26W \times \frac{1Kw}{1000W} = 0,40726Kw$$

5.-Calor por radiación al medio ambiente

$$Q4 = \varepsilon \times \sigma \times A_{exterior} \times (T_w^4 - T_a^4)$$

$$Q4 = 5,67 \times 10^{-8} \times 0,17 \times \pi \times 1,24 \times 1,47 \times (308^4 - 301^4) = 43.99W$$

$$Q4 = 43.99W \times \frac{1Kw}{1000W} = 0.04399Kw$$

6.-Calor por convección al medio ambiente

$$Q5 = h_{aire} \times A_{ext} \times (T_g - T_w)$$

$$Q5 = 6,21 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \times \pi \times 1.,25m \times 1,47m \times (95 - 30)^\circ C = 2367W$$

$$Q5 = 2367W \times \frac{1Kw}{1000W} = 2.367Kw$$

Masa de vapor requerido

$$m_v \times \lambda_v = Q1 + Q2 + Q3 + Q4 + Q5$$

$$m_v = \frac{160,1Kw + 9,55Kw + 0,407Kw + 0,043Kw + 2,367Kw}{2708 \frac{Kj}{Kg}}$$

Considerando para el equipo un tiempo de calentamiento promedio de 24 minutos es decir 1440 seg.

$$m_v = \frac{172,46Kw}{2708 \frac{Kj}{Kg}} = 0,0636 \frac{Kg}{s} \times 1440s = 91,58Kg \times \frac{2.2lb}{1Kg} = 201,48lb$$

$$m_v = 91,58Kg = 201,48lb$$

Cabe mencionar que para la estimación de costo se deberá considerar los datos de placa del sistema generador de vapor (caldera).

Tabla # 36

Datos Placa de Caldera

Caldera	500 BHP
Consumo	140 gph
Generación	20700 Lb/h

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce

Con los datos manifestados en la tabla # 36, se puede determinar una relación generación/consumo que es igual a 147,85 lb de vapor generado/galón de bunker consumido o 67,20 Kg de vapor/galón de bunker consumido. Se deberá considerar también para dicha estimación que el costo del bunker puesto en planta que es de \$0,74/galón.

Consumo de agua.

Durante las corridas experimentales se realizaron mediciones de flujo del agua de enfriamiento que ingreso al sistema, cuyos datos se resumen en la tabla 37.

Tabla # 37

Caudales de Agua de Enfriamiento

Mediciones	M3/H
# 1	4,95
# 2	4,98
# 3	4,97
# 4	4,99

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce

Basado en los datos obtenidos de las mediciones realizadas se considera que el flujo de agua al interior de la chaqueta con una temperatura de 30 °C será de 5 m³/h. Para la estimación de costo se debe considerar, que el m³/h incurrido actualmente es \$0,38/m³.

Por lo tanto para un lote de producción se estima que la masa de vapor requerida es 91,58 kg o 201,48 lb y la cantidad de agua estimada es 5 m³ de agua a 30°C. El consumo estimado de energía en el que incurren los equipos auxiliares por funcionamiento del sistema, se detallan en la tabla 38.

Tabla # 38
Consumo de Energía Equipos Auxiliares

Equipo	Potencia		Tiempo Operación		Consumo Kw -H/ lote
Motor agitador	2	Hp	2	h	2,9416
Bomba carga	2	Hp	0,25	h	0,3677
Bomba de descarga	5	Hp	0,25	h	0,91925

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce

Una vez estipulado y definido el consumo tanto de materia prima, mano de obra y costos energéticos se procedió a estimar el costo de producción del proceso de pasteurización el cual se detalla en la tabla 39.

Tabla # 39
Costo Estimado de Proceso de Pasteurización

Elementos del Costo	Unidad de Medida	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
Materia Prima (Pulpa de Naranja)	Kg	880	1,34	1179,20
Mano de Obra	HH	5,57	2,8	15,60
Consumo Energético				
Agua	m3	5	0,38	1,90
Vapor	Kg	83,84	0,011	0,92
Electricidad	Kw-H	4,22855	0,073	0,31
Mantenimiento	H	0,00606	2,8	0,017
Depreciación	\$			0,36
			\$/Batch	1198,30
			\$/Kilo	1,36
			\$/Funda 250g.	0,34

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce

La tabla # 39, nos indica que el costo del producción del proceso de pasteurización por kilo es de \$ 1.36, por lo tanto el costo del producto en fundas de 250 gr hasta esta etapa del proceso será de \$0.34/unidad.

Cabe considerar que para la estimación del costo de producción se consideró las paradas por mantenimiento (16 horas anuales) y los costos de depreciación del equipo.

3.6 Análisis del ahorro energético al utilizar el sistema de enfriamiento sugerido.

Previo al análisis del ahorro de energía se calculara el tiempo de enfriamiento para un sistema encaquetado de similares características al validado, la cual define el número de lotes a producir por jornada de trabajo, esto basado en el análisis de las validaciones realizadas para esta etapa, que es la que más tiempo demanda en el proceso.

Tiempo estimado de enfriamiento con agua a 15 °C

$$\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_2 - t_1)} = \frac{W.C}{M.c} \left[\frac{K_2 - 1}{K_2} \right] \theta; K_2 = e^{U.A/w.c} \quad (10)$$

$$K_2 = e^{\left(\frac{227,94 \frac{BTU}{h \times ft^2 \times ^\circ C} \times 49,21 ft^2}{1091281 \frac{lb}{h} \times 0,9478 \frac{BTU}{lb \times ^\circ C}} \right)} = 2,8031$$

$$\theta = \left(\frac{\ln \frac{(203^\circ F - 82.4^\circ F)}{(86^\circ F - 82.4^\circ F)}}{\frac{10912,81 \left(\frac{lb}{h} \right) \times 0,9978 \left(\frac{BTU}{lb \times ^\circ F} \right)}{1936(lb) \times 0,9478 \left(\frac{BTU}{lb \times ^\circ F} \right)} \times \left(\frac{2,8031 - 1}{2,8031} \right)} \right)$$

$$\theta = 0,4385h = 26,3 \text{ min}$$

El calor ha extraer de la pulpa a enfriar, disminuyendo la temperatura de 95° a 30°, al realizar un enfriamiento en 26 minutos es:

$$Q1 = m_p C p_p (T_f - T_i)$$

$$Q1 = 880Kg \times 3,9693 \frac{Kj}{Kg \times ^\circ C} \times (95^\circ C - 30^\circ C) = 227043Kj$$

Con el cálculo estimado usando agua a 15 °C se propone disminuir la tasa de enfriamiento en un 50%, por lo que la cantidad de calor total a extraer en 26 minutos es:

$$Q_{Total.Extraer} = \frac{Q1}{t} = \frac{227043Kj}{26 \text{ min} \times 60 \text{ seg}} = 145.5Kw$$

Al relacionar el calor total a extraer de 145.5 Kw con la capacidad de refrigeración de 320 Kw del compresor, se obtiene que el porcentaje de utilización del mismo para extraer el calor del producto es del 32%, como el compresor es de 3 cámaras puede trabajar al 33%, 67% o 100% de su capacidad, por lo que compresor bajo los cálculos obtenidos, estaría trabajando a un 33% de su capacidad así pues, el consumo eléctrico del mismo resulta del producto entre la potencia eléctrica instalada y el % de utilización del mismo $0.33 \times 150 \text{ hp} = 49.5 \text{ hp}$, traduciendo a costos quedaría:

$$49.5 \text{ hp} \times \frac{0.735499Kw}{1 \text{ hp}} \times \frac{\$0.073}{1 \text{ kw-h}} = 2.75 \frac{\$}{h} \times \frac{25 \text{ min}}{\text{lote}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = \$1.14$$

Con la capacidad frigorífica disponible, que no está siendo utilizada, se podrá realizar la conexión del tanque enchaquetado al sistema de agua helada de la línea de pulpas asépticas para aprovechar el actual sobredimensionamiento del chiller. Por lo que el consumo estimado de energía en el que incurren los equipos auxiliares por funcionamiento del sistema recomendado, se detallan en la tabla 40.

Tabla # 40

Consumo de Energía Equipos Auxiliares por Mejoras

Equipo	Potencia		Tiempo		Consumo Kw -H/ lote
			Operación		
Motor agitador	2	Hp	1,41	h	2,074
Bomba carga	2	Hp	0,25	h	0,3677
Bomba de descarga	5	Hp	0,25	h	0,91925
Motor Compresor	49,5	Hp	0,43	h	15,65

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce

Los costos de mano de obra y materia prima, mantenimiento y depreciación del equipo se mantienen en conjunto, con los costos energéticos para el sistema recomendado de enfriamiento, se procede a estimar el costo de producción del proceso de pasteurización el cual se detalla en la tabla # 41.

Tabla # 41

Costo Estimado de Proceso de Pasteurización con Mejoras

Elementos del Costo	Unidad de Medida	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
Materia Prima (Pulpa de Naranja)	Kg	880	1,34	1179,2
Mano de Obra	HH	5,57	2,8	15,596
Consumo Energético				
Agua	m3	5	0	0
Vapor	Kg	94,51	0,011	1,03961
Electricidad	Kw-H	3,36	0,073	0,24528
Electricidad	Kw-H	15,65	0,073	1,142
Mantenimiento	H	0,00606	2,8	0,017
Depreciación	\$			0,36
			\$/lote	1196,46
			\$/Kilo	1,360
			\$/Funda 250g.	0,3399

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce

Con la implementación del sistema de enfriamiento independiente acorde a la estimación de costo no se altera el precio por lote producido. La verdadera ganancia del uso del sistema, es que se puede ser más productivo al bajar el tiempo por lote de trabajo tal como se manifiesta en las tablas # 42 y #43.

Tabla # 42

Comparativo Tiempos de Proceso Producción

	Tiempos (h) Sin Mejora	Tiempos (h) Con Mejora
Carga	0,25	0,25
Calentamiento	0,37	0,37
Retención	0,12	0,12
Enfriamiento	0,92	0,43
Descarga	0,25	0,25
Totales	1,9	1,417

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce

Tabla # 43

**# Estimado de Lotes por Implementación
Sistema Enfriamiento**

	# Lotes Producción Sin Mejora	# Lotes Producción Con Mejora
Turno	5,5	7,49
Día	11	14,98
Semana	55	74,9
Mes	220	299,6
Año	2640	3595,2

Elaborado por: Sócrates Palacios Ponce

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se pudo obtener 880 Kg pulpa de naranjilla pasteurizada con la instalación del sistema (tanque enchaquetado) en un línea de proceso, por lo cual se garantiza el tratamiento térmico para pulpas de frutas cuyos volúmenes de acaparamientos sean menores a 2 toneladas de fruta, en la empresa auspiciante de presente trabajo.
- La inversión inicial de \$3085 en el tanque enchaquetado evaluado, se justifica ya que con la misma se pudo poner operativo el sistema a un costo cuyo impacto es menor a la adquisición de un nuevo sistema.
- Con un tratamiento térmico a 95 °C y con un tiempo 31 minutos de los cuales 24 minutos son de calentamiento y 7 minutos de retención, permiten alcanzar un nivel de letalidad $F_T = 9.54$ min, logrando así cumplir el nivel de letalidad mínimo planteado $F_T = 9.5$ min para las esporas del Alicyclobacillus acidoterrestri, con lo que se garantiza un producto desde el punto de vista de calidad e inocuidad, apto para el consumo humano.
- De los análisis realizados a los perfiles de tiempo y temperatura obtenidos en la pulpa de naranjilla durante las corridas experimentales, se obtuvo una ecuación matemática lineal para la etapa de calentamiento y una ecuación matemática pilinomial de orden 6 para la etapa de enfriamiento, las mismas que explican un 98 % de la variabilidad en las temperaturas de las etapas de calentamiento y enfriamiento respectivamente.
- Las pruebas microbiológicas validan el procesamiento térmico de 880 Kg de pulpa de naranjilla en el sistema instalado, obteniéndose al final de las mismas valores de cero en el conteo de aerobios mesofilos, mohos y levaduras, coliformes totales y acidez láctica, todos estos indicativos de inocuidad de un producto.
- El costo estimado de producción del proceso de pasteurización por kilo de producto obtenido es de \$ 1.36, por lo tanto el costo del producto a

comercializar en fundas de 250 gr. hasta esta etapa del proceso es de \$0.34/unidad.

- Los valores obtenidos y analizados de las prueba de degustación demuestran que existe un nivel de aceptación mayor para la muestra 343 perteneciente a la empresa auspiciante del presente trabajo, en comparación a las 2 muestras de mercado local involucradas en la degustación.

RECOMENDACIONES

- Se tendría que evaluar y validar la utilización del sistema de pasteurización por lotes para el tratamiento térmico de pulpas de frutas con características físico químicas, reológicas y termodinámicas, similares a la pulpa de naranjilla es decir, pulpa de mora, mango, tomate de árbol y maracuyá.

BIBLIOGRAFÍA

1. HODGE W. (1974) *El lulo, una fruta andina poco conocida*. Revista de la Facultad Nacional de Agronomía. Medellín: 147-154. Vol. 7
2. PAZ R. (2003) *Cultivando Naranjilla junto al Parque Nacional Sumaco Napo-Galera*, Proyecto Gran Sumaco, Tena: 18-23.
3. OÑATE M. (2011) *Estudio del valor nutritivo de la naranjilla (Solanum quitoense Lam) deshidratada por microondas y por secador de bandeja*. Facultad de Ciencias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo: 23-24
4. TAMAYO A., BERNAL J., HINCAPIÉ M., (1999) *Frutales de clima frio moderado*. Rionegro Antioquía. Corpoica: 10.
5. ANDRADE F., CHONG L. (2001) *Exportación de Naranjilla en conserva hacia los Estados Unidos y su efecto en la economía ecuatoriana*. Facultad de Economía y Negocios. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil: 6-10.
6. HOLDSWORTH S., and SIMPSON R., (2007) *Thermal Processing of Package Foods*. New York. Springer: 12-14
7. SIMPSON R. (2009), *Engineering Aspects of Thermal Food Processing*. Boca Raton: 1-26. CRC Press.
8. SILVA F., and GIBSS P., (2009) *Engineering Aspects of Thermal Food Processing Chapter II. Principles of Thermal Food Processing*. Boca Raton: 3-4

9. KOMITOPOULOU E., DAVIES E., DELVES J., ADAMS M., (1999) *Alicyclobacillus acidoterrestris* in fruit juices and its controls by nisin. *International Journal of Food Science and Technology*: 81-85.
10. HENDRIX M., and KNORR D., (2001) *Ultra High Pressure Treatments of Foods*. New York: 3-12
11. GARCÍA M., SUTHERLAND A., (1997) *Temperature Characterization of psychrotrophic and mesophilic Bacillus species from milk* *Journal of Dairy Research*: 261-270.
12. CERNY G., HENNLICH W., and PORALLA K., (1984) *Fruchtsaftverderbdurchbacillen: Isolierung und charakterisierung des verderbserregers*. *Z. Lebensm. Forsch*: 289-291.
13. PINHATTI M., VARIANE S., EGUCHI S., MANFIO G., (1997) *Detection of acidothermophilic Bacilli in industrialized fruit juices*. *Food Processing*: 350-353. Vol. 7.
14. SINIGAGLIA M., CORBO M., CAMPANIELLO D., D'AMATO D., and BEVILACQUA A., (2003) *Combined effects of temperature, water activity, and pH on Alicyclobacillus acidoterrestris spores*. *Journal of Food Protection*: 2216-2221.
15. SHRIDHAR P., SHANKHAPAL K., (1986) *Bacteria spoilage of canned mango pulp and green garden peas*. *Indian Journal of Microbiology*: 39-42.
16. DEINHARD G. BLANZ, P., POROLLA, K., (1987) *Bacillus acidoterrestris* A new thermotolerant acidophile isolated from different soils. *Systematic and applied Microbiology*: 47-53.

17. WALLS, I. and CHUYATE, R. (2000) *Spoilage of fruits juice by Alicyclobacillus acidoterrestris*. *Food Australia*: 286-288. Vol. 52.
18. PONTIUS, A. RUSHING, J. and FOEGEDING, P. (1998) *Heat Resistance of Alicyclobacillus acidoterrestris spores as affected by various pH values and organic acids*. *Journal of Food Protection*: 41-46.
19. BETTS G., and GAZE J., (1992) *Food Pasteurization Treatments*, Gloucestershire, United Kingdom: Campden Food and Drink Research Association, Technical Manual No. 27: 57-63.
20. SUAREZ J. MSc. (2010) *Tratamiento Térmico*. Apuntes de clases de la Maestría en Ciencias Alimentarias, Guayaquil.
21. Thermoequipos CA (2008) (On line) *Equipos de Transferencia de Calor* <<http://www.thermoequipos.com.ve/pdf/articulo_03.pdf>>(Septiembre 2011)
22. WARREN M., SMITH J., HARRIOT P., (2010) *Operaciones Unitarias Ingeniería Química*. Mac Graw – Hill.
23. KERN D., (1999) *Procesos de transferencia de calor*. México. Mcgraw Hill Book Company: 813-817.
24. CASP A., ABRIL J., (2003) *Procesos de conservación de alimentos. Parte II. Conservación por calor. Colección Tecnología de Alimentos*. Madrid: 124-190. Mundi Prensa
25. TOLEDO R. (1991) *Fundamentals of Food Engineering*, New York: 315-395. Van Nostradan Reinhold.
26. INCROPERA F., DE WITT D., (1996) *Fundamentos de Transferencia de calor*. México: 829-848.
27. LEWIS M., HEPPELL M., (2001) *Continuous Thermal Processing of Foods Pasteurization and UTH Sterilization*. Maryland: 19-24, 62, 65.

28. BRENNAN J., (2006) *Food Processing Handbook*, Weinheim: 48
29. LOZANO J., (2006) *Fruit Manufacturing. Scientific Basis, Engineering Properties, and Deteriorative Reactions of Technological Importance*. Bahía Blanca: 21-28.
30. SHARMA S., MULVANEY S., RIZVI S., (2003) *Ingeniería de Alimentos: Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio*. New York: 68-95, 110-126.
31. BARRET D., SOMOGYI L., RAMASWAMY H., (2004) *Processing Food: Science and Technology*. Washington D.C.: 679-706.

ANEXO 1

**PERFILES TIEMPO – TEMPERATURA EXPERIMENTO 1
PASTEURIZACION 0.9 M3 AGUA POTABLE**

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
CALENTAMIENTO	1	26	78,8	1,12648E-06	1,12648E-06
	2	27,5	81,5	1,51717E-06	1,51717E-06
	3	29,3	84,74	2,16874E-06	2,16874E-06
	4	32,5	90,5	4,09326E-06	4,09326E-06
	5	36,2	97,16	8,53168E-06	8,53168E-06
	6	39,9	103,82	1,77828E-05	1,77828E-05
	7	43,6	110,48	3,70651E-05	3,70651E-05
	8	46,8	116,24	6,99564E-05	6,99564E-05
	9	50	122	0,000132035	0,000132035
	10	53,2	127,76	0,000249202	0,000249202
	11	56,3	133,34	0,000461098	0,000461098
	12	59,4	138,92	0,000853168	0,000853168
	13	62,4	144,32	0,001547587	0,001547587
	14	65,4	149,72	0,002807216	0,002807216
	15	68,3	154,94	0,004992015	0,004992015
	16	71,4	160,52	0,009236709	0,009236709
	17	74,3	165,74	0,016425449	0,016425449
	18	77,1	170,78	0,028634958	0,028634958
	19	80,1	176,18	0,051941829	0,051941829
	20	82,7	180,86	0,087027232	0,087027232
	21	85,6	186,08	0,154758735	0,154758735
	22	88,4	191,12	0,269795364	0,269795364
	23	91,2	196,16	0,470342034	0,470342034
	24	94	201,2	0,819960824	0,819960824
HOLDING	25	95,3	203,54	1,061358418	1,061358418
	26	95,3	203,54	1,061358418	1,061358418
	27	95,4	203,72	1,082636734	1,082636734
	28	95,4	203,72	1,082636734	1,082636734
	29	95,4	203,72	1,082636734	1,082636734
	30	95,4	203,72	1,082636734	1,082636734
	31	95,2	203,36	1,04049831	1,04049831

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal	Razon Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
ENFRIAMIENTO	32	92,3	198,14	0,585115199	0,585115199
	33	88,1	190,58	0,254198167	0,254198167
	34	84,4	183,92	0,121957046	0,121957046
	35	81	177,8	0,062101694	0,062101694
	36	77,7	171,86	0,032256756	0,032256756
	37	74,6	166,28	0,017433288	0,017433288
	38	71,7	161,06	0,009803458	0,009803458
	39	69	156,2	0,005736153	0,005736153
	40	66,6	151,88	0,003562248	0,003562248
	41	64,3	147,74	0,002256567	0,002256567
	42	62,1	143,78	0,001458119	0,001458119
	43	60	140	0,000961078	0,000961078
	44	58,1	136,58	0,000659122	0,000659122
	45	56,3	133,34	0,000461098	0,000461098
	46	54,6	130,28	0,000329034	0,000329034
	47	52,7	126,86	0,000225657	0,000225657
	48	51,5	124,7	0,000177828	0,000177828
	49	50,1	122,18	0,000134682	0,000134682
	50	48,8	119,84	0,00010405	0,00010405
	51	47,6	117,68	8,19961E-05	8,19961E-05
	52	46,5	115,7	6,59122E-05	6,59122E-05
	53	45,4	113,72	5,29832E-05	5,29832E-05
	54	44,4	111,92	4,34441E-05	4,34441E-05
	55	43,4	110,12	3,56225E-05	3,56225E-05
	56	42,5	108,5	2,97946E-05	2,97946E-05
	57	41,6	106,88	2,49202E-05	2,49202E-05
	58	40,8	105,44	2,12611E-05	2,12611E-05
	59	40,1	104,18	1,8503E-05	1,8503E-05
	60	39,3	102,74	1,57861E-05	1,57861E-05
	61	38,7	101,66	1,40137E-05	1,40137E-05
	62	37,9	100,22	1,1956E-05	1,1956E-05
	63	37,4	99,32	1,08264E-05	1,08264E-05
	64	36,8	98,24	9,61078E-06	9,61078E-06
	65	36,6	97,88	9,23671E-06	9,23671E-06
	66	35,8	96,44	7,88046E-06	7,88046E-06
	67	35,3	95,54	7,13589E-06	7,13589E-06
	68	34,9	94,82	6,59122E-06	6,59122E-06
	69	34,4	93,92	5,96846E-06	5,96846E-06
	70	34	93,2	5,51289E-06	5,51289E-06
	71	33,7	92,66	5,19418E-06	5,19418E-06
	72	33,3	91,94	4,79772E-06	4,79772E-06

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal	Razon Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
ENFRIAMIENTO	73	33	91,4	4,52035E-06	4,52035E-06
	74	32,7	90,86	4,25903E-06	4,25903E-06
	75	32,4	90,32	4,01281E-06	4,01281E-06
	76	32,1	89,78	3,78082E-06	3,78082E-06
	77	31,8	89,24	3,56225E-06	3,56225E-06
	78	31,5	88,7	3,35631E-06	3,35631E-06
	79	31,3	88,34	3,22568E-06	3,22568E-06
	80	31	87,8	3,0392E-06	3,0392E-06
	81	30,8	87,44	2,9209E-06	2,9209E-06
	82	30,6	87,08	2,80722E-06	2,80722E-06
	83	30,5	86,9	2,75204E-06	2,75204E-06
	84	30,3	86,54	2,64493E-06	2,64493E-06
	85	30,1	86,18	2,54198E-06	2,54198E-06

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

ANEXO 2
PERFILES TIEMPO – TEMPERATURA EXPERIMENTO 2
PASTEURIZACION 0.9 M3 AGUA POTABLE

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
CALENTAMIENTO	1	30,3	86,54	2,64493E-06	2,64493E-06
	2	33,2	91,76	4,70342E-06	4,70342E-06
	3	36,1	96,98	8,364E-06	8,364E-06
	4	37,6	99,68	1,12648E-05	1,12648E-05
	5	39,9	103,82	1,77828E-05	1,77828E-05
	6	43,4	110,12	3,56225E-05	3,56225E-05
	7	44,9	112,82	4,79772E-05	4,79772E-05
	8	47,2	116,96	7,57374E-05	7,57374E-05
	9	48,9	120,02	0,000106136	0,000106136
	10	54,1	129,38	0,000297946	0,000297946
	11	57	134,6	0,000529832	0,000529832
	12	60,6	141,08	0,001082637	0,001082637
	13	63,4	146,12	0,001887392	0,001887392
	14	66,4	151,52	0,003423598	0,003423598
	15	69,5	157,1	0,006334672	0,006334672
	16	72,8	163,04	0,012195705	0,012195705
	17	75,5	167,9	0,020843254	0,020843254
	18	78,5	173,3	0,037808218	0,037808218
	19	81,5	178,7	0,068581487	0,068581487
	20	84,2	183,56	0,11721023	0,11721023
	21	86,8	188,24	0,1963828	0,1963828
	22	89,4	192,92	0,329034456	0,329034456
	23	91,9	197,42	0,540453857	0,540453857
HOLDING	24	95,2	203,36	1,04049831	1,04049831
	25	95,5	203,9	1,104341641	1,104341641
	26	95,5	203,9	1,104341641	1,104341641
	27	95,6	204,08	1,126481692	1,126481692
	28	95,6	204,08	1,126481692	1,126481692
	29	95,6	204,08	1,126481692	1,126481692
	30	95,4	203,72	1,082636734	1,082636734

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
ENFRIAMIENTO	31	94,6	202,28	0,923670857	0,923670857
	32	90,5	194,9	0,409325655	0,409325655
	33	87,1	188,78	0,208432538	0,208432538
	34	83,5	182,3	0,102004819	0,102004819
	35	79	174,2	0,041753189	0,041753189
	36	76,6	169,88	0,025929438	0,025929438
	37	74	165,2	0,015475874	0,015475874
	38	71	159,8	0,008531679	0,008531679
	39	68,5	155,3	0,005194183	0,005194183
	40	65,1	149,18	0,002644928	0,002644928
	41	63,1	145,58	0,001778279	0,001778279
	42	61,8	143,24	0,001373824	0,001373824
	43	60	140	0,000961078	0,000961078
	44	58,1	136,58	0,000659122	0,000659122
	45	56,3	133,34	0,000461098	0,000461098
	46	54,7	130,46	0,000335631	0,000335631
	47	53,2	127,76	0,000249202	0,000249202
	48	51,8	125,24	0,000188739	0,000188739
	49	50,5	122,9	0,000145812	0,000145812
	50	49	120,2	0,000108264	0,000108264
	51	47,9	118,22	8,70272E-05	8,70272E-05
	52	46,7	116,06	6,85815E-05	6,85815E-05
	53	45,6	114,08	5,51289E-05	5,51289E-05
	54	44,6	112,28	4,52035E-05	4,52035E-05
	55	43,7	110,66	3,78082E-05	3,78082E-05
	56	42,7	108,86	3,10013E-05	3,10013E-05
	57	41,8	107,24	2,59294E-05	2,59294E-05
	58	40,9	105,62	2,16874E-05	2,16874E-05
	59	40,2	104,36	1,88739E-05	1,88739E-05
	60	39,5	103,1	1,64254E-05	1,64254E-05
	61	38,8	101,84	1,42946E-05	1,42946E-05
	62	38,1	100,58	1,24402E-05	1,24402E-05
	63	37,6	99,68	1,12648E-05	1,12648E-05
	64	37	98,6	0,00001	0,00001
	65	36,4	97,52	8,8772E-06	8,8772E-06
	66	35,9	96,62	8,03845E-06	8,03845E-06
	67	35,4	95,72	7,27895E-06	7,27895E-06
	68	34,9	94,82	6,59122E-06	6,59122E-06
	69	34,3	93,74	5,85115E-06	5,85115E-06
	70	34	93,2	5,51289E-06	5,51289E-06
	71	33,5	92,3	4,99201E-06	4,99201E-06

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
ENFRIAMIENTO	72	33,1	91,58	4,61098E-06	4,61098E-06
	73	32,8	91,04	4,34441E-06	4,34441E-06
	74	32,4	90,32	4,01281E-06	4,01281E-06
	75	32,1	89,78	3,78082E-06	3,78082E-06
	76	31,7	89,06	3,49223E-06	3,49223E-06
	77	31,5	88,7	3,35631E-06	3,35631E-06
	78	31,1	87,98	3,10013E-06	3,10013E-06
	79	30,9	87,62	2,97946E-06	2,97946E-06
	80	30,7	87,26	2,8635E-06	2,8635E-06
	81	30,4	86,72	2,69795E-06	2,69795E-06
	82	30,1	86,18	2,54198E-06	2,54198E-06
	83	30	86	2,49202E-06	2,49202E-06
	84	29,7	85,46	2,34795E-06	2,34795E-06

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

ANEXO 3

**PERFILES TIEMPO – TEMPERATURA EXPERIMENTO 3
PASTEURIZACION 0.9 M3 AGUA POTABLE**

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
CALENTAMIENTO	1	30,5	86,9	2,752E-06	2,75204E-06
	2	33	91,4	4,5204E-06	4,52035E-06
	3	35,4	95,72	7,279E-06	7,27895E-06
	4	39,3	102,74	1,5786E-05	1,57861E-05
	5	42,5	108,5	2,9795E-05	2,97946E-05
	6	45,6	114,08	5,5129E-05	5,51289E-05
	7	48,6	119,48	0,0001	0,0001
	8	51,5	124,7	0,00017783	0,000177828
	9	54,6	130,28	0,00032903	0,000329034
	10	57,5	135,5	0,00058512	0,000585115
	11	60,4	140,72	0,0010405	0,001040498
	12	63,4	146,12	0,00188739	0,001887392
	13	66,5	151,7	0,00349223	0,003492235
	14	69,3	156,74	0,00608811	0,006088114
	15	72,1	161,78	0,01061358	0,010613584
	16	75,1	167,18	0,01925231	0,019252306
	17	78	172,4	0,03423598	0,03423598
	18	80,8	177,44	0,05968457	0,05968457
	19	83,6	182,48	0,10404983	0,104049831
	20	86,5	187,7	0,18502967	0,185029672
	21	89,3	192,74	0,32256756	0,32256756
	22	91,9	197,42	0,54045386	0,540453857
	23	94,4	201,92	0,88771971	0,887719709
HOLDING	24	95,5	203,9	1,10434164	1,104341641
	25	95,6	204,08	1,12648169	1,126481692
	26	95,7	204,26	1,14906561	1,149065612
	27	95,6	204,08	1,12648169	1,126481692
	28	95,6	204,08	1,12648169	1,126481692
	29	95,5	203,9	1,10434164	1,104341641
	30	95,5	203,9	1,10434164	1,104341641

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
ENFRIAMIENTO	31	94,9	202,82	0,98034584	0,98034584
	32	93,2	199,76	0,69956422	0,699564216
	33	91,3	196,34	0,47977154	0,479771541
	34	87,1	188,78	0,20843254	0,208432538
	35	83,4	182,12	0,1	0,1
	36	79,7	175,46	0,04797715	0,047977154
	37	76,4	169,52	0,02492021	0,024920212
	38	73,2	163,76	0,01320352	0,013203518
	39	70,4	158,72	0,00757374	0,007573739
	40	67,7	153,86	0,00443151	0,00443151
	41	65,2	149,36	0,00269795	0,002697954
	42	63	145,4	0,00174333	0,001743329
	43	60,8	141,44	0,00112648	0,001126482
	44	58,8	137,84	0,00075737	0,000757374
	45	57	134,6	0,00052983	0,000529832
	46	55,3	131,54	0,00037808	0,000378082
	47	53,6	128,48	0,0002698	0,000269795
	48	52,1	125,78	0,00020032	0,00020032
	49	50,7	123,26	0,00015172	0,000151717
	50	49,3	120,74	0,00011491	0,000114907
	51	48,3	118,94	9,4219E-05	9,42189E-05
	52	47,2	116,96	7,5737E-05	7,57374E-05
	53	46,2	115,16	6,2102E-05	6,21017E-05
	54	45,2	113,36	5,0921E-05	5,0921E-05
	55	44,2	111,56	4,1753E-05	4,17532E-05
	56	43,4	110,12	3,5622E-05	3,56225E-05
	57	42,6	108,68	3,0392E-05	3,0392E-05
	58	41,8	107,24	2,5929E-05	2,59294E-05
	59	40,9	105,62	2,1687E-05	2,16874E-05
	60	40,4	104,72	1,9638E-05	1,96383E-05
	61	39,8	103,64	1,7433E-05	1,74333E-05
	62	39,2	102,56	1,5476E-05	1,54759E-05
	63	38,5	101,3	1,3468E-05	1,34682E-05
	64	38	100,4	1,2196E-05	1,21957E-05
	65	37,5	99,5	1,1043E-05	1,10434E-05
	66	37	98,6	0,00001	0,00001
	67	36,5	97,7	9,0552E-06	9,05517E-06
	68	36,1	96,98	8,364E-06	8,364E-06
	69	35,7	96,26	7,7256E-06	7,72558E-06
	70	35,3	95,54	7,1359E-06	7,13589E-06
	71	34,9	94,82	6,5912E-06	6,59122E-06
	72	34,6	94,28	6,2102E-06	6,21017E-06

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
ENFRIAMIENTO	73	34,3	93,74	5,8512E-06	5,85115E-06
	74	34	93,2	5,5129E-06	5,51289E-06
	75	33,7	92,66	5,1942E-06	5,19418E-06
	76	33,3	91,94	4,7977E-06	4,79772E-06
	77	33,1	91,58	4,611E-06	4,61098E-06
	78	32,9	91,22	4,4315E-06	4,43151E-06
	79	32,7	90,86	4,259E-06	4,25903E-06
	80	32,4	90,32	4,0128E-06	4,01281E-06
	81	32,2	89,96	3,8566E-06	3,85662E-06
	82	32	89,6	3,7065E-06	3,70651E-06
	83	31,8	89,24	3,5622E-06	3,56225E-06
	84	31,6	88,88	3,4236E-06	3,4236E-06
	85	31,5	88,7	3,3563E-06	3,35631E-06
	86	31,3	88,34	3,2257E-06	3,22568E-06
	87	31,2	88,16	3,1623E-06	3,16228E-06
	88	31	87,8	3,0392E-06	3,0392E-06
	89	30,9	87,62	2,9795E-06	2,97946E-06
	90	30,8	87,44	2,9209E-06	2,9209E-06

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

ANEXO 4

**PERFILES TIEMPO – TEMPERATURA EXPERIMENTO 4
PASTEURIZACION 0.9 M3 AGUA POTABLE**

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
CALENTAMIENTO	1	31	87,8	3,0392E-06	3,0392E-06
	2	32,9	91,22	4,4315E-06	4,43151E-06
	3	36,2	97,16	8,5317E-06	8,53168E-06
	4	39,3	102,74	1,5786E-05	1,57861E-05
	5	42,4	108,32	2,9209E-05	2,9209E-05
	6	45,7	114,26	5,6234E-05	5,62341E-05
	7	48,7	119,66	0,000102	0,000102005
	8	52,1	125,78	0,00020032	0,00020032
	9	55,2	131,36	0,00037065	0,000370651
	10	58,4	137,12	0,00069956	0,000699564
	11	61,5	142,7	0,0012944	0,001294401
	12	64,6	148,28	0,00239503	0,002395027
	13	67,6	153,68	0,00434441	0,004344412
	14	70,6	159,08	0,00788046	0,007880463
	15	73,4	164,12	0,01373824	0,013738238
	16	76,3	169,34	0,02443043	0,024430426
	17	79,3	174,74	0,0443151	0,044315099
	18	82,3	180,14	0,08038452	0,080384518
	19	84,9	184,82	0,13468224	0,134682244
	20	87,7	189,86	0,23479544	0,234795438
	21	90,6	195,08	0,41753189	0,417531894
	22	93,6	200,48	0,75737392	0,757373918
	23	95,5	203,9	1,10434164	1,104341641
HOLDING	24	95,6	204,08	1,12648169	1,126481692
	25	95,7	204,26	1,14906561	1,149065612
	26	95,7	204,26	1,14906561	1,149065612
	27	95,7	204,26	1,14906561	1,149065612
	28	95,8	204,44	1,1721023	1,172102298
	29	95,8	204,44	1,1721023	1,172102298
	30	95,8	204,44	1,1721023	1,172102298

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

	TIEMPO		TEMPERATURA		Razón Letal	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)	
	ENFRIAMIENTO	31	95,3	203,54	1,06135842	1,061358418
32		92,1	197,78	0,56234133	0,562341325	
33		88,2	190,76	0,25929438	0,25929438	
34		84,6	184,28	0,1268961	0,1268961	
35		81,3	178,34	0,06591216	0,065912156	
36		78,3	172,94	0,03633665	0,036336645	
37		75,2	167,36	0,01963828	0,01963828	
38		72,5	162,5	0,01149066	0,011490656	
39		70,3	158,54	0,00742488	0,007424884	
40		68,3	154,94	0,00499201	0,004992015	
41		66,1	150,98	0,00322568	0,003225676	
42		64,2	147,56	0,00221222	0,002212216	
43		62,1	143,78	0,00145812	0,001458119	
44		60,3	140,54	0,00102005	0,001020048	
45		58,6	137,48	0,0007279	0,000727895	
46		57	134,6	0,00052983	0,000529832	
47		55,3	131,54	0,00037808	0,000378082	
48		53,8	128,84	0,00028072	0,000280722	
49		52,4	126,32	0,00021261	0,000212611	
50		51,2	124,16	0,00016755	0,000167547	
51		49,9	121,82	0,00012944	0,00012944	
52		48,5	119,3	9,8035E-05	9,80346E-05	
53		47,4	117,32	7,8805E-05	7,88046E-05	
54		46,7	116,06	6,8581E-05	6,85815E-05	
55		45,6	114,08	5,5129E-05	5,51289E-05	
56		44,5	112,1	4,4315E-05	4,43151E-05	
57		43,5	110,3	3,6337E-05	3,63366E-05	
58		42,8	109,04	3,1623E-05	3,16228E-05	
59		42,1	107,78	2,752E-05	2,75204E-05	
60		41,3	106,34	2,348E-05	2,34795E-05	
61		40,7	105,26	2,0843E-05	2,08433E-05	
62		40	104	1,8139E-05	1,81393E-05	
63		39,4	102,92	1,6103E-05	1,61026E-05	
64		38,8	101,84	1,4295E-05	1,42946E-05	
65		38,3	100,94	1,2944E-05	1,2944E-05	
66		37,8	100,04	1,1721E-05	1,1721E-05	
67		37,2	98,96	1,0405E-05	1,0405E-05	
68		36,8	98,24	9,6108E-06	9,61078E-06	
69		36,3	97,34	8,7027E-06	8,70272E-06	
70		35,9	96,62	8,0385E-06	8,03845E-06	
71		35,6	96,08	7,5737E-06	7,57374E-06	

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
ENFRIAMIENTO	72	35,2	95,36	6,9956E-06	6,99564E-06
	73	34,8	94,64	6,4617E-06	6,46167E-06
	74	34,5	94,1	6,0881E-06	6,08811E-06
	75	34,2	93,56	5,7362E-06	5,73615E-06
	76	33,7	92,66	5,1942E-06	5,19418E-06
	77	33,5	92,3	4,992E-06	4,99201E-06
	78	33,4	92,12	4,8939E-06	4,8939E-06
	79	33,2	91,76	4,7034E-06	4,70342E-06
	80	32,9	91,22	4,4315E-06	4,43151E-06
	81	32,7	90,86	4,259E-06	4,25903E-06
	82	32,4	90,32	4,0128E-06	4,01281E-06
	83	32,2	89,96	3,8566E-06	3,85662E-06
	84	32	89,6	3,7065E-06	3,70651E-06
	85	31,8	89,24	3,5622E-06	3,56225E-06
	86	31,7	89,06	3,4922E-06	3,49223E-06
	87	31,6	88,88	3,4236E-06	3,4236E-06
	88	31,5	88,7	3,3563E-06	3,35631E-06
	89	31,3	88,34	3,2257E-06	3,22568E-06
	90	31,1	87,98	3,1001E-06	3,10013E-06

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

ANEXO 5

**PERFILES TIEMPO – TEMPERATURA EXPERIMENTO 1
PASTEURIZACION 880 KG PULPA DE NARANJILLA**

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal °F	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
CALENTAMIENTO	1	30,2	86,36	2,59294E-06	2,59294E-06
	2	32,7	90,86	4,25903E-06	4,25903E-06
	3	35,9	96,62	8,03845E-06	8,03845E-06
	4	39,9	103,82	1,77828E-05	1,77828E-05
	5	42,7	108,86	3,10013E-05	3,10013E-05
	6	46,3	115,34	6,33467E-05	6,33467E-05
	7	49,9	121,82	0,00012944	0,00012944
	8	53,3	127,94	0,000254198	0,000254198
	9	56,7	134,06	0,000499201	0,000499201
	10	59,9	139,82	0,000942189	0,000942189
	11	63,1	145,58	0,001778279	0,001778279
	12	66,3	151,34	0,00335631	0,00335631
	13	69,3	156,74	0,006088114	0,006088114
	14	72,4	162,32	0,011264817	0,011264817
	15	75,4	167,72	0,020433597	0,020433597
	16	78,4	173,12	0,037065129	0,037065129
	17	81,3	178,34	0,065912156	0,065912156
	18	84,1	183,38	0,114906561	0,114906561
	19	86,9	188,42	0,20031992	0,20031992
	20	89,8	193,64	0,356224789	0,356224789
	21	92,8	199,04	0,646167079	0,646167079
HOLDING	22	95	203	1	1
	23	95,4	203,72	1,082636734	1,082636734
	24	95,7	204,26	1,149065612	1,149065612
	25	95,9	204,62	1,195600827	1,195600827
	26	95,9	204,62	1,195600827	1,195600827
	27	95,9	204,62	1,195600827	1,195600827
	28	95,9	204,62	1,195600827	1,195600827

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal °F	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
ENFRIAMIENTO	29	93,2	199,76	0,699564216	0,699564216
	30	89	192,2	0,303919538	0,303919538
	31	85,8	186,44	0,161026203	0,161026203
	32	82,5	180,5	0,083639956	0,083639956
	33	79,3	174,74	0,044315099	0,044315099
	34	76,4	169,52	0,024920212	0,024920212
	35	73,7	164,66	0,014581195	0,014581195
	36	70,9	159,62	0,008363996	0,008363996
	37	68,7	155,66	0,005404539	0,005404539
	38	66,4	151,52	0,003423598	0,003423598
	39	64,3	147,74	0,002256567	0,002256567
	40	62,4	144,32	0,001547587	0,001547587
	41	60,6	141,08	0,001082637	0,001082637
	42	58,9	138,02	0,000772558	0,000772558
	43	57,2	134,96	0,000551289	0,000551289
	44	55,8	132,44	0,000417532	0,000417532
	45	54,4	129,92	0,000316228	0,000316228
	46	53,1	127,58	0,000244304	0,000244304
	47	51,8	125,24	0,000188739	0,000188739
	48	50,7	123,26	0,000151717	0,000151717
	49	49,6	121,28	0,000121957	0,000121957
	50	48,5	119,3	9,80346E-05	9,80346E-05
	51	47,6	117,68	8,19961E-05	8,19961E-05
	52	46,5	115,7	6,59122E-05	6,59122E-05
	53	45,6	114,08	5,51289E-05	5,51289E-05
	54	44,8	112,64	4,70342E-05	4,70342E-05
	55	44	111,2	4,01281E-05	4,01281E-05
	56	43,2	109,76	3,4236E-05	3,4236E-05
	57	42,3	108,14	2,8635E-05	2,8635E-05
	58	41,5	106,7	2,44304E-05	2,44304E-05
	59	40,9	105,62	2,16874E-05	2,16874E-05
	60	40,3	104,54	1,92523E-05	1,92523E-05
	61	39,7	103,46	1,70907E-05	1,70907E-05
	62	39,1	102,38	1,51717E-05	1,51717E-05
	63	38,5	101,3	1,34682E-05	1,34682E-05
	64	37,9	100,22	1,1956E-05	1,1956E-05
	65	37,4	99,32	1,08264E-05	1,08264E-05
	66	37	98,6	0,00001	0,00001
	67	36,5	97,7	9,05517E-06	9,05517E-06
	68	36	96,8	8,19961E-06	8,19961E-06
	69	35,6	96,08	7,57374E-06	7,57374E-06
	70	35,1	95,18	6,85815E-06	6,85815E-06

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal °F	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
ENFRIAMIENTO	71	34,8	94,64	6,46167E-06	6,46167E-06
	72	34,5	94,1	6,08811E-06	6,08811E-06
	73	34,1	93,38	5,62341E-06	5,62341E-06
	74	33,7	92,66	5,19418E-06	5,19418E-06
	75	33,4	92,12	4,8939E-06	4,8939E-06
	76	33,1	91,58	4,61098E-06	4,61098E-06
	77	32,8	91,04	4,34441E-06	4,34441E-06
	78	32,5	90,5	4,09326E-06	4,09326E-06
	79	32,3	90,14	3,93394E-06	3,93394E-06
	80	32,1	89,78	3,78082E-06	3,78082E-06
	81	31,8	89,24	3,56225E-06	3,56225E-06
	82	31,6	88,88	3,4236E-06	3,4236E-06
	83	31,3	88,34	3,22568E-06	3,22568E-06
	84	31,1	87,98	3,10013E-06	3,10013E-06
	85	30,9	87,62	2,97946E-06	2,97946E-06
	86	30,7	87,26	2,8635E-06	2,8635E-06
	87	30,5	86,9	2,75204E-06	2,75204E-06
	88	30,3	86,54	2,64493E-06	2,64493E-06
	89	30,2	86,36	2,59294E-06	2,59294E-06
	90	30	86	2,49202E-06	2,49202E-06

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

ANEXO 6

**PERFILES TIEMPO – TEMPERATURA EXPERIMENTO 2
PASTEURIZACION 880 KG PULPA DE NARANJILLA**

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
CALENTAMIENTO	1	30,2	86,36	2,59294E-06	2,59294E-06
	2	32,5	90,5	4,09326E-06	4,09326E-06
	3	35,6	96,08	7,57374E-06	7,57374E-06
	4	38,9	102,02	1,45812E-05	1,45812E-05
	5	42,3	108,14	2,8635E-05	2,8635E-05
	6	45,6	114,08	5,51289E-05	5,51289E-05
	7	49	120,2	0,000108264	0,000108264
	8	52,3	126,14	0,000208433	0,000208433
	9	55,6	132,08	0,000401281	0,000401281
	10	58,9	138,02	0,000772558	0,000772558
	11	62,1	143,78	0,001458119	0,001458119
	12	65,3	149,54	0,002752043	0,002752043
	13	68,7	155,66	0,005404539	0,005404539
	14	72,2	161,96	0,010826367	0,010826367
	15	75,4	167,72	0,020433597	0,020433597
	16	78,9	174,02	0,040932566	0,040932566
	17	82,3	180,14	0,080384518	0,080384518
	18	85,6	186,08	0,154758735	0,154758735
	19	88,9	192,02	0,297946255	0,297946255
	20	92	197,6	0,551288979	0,551288979
	21	94,9	202,82	0,98034584	0,98034584
HOLDING	22	95,4	203,72	1,082636734	1,082636734
	23	95,5	203,9	1,104341641	1,104341641
	24	95,6	204,08	1,126481692	1,126481692
	25	95,7	204,26	1,149065612	1,149065612
	26	95,8	204,44	1,172102298	1,172102298
	27	95,9	204,62	1,195600827	1,195600827
	28	95,9	204,62	1,195600827	1,195600827

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
ENFRIAMIENTO	29	95,3	203,54	1,061358418	1,061358418
	30	91,8	197,24	0,529831691	0,529831691
	31	87,9	190,22	0,244304257	0,244304257
	32	84,1	183,38	0,114906561	0,114906561
	33	80,5	176,9	0,056234133	0,056234133
	34	77,3	171,14	0,029794626	0,029794626
	35	74,3	165,74	0,016425449	0,016425449
	36	71,4	160,52	0,009236709	0,009236709
	37	68,8	155,84	0,00551289	0,00551289
	38	66,4	151,52	0,003423598	0,003423598
	39	64,1	147,38	0,002168737	0,002168737
	40	61,9	143,42	0,001401366	0,001401366
	41	59,9	139,82	0,000942189	0,000942189
	42	58	136,4	0,000646167	0,000646167
	43	56,3	133,34	0,000461098	0,000461098
	44	54,6	130,28	0,000329034	0,000329034
	45	53	127,4	0,000239503	0,000239503
	46	51,6	124,88	0,000181393	0,000181393
	47	50,3	122,54	0,000140137	0,000140137
	48	49	120,2	0,000108264	0,000108264
	49	47,9	118,22	8,70272E-05	8,70272E-05
	50	46,8	116,24	6,99564E-05	6,99564E-05
	51	45,7	114,26	5,62341E-05	5,62341E-05
	52	44,8	112,64	4,70342E-05	4,70342E-05
	53	43,8	110,84	3,85662E-05	3,85662E-05
	54	43	109,4	3,29034E-05	3,29034E-05
	55	42,2	107,96	2,80722E-05	2,80722E-05
	56	41,4	106,52	2,39503E-05	2,39503E-05
	57	40,7	105,26	2,08433E-05	2,08433E-05
	58	40,1	104,18	1,8503E-05	1,8503E-05
	59	39,5	103,1	1,64254E-05	1,64254E-05
	60	38,8	101,84	1,42946E-05	1,42946E-05
	61	38,2	100,76	1,26896E-05	1,26896E-05
	62	37,6	99,68	1,12648E-05	1,12648E-05
	63	37,1	98,78	1,02005E-05	1,02005E-05
	64	36,6	97,88	9,23671E-06	9,23671E-06
	65	36,1	96,98	8,364E-06	8,364E-06
	66	35,6	96,08	7,57374E-06	7,57374E-06
67	35,1	95,18	6,85815E-06	6,85815E-06	
68	34,7	94,46	6,33467E-06	6,33467E-06	
69	34,3	93,74	5,85115E-06	5,85115E-06	
70	33,9	93,02	5,40454E-06	5,40454E-06	

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
ENFRIAMIENTO	71	33,5	92,3	4,99201E-06	4,99201E-06
	72	33,1	91,58	4,61098E-06	4,61098E-06
	73	32,7	90,86	4,25903E-06	4,25903E-06
	74	32,3	90,14	3,93394E-06	3,93394E-06
	75	32	89,6	3,70651E-06	3,70651E-06
	76	31,7	89,06	3,49223E-06	3,49223E-06
	77	31,4	88,52	3,29034E-06	3,29034E-06
	78	31,1	87,98	3,10013E-06	3,10013E-06
	79	30,8	87,44	2,9209E-06	2,9209E-06
	80	30,6	87,08	2,80722E-06	2,80722E-06
	81	30,4	86,72	2,69795E-06	2,69795E-06
	82	30,2	86,36	2,59294E-06	2,59294E-06
	83	30,1	86,18	2,54198E-06	2,54198E-06
	84	30	86	2,49202E-06	2,49202E-06

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

ANEXO 7

**PERFILES TIEMPO – TEMPERATURA EXPERIMENTO 3
PASTEURIZACION 880 KG PULPA DE NARANJILLA**

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
CALENTAMIENTO	1	29,9	85,82	2,44304E-06	2,44304E-06
	2	32,3	90,14	3,93394E-06	3,93394E-06
	3	35,1	95,18	6,85815E-06	6,85815E-06
	4	38,2	100,76	1,26896E-05	1,26896E-05
	5	41	105,8	2,21222E-05	2,21222E-05
	6	43,9	111,02	3,93394E-05	3,93394E-05
	7	47	116,6	7,27895E-05	7,27895E-05
	8	50,2	122,36	0,000137382	0,000137382
	9	53,8	128,84	0,000280722	0,000280722
	10	56,8	134,24	0,00050921	0,00050921
	11	59,8	139,64	0,000923671	0,000923671
	12	62,9	145,22	0,001709065	0,001709065
	13	66	150,8	0,003162278	0,003162278
	14	69	156,2	0,005736153	0,005736153
	15	72	161,6	0,010404983	0,010404983
	16	75,2	167,36	0,01963828	0,01963828
	17	78,2	172,76	0,035622479	0,035622479
	18	81,4	178,52	0,067233575	0,067233575
	19	84,3	183,74	0,119560083	0,119560083
	20	86,7	188,06	0,192523061	0,192523061
	21	88,9	192,02	0,297946255	0,297946255
	22	91,8	197,24	0,529831691	0,529831691
	23	94,4	201,92	0,887719709	0,887719709
HOLDING	24	95,5	203,9	1,104341641	1,104341641
	25	95,6	204,08	1,126481692	1,126481692
	26	95,6	204,08	1,126481692	1,126481692
	27	95,7	204,26	1,149065612	1,149065612
	28	95,8	204,44	1,172102298	1,172102298
	29	95,9	204,62	1,195600827	1,195600827
	30	95,9	204,62	1,195600827	1,195600827

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
ENFRIAMIENTO	31	95	203	1	1
	32	91,4	196,52	0,489390092	0,489390092
	33	87,4	189,32	0,221221629	0,221221629
	34	83,5	182,3	0,102004819	0,102004819
	35	80,1	176,18	0,051941829	0,051941829
	36	77	170,6	0,028072162	0,028072162
	37	74,2	165,56	0,01610262	0,01610262
	38	71,5	160,7	0,009421888	0,009421888
	39	69,1	156,38	0,005851152	0,005851152
	40	67	152,6	0,00385662	0,00385662
	41	64,8	148,64	0,002492021	0,002492021
	42	62,9	145,22	0,001709065	0,001709065
	43	61,1	141,98	0,001195601	0,001195601
	44	59,3	138,74	0,0008364	0,0008364
	45	57,7	135,86	0,000608811	0,000608811
	46	56,1	132,98	0,000443151	0,000443151
	47	54,6	130,28	0,000329034	0,000329034
	48	53,1	127,58	0,000244304	0,000244304
	49	51,8	125,24	0,000188739	0,000188739
	50	50,6	123,08	0,000148735	0,000148735
	51	49,3	120,74	0,000114907	0,000114907
	52	48,2	118,76	9,23671E-05	9,23671E-05
	53	47,1	116,78	7,42488E-05	7,42488E-05
	54	46,1	114,98	6,08811E-05	6,08811E-05
	55	45,1	113,18	4,99201E-05	4,99201E-05
	56	44,2	111,56	4,17532E-05	4,17532E-05
	57	43,3	109,94	3,49223E-05	3,49223E-05
	58	42,4	108,32	2,9209E-05	2,9209E-05
	59	41,6	106,88	2,49202E-05	2,49202E-05
	60	40,7	105,26	2,08433E-05	2,08433E-05
	61	40,1	104,18	1,8503E-05	1,8503E-05
	62	39,3	102,74	1,57861E-05	1,57861E-05
	63	38,7	101,66	1,40137E-05	1,40137E-05
	64	38,2	100,76	1,26896E-05	1,26896E-05
	65	37,5	99,5	1,10434E-05	1,10434E-05
	66	36,9	98,42	9,80346E-06	9,80346E-06
	67	36,4	97,52	8,8772E-06	8,8772E-06
	68	35,9	96,62	8,03845E-06	8,03845E-06
	69	35,4	95,72	7,27895E-06	7,27895E-06
	70	34,9	94,82	6,59122E-06	6,59122E-06

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
ENFRIAMIENTO	71	34,4	93,92	5,96846E-06	5,96846E-06
	72	34	93,2	5,51289E-06	5,51289E-06
	73	33,5	92,3	4,99201E-06	4,99201E-06
	74	33,2	91,76	4,70342E-06	4,70342E-06
	75	32,9	91,22	4,43151E-06	4,43151E-06
	76	32,5	90,5	4,09326E-06	4,09326E-06
	77	32,3	90,14	3,93394E-06	3,93394E-06
	78	32,1	89,78	3,78082E-06	3,78082E-06
	79	31,8	89,24	3,56225E-06	3,56225E-06
	80	31,4	88,52	3,29034E-06	3,29034E-06
	81	31,1	87,98	3,10013E-06	3,10013E-06
	82	31	87,8	3,0392E-06	3,0392E-06
	83	30,7	87,26	2,8635E-06	2,8635E-06
	84	30,5	86,9	2,75204E-06	2,75204E-06
	85	30,2	86,36	2,59294E-06	2,59294E-06
	86	30	86	2,49202E-06	2,49202E-06

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

ANEXO 8

**PERFILES TIEMPO – TEMPERATURA EXPERIMENTO 4
PASTEURIZACION 880 KG PULPA DE NARANJILLA**

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
CALENTAMIENTO	1	29,1	84,38	2,08433E-06	2,08433E-06
	2	30,1	86,18	2,54198E-06	2,54198E-06
	3	32,1	89,78	3,78082E-06	3,78082E-06
	4	35,4	95,72	7,27895E-06	7,27895E-06
	5	38,7	101,66	1,40137E-05	1,40137E-05
	6	42	107,6	2,69795E-05	2,69795E-05
	7	45,3	113,54	5,19418E-05	5,19418E-05
	8	48,6	119,48	0,0001	0,0001
	9	51,8	125,24	0,000188739	0,000188739
	10	54,7	130,46	0,000335631	0,000335631
	11	57,6	135,68	0,000596846	0,000596846
	12	60,5	140,9	0,001061358	0,001061358
	13	63,3	145,94	0,001850297	0,001850297
	14	66,3	151,34	0,00335631	0,00335631
	15	69,2	156,56	0,005968457	0,005968457
	16	72,2	161,96	0,010826367	0,010826367
	17	75,1	167,18	0,019252306	0,019252306
	18	77,9	172,22	0,0335631	0,0335631
	19	80,8	177,44	0,05968457	0,05968457
	20	83,5	182,3	0,102004819	0,102004819
	21	86,2	187,16	0,174332882	0,174332882
	22	88,9	192,02	0,297946255	0,297946255
	23	91,6	196,88	0,509209564	0,509209564
	24	94	201,2	0,819960824	0,819960824
HOLDING	25	95,3	203,54	1,061358418	1,061358418
	26	95,3	203,54	1,061358418	1,061358418
	27	95,3	203,54	1,061358418	1,061358418
	28	95,4	203,72	1,082636734	1,082636734
	29	95,5	203,9	1,104341641	1,104341641
	30	95,5	203,9	1,104341641	1,104341641
	31	95,1	203,18	1,02004819	1,02004819

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

	TIEMPO	TEMPERATURA		Razón Letal	Razón Letal °C
	MIN	°C	°F	F _T (min)	F _T (min)
ENFRIAMIENTO	32	92,7	198,86	0,633467208	0,633467208
	33	88,7	191,66	0,286349581	0,286349581
	34	84,7	184,46	0,129440137	0,129440137
	35	81,1	177,98	0,063346721	0,063346721
	36	78	172,4	0,03423598	0,03423598
	37	74,5	166,1	0,017090652	0,017090652
	38	71,4	160,52	0,009236709	0,009236709
	39	68,6	155,48	0,005298317	0,005298317
	40	66,1	150,98	0,003225676	0,003225676
	41	63,8	146,84	0,00204336	0,00204336
	42	61,4	142,52	0,001268961	0,001268961
	43	59,3	138,74	0,0008364	0,0008364
	44	57,4	135,32	0,000573615	0,000573615
	45	55,5	131,9	0,000393394	0,000393394
	46	54	129,2	0,00029209	0,00029209
	47	52,3	126,14	0,000208433	0,000208433
	48	50,9	123,62	0,000157861	0,000157861
	49	49,5	121,1	0,00011956	0,00011956
	50	48,2	118,76	9,23671E-05	9,23671E-05
	51	47,1	116,78	7,42488E-05	7,42488E-05
	52	45,9	114,62	5,85115E-05	5,85115E-05
	53	44,9	112,82	4,79772E-05	4,79772E-05
	54	43,9	111,02	3,93394E-05	3,93394E-05
	55	42,9	109,22	3,22568E-05	3,22568E-05
	56	42	107,6	2,69795E-05	2,69795E-05
	57	41,1	105,98	2,25657E-05	2,25657E-05
	58	40,2	104,36	1,88739E-05	1,88739E-05
	59	39,5	103,1	1,64254E-05	1,64254E-05
	60	38,7	101,66	1,40137E-05	1,40137E-05
	61	38,2	100,76	1,26896E-05	1,26896E-05
	62	37,4	99,32	1,08264E-05	1,08264E-05
	63	36,8	98,24	9,61078E-06	9,61078E-06
	64	36,2	97,16	8,53168E-06	8,53168E-06
65	35,7	96,26	7,72558E-06	7,72558E-06	
66	35,1	95,18	6,85815E-06	6,85815E-06	
67	34,6	94,28	6,21017E-06	6,21017E-06	
68	34,3	93,74	5,85115E-06	5,85115E-06	
69	33,7	92,66	5,19418E-06	5,19418E-06	
70	33,3	91,94	4,79772E-06	4,79772E-06	

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

ENFRIAMIENTO	71	33	91,4	4,52035E-06	4,52035E-06
	72	32,6	90,68	4,17532E-06	4,17532E-06
	73	32,2	89,96	3,85662E-06	3,85662E-06
	74	31,9	89,42	3,63366E-06	3,63366E-06
	75	31,6	88,88	3,4236E-06	3,4236E-06
	76	31,3	88,34	3,22568E-06	3,22568E-06
	77	31	87,8	3,0392E-06	3,0392E-06
	78	30,7	87,26	2,8635E-06	2,8635E-06
	79	30,5	86,9	2,75204E-06	2,75204E-06
	80	30,3	86,54	2,64493E-06	2,64493E-06
	81	30	86	2,49202E-06	2,49202E-06

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

ANEXO 9

DETERMINACION DE PH

FUNDAMENTO

Se basa en la medición con un potenciómetro, del grado de acidez o basicidad mediante el uso del pH que contiene un electrodo sensible a la concentración molar de iones hidrógeno en la solución de muestra.

EQUIPOS Y/O MATERIALES

Potenciómetro
Termómetro
Vasos de precipitado
Solución buffer pH 4
Pisceta

PROCEDIMIENTO

- Chequee que la función "Auto Read" del phmetro esté activada. ("A" se observa en la esquina superior del lector).
- Saque el electrodo de la solución buffer pH 4 y enjuague con agua destilada.
- Coloque el electrodo dentro de la muestra, el equipo corrige la temperatura automáticamente a 20°C.
- Presione el botón "READ".
- Cuando suene un beep y el punto decimal deje de parpadear, registre el valor.
- Remueva el electrodo de la muestra y enjuague completamente con agua destilada.
- Remoje el electrodo dentro de solución buffer pH 4.
- Presione el botón "READ".

ANEXO 10

DETERMINACION DE ACIDEZ

FUNDAMENTO

La titulación se basa en la valoración o titulación potenciométrica. Una titulación potenciométrica es un método analítico usado en este caso para detectar el % de acidez, mediante la neutralización de los H⁺ del ácido con una solución básica conocida como el Hidróxido de sodio (NaOH) con una concentración conocida. El punto final de la titulación se detecta mediante la medida de un pH-metro a pH 8.1, que en este valor de pH se han neutralizado todos los iones H⁺ del ácido con los iones OH⁻ de la solución básica utilizada.

EQUIPOS Y/O MATERIALES

Titulador Mettler Toledo DL 12
 Vasos de titulación
 Solución buffer pH 4
 Agua destilada
 Balanza
 Probeta graduada 50 ml
 Solución estándar de Hidróxido de sodio 0.1 N (Ver preparación IQA-513)
 Pisceta
 Papel toalla
 Jeringuilla 5 cc

PROCEDIMIENTO

- Asegúrese que el electrodo esté calibrado
 - Controle la constante de cálculo y cámbiela de ser necesario dependiendo del producto a analizar. Para introducir la constante registre el valor y presione la tecla "CONST".
 - Pese exactamente 5 g de producto dentro de un vaso para titulación.
 - Añada aproximadamente 50 ml de agua destilada.
 - Remueva el vaso de titulación con solución de enjuague pH 4 del titulador.
 - Enjuague el electrodo con la pisceta y seque dando toques con el papel toalla.
 - Sumerja el electrodo en el vaso de titulación que contiene la muestra y agua, enrosque hasta cerrarlo.
 - Presione la tecla "START" cuatro veces consecutivas.
 - En la pantalla aparecerá intermitentemente "BUSY", esto será el indicativo de que el titulador está listo para comenzar la titulación al mismo tiempo que homogeneiza la muestra.
 - Durante la titulación los ml consumidos podrán ser vistos por el operador cuando seleccione la Función ml presionando el botón "ml/pH".
1. Los resultados aparecerán en pantalla y el titulador emitirá un beep tres veces indicando que la titulación se ha completado.
 2. Registre el valor.

NOTA: Para el caso de pulpas de frutas en general se expresa el resultado como porcentaje de Ácido Cítrico.

CALCULOS:

$$\% \text{ DE ACIDEZ} = \frac{V \times \text{CONST}}{S}$$

Donde:

V= Volumen de Hidróxido de Sodio 0.1 N consumido
 S= Peso de la muestra
 CONST= 0.128 (para el ácido cítrico)
 0.134 (para el ácido málico)

ANEXO 11

DETERMINACION DE BRIX

FUNDAMENTO

El índice de refracción de una muestra es un valor que relaciona el ángulo de incidencia de un rayo luminoso sobre una muestra con el ángulo de refracción. Mide el cambio de dirección que se produce cuando un rayo de luz pasa a través de la sustancia problema. La presencia en el agua de compuestos sólidos disueltos determina un cambio en el índice de refracción de la misma.

Esta propiedad es útil para determinar la concentración de sólidos solubles presentes en las soluciones de azúcar y pulpas. Los sólidos solubles están constituidos por todas las sustancias solubles de la pulpa, entre ellas azúcares, ácidos, vitamina C, etc. Debido a que la proporción de azúcares es muy superior en la práctica, el porcentaje de sólidos solubles se considera equivalente al porcentaje de azúcares despreciándose las demás sustancias solubles. Este valor es indicativo del grado de madurez de la fruta y es uno de los índices que indican el momento oportuno de cosecha.

EQUIPOS Y/O MATERIALES

Refractómetro
Dispensador
Agua destilada
Paños absorbentes

PROCEDIMIENTO

Refractómetro Digital:

- Limpie completamente la superficie del prisma.
- Coloque una gota de muestra (0.1 ml o más) en el prisma del refractómetro hasta que cubra el área entera de la superficie del prisma con al ayuda de una cuchara plástica. **NUNCA TOQUE EL PRISMA CON IMPLEMENTOS DE METAL O ALGUN OBJETO AFILADO.**
- Cuidadosamente baje el plato covertedor de manera que cubra el área del prisma.
- Presione START cuando la temperatura que aparece en el display muestre 20°C.
- En la pantalla aparecerá despliegue de caracteres que indica que la medición está en marcha.
- Aproximadamente 4 segundos después el resultado de la medición aparece en el display.
- Registre la lectura de medida.
- Limpie la superficie del prisma con agua destilada.

ANEXO 12

DETERMINACION DE COLOR

FUNDAMENTO

La determinación del color de una muestra se fundamenta en la medición que realiza el anillo de fibra óptica de la luz que refleja una muestra. La muestra es iluminada por un flash proveniente de una lámpara de Xenón y la luz reflejada por la muestra es recibida y medida por un anillo de fibra óptica. El resultado se registra en la escala Hunter Lab (L, a, b), donde:

L= mide la claridad de la muestra y varía de 100 en un blanco perfecto a 0 para el negro. Las dimensiones de cromaticidad están dadas en a y b como sigue:

a = indica la cantidad de rojo cuando el valor es positivo, gris cuando es cero y la cantidad de verde cuando el valor es negativo

b= indica la cantidad de amarillo cuando el valor es positivo, gris cuando es cero y la cantidad de azul cuando es negativo.

EQUIPOS Y/O MATERIALES

Hunter LabScan XE
Computadora
Cubeta para muestra

PROCEDIMIENTO

-Coloque la muestra en la cubeta, en caso de pulpa concentrada diluya la muestra al brix de pulpa simple (15° Brix) y coloque en la cubeta.

-Coloque la cubeta de la muestra en el puerto de reflectancia.

-Cubra la cubeta de la muestra con la tapa negra.

-Presione "Read sample" o el botón verde ubicado en la parte superior derecha del equipo para leer la muestra en la escala de color previamente determinada (Hunter Lab).

-En pantalla aparecerá un recuadro pidiendo la información de la muestra: Identificación de la muestra, producto y una identificación extra. Complete esta información colocando: origen de la muestra, el tipo de muestra y el día juliano respectivamente.

-Retire la cubeta del equipo y lávela con mucho cuidado.

-Coloque la cubeta sobre un paño de laboratorio.

ANEXO 13**DETERMINACION DE CONSISTENCIA****FUNDAMENTO**

Se fundamenta en la longitud que pueda recorrer por su propio peso una muestra a 20°C en un tiempo de 10 segundos en el viscosímetro de Bostwick. El propósito de la determinación de viscosidad es controlar la calidad de consistencia.

EQUIPOS Y/O MATERIALES

Viscosímetro de Bostwick
Refractómetro digital
Termómetro
Cronómetro
Controlador de nivel
Beaker
Espátula de borde recto

PROCEDIMIENTO

- En el caso de que la muestra sea simple tomar la viscosidad tal como se encuentra y si la muestra es concentrada diluir hasta 10 °Brix.
- Mueva suavemente, teniendo cuidado de no mezclar aire excesivamente dentro de la muestra.
- Lleve la temperatura del producto a 20°C.
- Seque y nivele el viscosímetro (No lo lave con agua caliente, esto puede causar que la lectura varíe).
- Fije el cronómetro en 10 segundos.
- Cierre la puerta, vierta la muestra y llene a nivel usando cualquier borde recto o espátula.
- Mientras libera la palanca para abrir la puerta, accione el cronómetro (sostenga firmemente para prevenir que el movimiento de la palanca dé tirones en la descarga).
- Después de transcurridos los 10 segundos, levante el viscosímetro de manera que la pulpa retroceda en su recorrido.
- Lea en la escala hasta donde cubrió la pulpa y registre el valor en cm/10 seg,

ANEXO 14**DETERMINACION DE ACTIVIDAD DE AGUA****FUNDAMENTO**

Se fundamenta en la disponibilidad de agua que contenga un determinado producto manteniendo en equilibrio la actividad de agua de la muestra y la humedad relativa del aire.

DEFINICIONES:

Actividad de Agua: La actividad de agua es una medida del estado de energía del agua en un sistema, es el mejor indicador del tiempo de vida útil en un producto.

EQUIPOS Y/O MATERIALES

Copa
Equipo Aqua Lab
Balanza

PROCEDIMIENTO

- Limpiar la copa
- Verificar que la temperatura de la muestra se encuentre alrededor de 25°C +/- 4°C.
- Colocar la muestra a medir en la copa aproximadamente 7 ml si es muestra líquida, en caso de ser sólidas colocar 2 g. de muestra, no sobrellenar.
- Colocar cuidadosamente la copa mas la muestra dentro de la celda para la lectura.
- Girar la perilla de OPEN / LOAD hasta READ para empezar a tomar la lectura.
- Escuchar un “beep” cuando empieza a tomar la medida de actividad de agua, se toma alrededor de 40 segundos, en dar el resultado.
- Ver en la pantalla la lectura de actividad de agua y temperatura.

NOTA: Colocar la muestra de tal forma que no roce con la compuerta, en caso de ocurrir limpiar la celda.

ANEXO 15**RECUESTO DE MICROORGANISMO AEROBIOS MESOFILOS****FUNDAMENTO**

El conteo de bacterias viables se basa en el número de colonias que se desarrollan en agar nutritivo Plate Count que ha sido inoculado con cantidades conocidas del alimento y luego incubado a 36°C por 48 horas.

Agar Plate Count: Medio de cultivo exento de sustancias inhibitoras y de indicadores, concebido esencialmente para la determinación del número total de gérmenes en leche, productos lácteos, aguas y otros alimentos.

EQUIPOS Y/O MATERIALES

Cajas petri estériles

Pipetas estériles de 10 y 5 ml

Incubador a 36°C

Contador de Colonias

Agar Plate Count

PROCEDIMIENTO

- Marque las cajas petri en la tapa con el No. de muestra.
- Tomar un ml de cada dilución y servirlos en las cajas correspondientes.
- Tapar inmediatamente la caja.
- Adicionar el medio de cultivo Plate Count a 40-45°C, aproximadamente unos 10-12ml.
- Homogenice bien el medio con la muestra moviendo la caja varias veces en "8".
- Dejar solidificar el medio sobre una superficie lisa.
- Incubar las cajas invertidas por 48 horas a 36°C.
- Transcurrido el tiempo de incubación, sacar las cajas y proceder al recuento.
- Las cajas de control no deben presentar crecimiento.
- Registrar el conteo en UFC de mesoaerobios por g o ml si se trata de sólidos o líquidos.

ANEXO 16**RECUESTO DE MOHOS Y LEVADURAS****FUNDAMENTO**

El conteo de mohos y levaduras se basa en el número de colonias que se desarrollan en agar Patata Glucosa que ha sido inoculado con cantidades conocidas del alimento y luego incubado a 25°C por 96 horas.

Agar Patata Glucosa: Para el cultivo, aislamiento y determinación del número de gérmenes de Levaduras y mohos, a partir de alimentos y otros materiales. Los hidratos de carbono y la infusión de patata favorecen el crecimiento de levaduras y mohos, en tanto que, debido al bajo valor del pH, la flora bacteriana acompañante queda parcialmente inhibida en su desarrollo.

EQUIPOS Y/O MATERIALES

- Cajas petri estériles
- Pipetas estériles de 10 y 5 ml
- Incubador a 25°C
- Contador de Colonias
- Agar patata glucosa

PROCEDIMIENTO

- Marque las cajas petri en la tapa con el No. de muestra.
- Tomar un ml de cada dilución y servirlos en las cajas.
- Tapar inmediatamente la caja.
- Adicionar el agar patata glucosa a 40-45°C, aproximadamente unos 10-12ml.
- Homogenice bien el medio con la muestra moviendo la caja varias veces en "8".
- Dejar solidificar el medio sobre una superficie lisa.
- Incubar las cajas invertidas por 96 horas a 25°C (temperatura ambiente)
- Transcurrido el tiempo de incubación, sacar las cajas y proceder al recuento.
- Las cajas de control no deben presentar crecimiento.
- Reportar el conteo en UFC de mohos levaduras por g o ml si se trata de sólidos o líquidos.

ANEXO 17
RECuento DE COLIFORMES TOTALES

FUNDAMENTO

Los coliformes son colonias de bacilos gram-negativos que producen ácido y gas durante la fermentación metabólica de la lactosa. Las colonias de coliformes crecen en la Placa Petrifilm y producen un ácido que causa el oscurecimiento del gel por el indicador del pH. El gas atrapado alrededor de las colonias rojas de coliformes confirma su presencia

EQUIPOS Y/O MATERIALES

Tubos de ensayo
Pipetas estériles de 10 y 5 ml
Fioles de 200 y 500 ml.
Placa Petrifilm 3M Coliformes Totales.
Incubador a 30°C +/- 1°C.
Agua de Buffer
Mechero de alcohol
Gradilla
Manual de aseguramiento de Calidad Microbiológica)

PROCEDIMIENTO

-Limpieza y desinfección completamente del área de siembra Microbiológica, permanecido con la luz ultra violeta encendida.

-Tomar las muestras a sembrar.

-Homogenizar y descongelar las diferentes muestra a temperatura ambiente no más de 1 hora.

-Tomar una fiola con agua de peptona de 90ml y pesar 10gr de muestra representativa por lote.

-Dejar reposar la muestra, en el agua de peptona por un lapso de 10 minutos

-En caso de requerirse se realizan las diluciones respectivas de las muestras a analizar. Rotular las placas

-Colocar en una superficie plana y nivelada colocamos la Placa Petrifilm. Levantamos la película Superior.

-Con la pipeta colocamos 1 ml de la muestra diluida en el centro de la película inferior. (asegúrese de no tocar con la punta de la pipeta)

-Baje con cuidado la película superior para evitar que atrape burbujas de aire. No la deje caer.

-Con el lado liso hacia abajo, coloque el dispersor sobre la película superior sobre el inculo.

-Presionamos suavemente el dispersor para distribuir el inculo sobre el área circular, antes de que el gel se solidifique. (No girar ni deslizar el dispersor.)

-Levante el dispersor, dejar reposar por lo menos un minuto, para que el gel se solidifique.

Las placas son incubadas por el lapso de 24 horas, a temperatura de 30°C +/- 1°C y en condiciones aeróbicas normales, apiladas en columnas de hasta 20 unidades.

Después de la incubación, realizar el contaje. (Ver guía MQA-125, Interpretación de resultados Petrifilm.).

ANEXO 18
PREPARACION DE AGARES

PROCEDIMIENTO AGAR MRS

1. Lea en el frasco del reactivo la cantidad necesaria para preparar un litro de agar

MRS. (66,2 g/l)

2. Calcule la cantidad de reactivo que tiene que pesar de acuerdo al volumen que desee preparar de agar MRS:

$$\text{Cantidad de gramos a pesar} = \frac{\text{Volumen a preparar (ml)} \times \text{peso indicado en el reactivo(g)}}{1000(\text{ml})}$$

3. En una fiola pesar la cantidad de reactivo calculada según el volumen de medio a preparar, utilizando espátula o cucharas perfectamente limpias y secas.
4. Mida la cantidad de agua destilada necesaria y colóquela en la fiola con el reactivo y tape.
5. Mezclar bien y disolver al calor con ayuda de la plancha calefactora; calentando hasta punto de rocío.
6. Esterilice el medio en la autoclave a 118 ° C a 15 psi durante 15 minutos.
Temperaturas muy altas y calentamiento prolongado perjudican la calidad del medio.
7. Para servir el medio en las cajas petri enfriar a 40-45°C evitando de esta forma la condensación en la tapa que favorece la contaminación. Las burbujas se quitan flameando. Lea en el frasco del reactivo la cantidad necesaria para preparar un litro de agar Patata Glucosa. (39 g/l)
8. Calcule la cantidad de reactivo que tiene que pesar de acuerdo al volumen que desee preparar

ANEXO 19

Formato de Evaluación de Prueba sensoriales

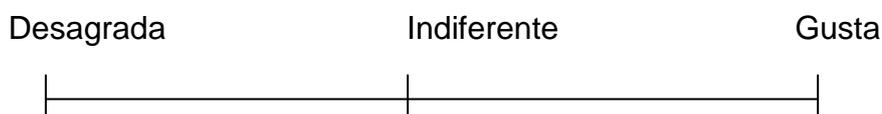
Nombre y Apellido: _____

Fecha: _____

Edad: _____

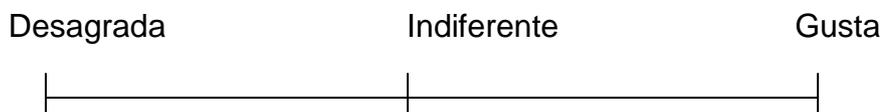
Pruebe la muestra de jugo de naranjilla y marque con una "x" su nivel de agrado, de acuerdo con la escala que se presenta a continuación

MUESTRAS: 160



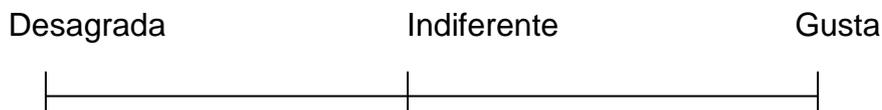
Observaciones:

MUESTRAS: 343



Observaciones:

MUESTRAS: 760



Observaciones:

¡Gracias por su colaboración!

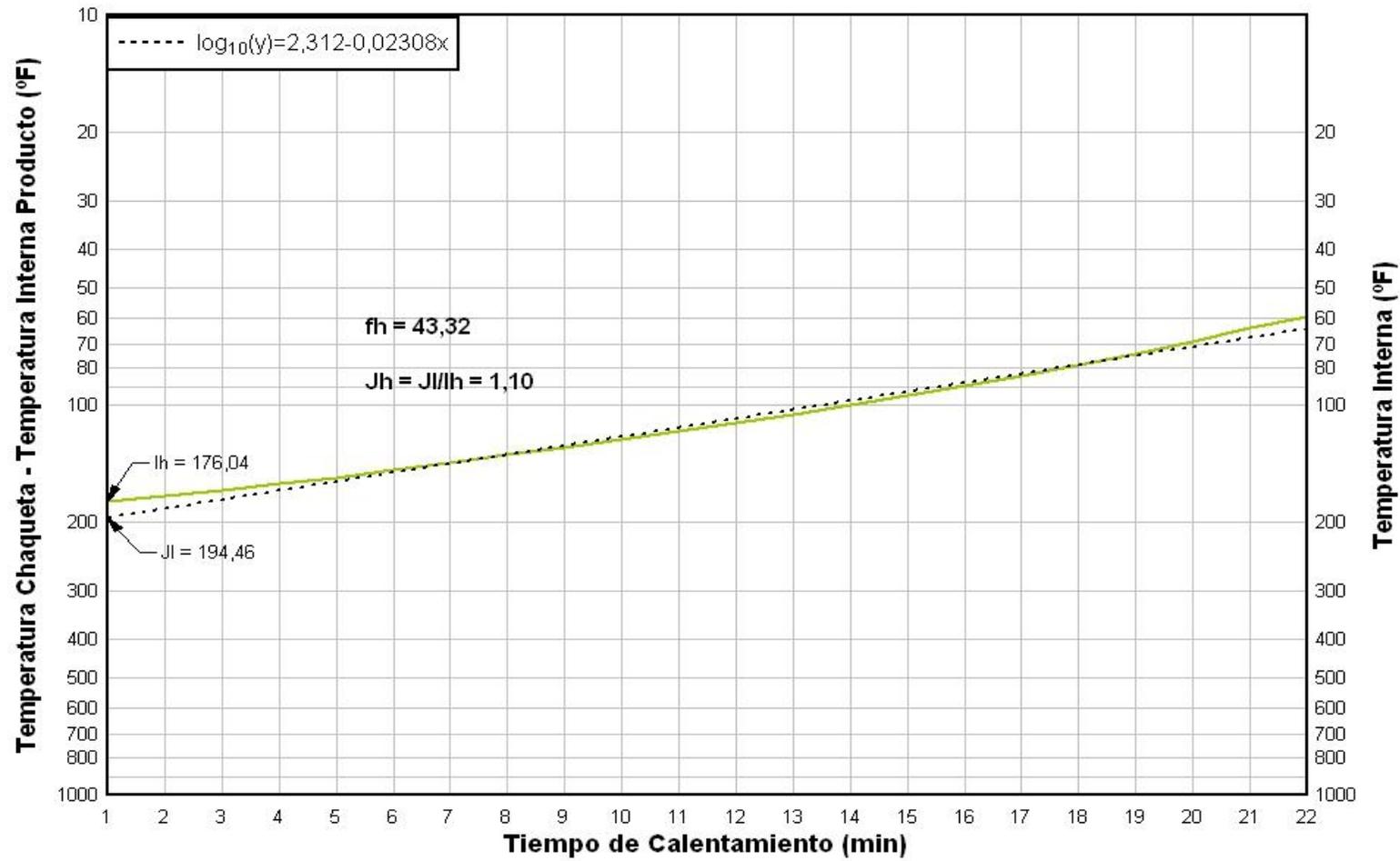
ANEXO 20
PUNTUACION DE LAS MUESTRAS EVALUADAS

Jueces	Muestras		
	343	160	760
1	10,0	7,0	1,5
2	9,9	6,6	1,1
3	7,5	6,2	3,7
4	8,9	7,9	2,6
5	8,3	6,9	4,6
6	8,8	7,4	6
7	6,8	8,0	2
8	10,0	6,7	1,7
9	8,4	6,8	6
10	6,1	7,9	5,1
11	10,0	6,9	4,7
12	8,3	8,0	3,5
13	7,2	6,0	9
14	7,6	6,4	4,8
15	9,7	7,1	5,5
16	8,0	7,1	5,9
17	6,7	7,4	5
18	8,0	5,4	5,5
19	6,0	9,0	3
20	8,2	5,4	1,6
21	6,8	8,5	4,6
22	7,8	6,6	3,8
23	6,6	7,4	1,3
24	8,6	5,6	2,3
25	6,8	6,5	8,5
26	9,0	6,5	4,6
27	7,4	8,0	2,2
28	9,5	7,5	4
29	8,5	7,8	3,6
30	7,7	6,0	3,1
Media	8,10	7,01	4,03

Elaborado por: Sócrates Palacios P.

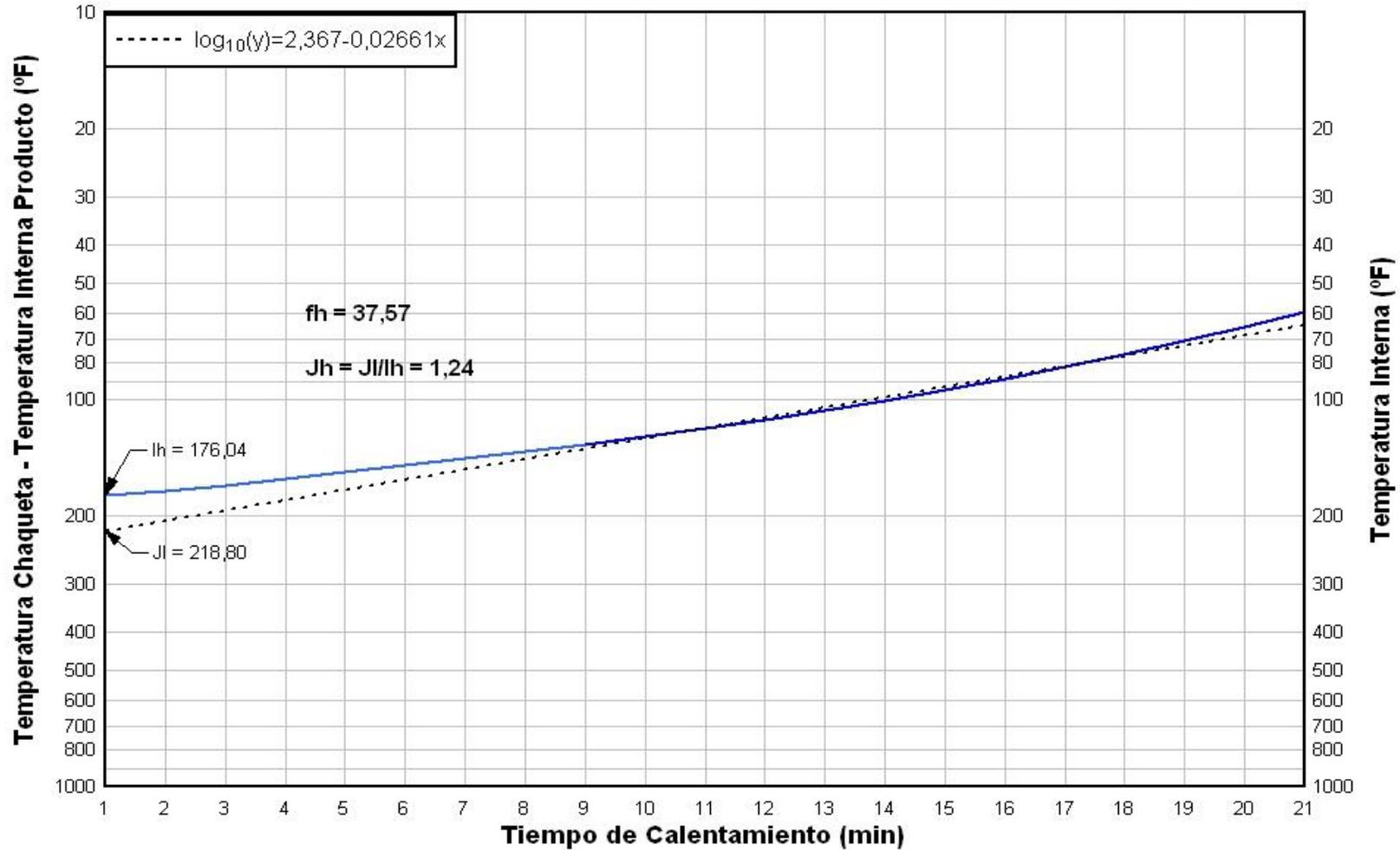
ANEXO 21

CURVA DE PENETRACION DE CALOR CORRIDA EXPERIMENTAL1 CON 880 KG DE PULPA DE NARANJILLA



ANEXO 22

CURVA DE PENETRACION DE CALOR CORRIDA EXPERIMENTAL 2 CON 880 KG DE PULPA DE NARANJILLA



ANEXO 23

CURVA DE PENETRACION DE CALOR CORRIDA EXPERIMENTAL 3 CON 880 KG DE PULPA DE NARANJILLA

