



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE BEBIDAS
NATURALES EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y BEBIDAS DEL MUNICIPIO DE VILLA
NUEVA, GUATEMALA**

Ing. Aryel Darío Duarte Milián
Asesorado por el Mtro. Lic. Maynor Ordoñez

Guatemala, septiembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE BEBIDAS
NATURALES EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y BEBIDAS DEL MUNICIPIO DE VILLA
NUEVA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. ARYEL DARÍO DUARTE MILIÁN
ASESORADO POR EL MTRO. LIC. MAYNOR ORDOÑEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

JURADO EVALUADOR QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADORA	Mtra. Lcda. Blanca Azucena Méndez Cerna
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Vladimir Iván Pérez Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE BEBIDAS
NATURALES EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y BEBIDAS DEL MUNICIPIO DE VILLA
NUEVA, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 23 de mayo de 2020.

Ing. Aryel Darío Duarte Milián

DTG. 421.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE BEBIDAS NATURALES EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y BEBIDAS DEL MUNICIPIO DE VILLA NUEVA, GUATEMALA**, presentado por el Ingeniero **Aryel Darío Duarte Milián**, estudiante del programa de **Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, septiembre de 2021

AACE/cc



Guatemala, septiembre de 2021

LNG.EEP.OI.002.2021

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado:

“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE BEBIDAS NATURALES EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y BEBIDAS DEL MUNICIPIO DE VILLA NUEVA, GUATEMALA”

presentado por **Aryel Darío Duarte Milián** quien se identifica con carné **200818810** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ciencia y tecnología de alimentos**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“*Id y Enseñad a Todos*”

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





Guatemala 29 de noviembre 2020.

M.A. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

M.A. Ingeniero Álvarez Cotí:

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL** del **TRABAJO DE GRADUACIÓN** titulado: **“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE BEBIDAS NATURALES EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y BEBIDAS DEL MUNICIPIO DE VILLA NUEVA, GUATEMALA”**

del estudiante **Aryel Darío Duarte Milián** quien se identifica con número de carné **999001945** del programa de **Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos**. Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación. Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

MSc. Hilda Piedad Palma de Martini
Coordinadora
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, 06 de noviembre de 2020.

M.A. Ing. Edgar Dario Álvarez Cotí,
Director de Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Maestría de Tecnología de alimentos
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Álvarez:

Por este medio hago de su conocimiento que en mi calidad de asesor he revisado y aprobado el informe final de graduación titulado Optimización del proceso de pasteurización de una línea de bebidas naturales en una industria de alimentos y bebidas del municipio de Villa Nueva, Guatemala, elaborado por el estudiante Aryel Darío Duarte Milián quien se identifica con el número de carné 2008-18810.

Agradeciendo su atención y apoyo a la presente, quedó a la orden ante cualquier duda que pueda surgir.

Sin otro particular, me suscribo, atentamente.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Lic. Maynor Ordoñez MAI', written over a horizontal line.

Lic. Maynor Ordoñez MAI

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el creador de la vida y quien me ha dotado de capacidad, aptitudes, inteligencia y perseverancia para lograr tan importante triunfo. Por siempre resguardarme y guiar mis pasos. Para Dios toda la honra y gloria.
- Mis padres** Edmundo Duarte y Eva de Duarte (q. e. p. d.) por su comprensión, apoyo y sus sabios consejos. Hoy les hago entrega de este triunfo que no solo es mío, sino de ellos.
- Mi esposa** Karina Rosales, por todos los momentos de alegría, por ser parte de mi motivación para seguir adelante y nunca dejar de creer en mí.
- Mi hijo** Ethan Jeanluca Duarte, por ser un ángel que Dios ha puesto en mi camino.
- Mis tías** Nancy e Irma Milián, Yolanda y Zoila Ramírez. Gracias por su apoyo moral en bien de mi superación.
- Mis sobrinos** Alexander Duarte y Alejandro Makepeace, que mi triunfo sea un ejemplo para ustedes.

Mis amigos

Brian Jiménez, Cesar Matías, Brayan Auyón, Miguel Corona, Luis Diego Juárez, Reina Castellanos, Ragda Talgi, Vania Solares, Jeseé Carrera, Jorge del Cid, Jorge González, Luis Ángel Esquivel, Cristian Orozco y Carlos González por su apoyo incondicional y nunca dejar de creer en mí. La sangre nos hace parientes, pero la lealtad nos convierte en familia. Y a la cohorte de la maestría, por todos esos momentos y conocimientos que compartimos.

Mi familia

Por su apoyo incondicional, por su amor y paciencia. Gracias por nunca dudar en extenderme una mano de ayuda cuando más lo necesité y siempre dejarme saber que contaba con ustedes. En memoria de mis abuelitos que se han marchado, este triunfo es de ustedes también.

AGRADECIMIENTOS A:

- Universidad de San Carlos de Guatemala** Por abrir sus puertas a mi formación como profesional, ser una importante influencia en mi carrera y a la que siempre estaré orgulloso de pertenecer
- Facultad de Ingeniería** Por brindarme todos los conocimientos necesarios y a todos los catedráticos que sirvieron para mi formación como profesional.
- Mi asesor** Mtro. Lic. Maynor Ordoñez por todo su apoyo, colaboración y conocimientos compartidos a lo largo de la maestría. Sin usted, esto no habría sido posible.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XVII
OBJETIVOS.....	XXI
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Estudios previos	1
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Métodos para preservar alimentos	8
2.1.1. Esterilización.....	8
2.1.2. Pasteurización	8
2.1.2.1. Tipos de pasteurización.....	9
2.1.2.1.1. Proceso VAT	9
2.1.2.1.2. Proceso HTST.....	10
2.1.2.1.3. Proceso UHT.....	10
2.2. Distribución de los alimentos según su acidez	10
2.3. Microorganismos y su resistencia térmica.....	11
2.3.1. Valor D.....	12
2.3.2. Valor Z.....	13
2.3.3. Valor F.....	13

2.4.	Uso de modelos lineales para procesos térmicos de alimentos acidificados	14
2.5.	Microorganismos del deterioro	14
2.5.1.	Levaduras.....	15
2.5.2.	Hongos.....	15
2.5.3.	Bacterias	16
3.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	17
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	21
4.1.	Diagnóstico situacional de la empresa de bebidas	21
4.2.	Diagnóstico de eficiencia del proceso térmico actual	24
4.2.1.	Calidad sensorial.....	24
4.2.2.	Calidad fisicoquímica	24
4.2.3.	Calidad microbiológica	27
4.2.4.	Horas hombre utilizadas en el proceso de producción.....	29
4.2.5.	Producción	29
4.2.6.	Reclamos	30
4.3.	Validación del proceso térmico	30
4.3.1.	Determinación del valor F.....	31
4.3.2.	Penetración de calor	32
4.3.2.1.	Prueba 1.....	33
4.3.2.2.	Prueba 2.....	34
4.3.3.	Calidad microbiológica del producto terminado	35
4.3.4.	Vida de anaquel	36
4.3.4.1.	Análisis microbiológicos	37
4.3.4.2.	Análisis fisicoquímicos.....	39
4.3.4.3.	Análisis sensorial.....	42

4.4.	Determinación del contenido de vitamina C	45
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	47
5.1.	Diagnóstico situacional de la empresa	47
5.2.	Diagnóstico de eficiencia del proceso térmico actual	48
5.3.	Validación del proceso térmico.....	49
5.4.	Determinación del contenido de vitamina C	53
	CONCLUSIONES	55
	RECOMENDACIONES	57
	REFERENCIAS	59
	APÉNDICES	65
	ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de flujo del proceso.....	18
2.	Resultados fisicoquímicos históricos del producto terminado, °Brix, n-52	25
3.	Resultados fisicoquímicos históricos del producto terminado, porcentaje de acidez, n-52	26
4.	Resultados fisicoquímicos históricos del producto terminado, pH, n-52	27
5.	Resultados microbiológicos históricos del producto terminado, recuento aeróbico total RAT, n-52	28
6.	Resultados microbiológicos históricos del producto terminado, mohos y levaduras, n-52	28
7.	Esquema de ubicación de los sensores dentro de la marmita	33
8.	Gráfica de distribución de temperaturas dentro de la marmita, prueba 1, n-265.....	34
9.	Gráfica de distribución de temperaturas dentro de la marmita, prueba 2, n-265.....	35
10.	Resultados microbiológicos para <i>Escherichia coli</i> y <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	36
11.	Vida de anaquel: análisis sensorial prueba 1, parámetros T = 60° y t = 2 minutos, n-10	42
12.	Vida de anaquel: análisis sensorial prueba 2, parámetros T = 60° y t = 2 minutos, n-10	42

13.	Vida de anaquel: análisis sensorial prueba 1, parámetros T = 65° y t = 30 segundos, n-10	43
14.	Vida de anaquel: análisis sensorial prueba 2, parámetros T = 65° y t = 30 segundos, n-10	44
15.	Vida de anaquel: análisis sensorial producción normal, parámetros T = 75° y t = 20 minutos, n-10.....	45

TABLAS

I.	Operacionalización de variable 1	XXIV
II.	Operacionalización de variables 2 y 3	XXV
III.	Resultados de conocimientos de los colaboradores involucrados en el proceso de pasteurización, n-16	21
IV.	Resultados del número de capacitaciones recibidas por los colaboradores involucrados en el proceso de pasteurización, n-16	22
V.	Resultados de capacitaciones recibidas por los colaboradores involucrados en el proceso de pasteurización, n-16	22
VI.	Estado actual de los equipos utilizados en el proceso de pasteurización.....	23
VII.	Capacidad de los equipos utilizados en el proceso de pasteurización.....	23
VIII.	Tiempos del proceso de fabricación del producto.....	29
IX.	Producción diaria del producto	30
X.	Vida de anaquel: análisis microbiológicos prueba 1, parámetros T = 60° y t = 2 minutos	37
XI.	Vida de anaquel: análisis microbiológicos prueba 2, parámetros T = 60° y t = 2 minutos	37
XII.	Vida de anaquel: análisis microbiológicos prueba 1, parámetros T = 65° y t = 30 segundos	38

XIII.	Vida de anaquel: análisis microbiológicos prueba 2, parámetros T = 65° y t = 30 segundos	38
XIV.	Vida de anaquel: análisis microbiológicos producción normal, parámetros T = 75° y t = 20 minutos	39
XV.	Vida de anaquel: análisis fisicoquímicos prueba 1, parámetros T = 60° y t = 2 minutos	39
XVI.	Vida de anaquel: análisis fisicoquímicos prueba 2, parámetros T = 60° y t = 2 minutos	40
XVII.	Vida de anaquel: análisis fisicoquímicos prueba 1, parámetros T = 65° y t = 30 segundos	40
XVIII.	Vida de anaquel: análisis fisicoquímicos prueba 2, parámetros T = 65° y t = 30 segundos	41
XIX.	Vida de anaquel: análisis fisicoquímicos producción normal, parámetros T = 75° y t = 20 minutos	41
XX.	Contenido de vitamina C en el producto terminado	46

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados Celsius
=	Igual
pH	Potencial de Hidrógeno
T	Temperatura
t	Tiempo

GLOSARIO

Alimento acidificado	Alimento de baja acidez al cual se le añade ácido. Tienen una actividad de agua (A_w) mayor a 0.85 y un pH en equilibrio final de 4.6 o menos.
Alimento de baja acidez	Cualquier alimento, exceptuando las bebidas alcohólicas con un pH en equilibrio final mayor de 4.6 y una A_w mayor a 0.85.
Anaerobio	Que es capaz de vivir o desarrollarse en un medio sin oxígeno.
<i>A priori</i>	Es una locución latina que significa de lo anterior. La expresión se refiere a aquello que se realiza con anterioridad a la reflexión sobre el asunto en cuestión.
Biocida	Que se emplea para matar organismos vivos o para detener su desarrollo.
Calidad	Grado en el que un conjunto de características inherentes a un objeto (producto, servicio, proceso, persona, organización, sistema o recurso) cumple con los requisitos.

Clostridium botulinum

Es una especie de bacilo que se encuentra por lo general en la tierra y es productora de la toxina botulínica, el agente causal del botulismo. Estos microorganismos tienen forma de varilla y se desarrollan mejor en condiciones de poco oxígeno.

Enzima

Son moléculas orgánicas que actúan como catalizadores de reacciones químicas, es decir, aceleran la velocidad de reacción.

Escherichia coli

Es una bacteria que forma parte del microbiota del tracto gastrointestinal del ser humano y es de interés para la industria de alimentos.

Escala logarítmica

Es una escala de medida que utiliza el logaritmo de una cantidad física en lugar de la propia cantidad.

Fique

Es el nombre común con el que se le conoce a la planta suculenta perteneciente a la familia Agavaceae, nativa de las regiones tropicales de México, Centroamérica y el caribe.

HACCP

Es un sistema de análisis de peligros y de puntos críticos de control que tiene fundamentos científicos y carácter sistemático, permite identificar peligros específicos y

medidas para su control con el fin de garantizar la inocuidad de los alimentos.

Inocuidad

Garantía de que el alimento no causará daño al consumidor, tanto cuando sea preparado, como cuando se lo consuma según el uso propuesto.

Microorganismo

También llamado microbio, es un ser vivo o un sistema biológico que solo puede visualizarse con el microscopio.

Organoléptico

Sensorial, que se percibe con los sentidos (untuosidad, aspereza, sabor, brillo, entre otros), a diferencia de las propiedades químicas, microscópicas, entre otras.

Patógeno

Es un microorganismo capaz de producir enfermedad o daño a la biología de un huésped, sea animal o vegetal.

Peroxidasa

Es una enzima que cataliza la oxidación de un amplio número de sustratos orgánicos e inorgánicos, utilizando peróxido de hidrógeno.

Punto crítico de control

Fase en la que puede aplicarse un control y que es esencial para prevenir o eliminar un peligro relacionado con la inocuidad de los

alimentos o para reducirlo a un nivel aceptable.

Saccharomyces cerevisiae

Es un hongo unicelular, un tipo de levadura utilizado industrialmente en la fabricación de pan, cerveza y vino.

Vida de anaquel

Se considera como el periodo de tiempo en el cual el alimento conserva los atributos esperados por el consumidor y se puede comercializar.

RESUMEN

Utilizando la microbiología predictiva y modelos matemáticos lineales se documentó y validó el proceso térmico de la bebida de naranja en la línea de bebidas naturales pasteurizadas. Con apoyo de los valores D y Z para *E. coli* y *Saccharomyces cerevisiae*, obtenidos en estudios previos, se calculó el valor de letalidad F que garantiza una reducción de al menos 5 escalas logarítmicas para cada uno de estos microorganismos. Al tener los nuevos parámetros, se realizaron pruebas a nivel laboratorio con expertos, demostrando la teoría del modelo matemático propuesto. Se complementó con estudios de temperatura en la marmita, garantizando la homogeneidad de temperatura dentro de ella.

Se realizó un diagnóstico de eficiencia del proceso térmico actual, comprobando que el proceso cumple su objetivo principal, que es la eliminación de *E. coli*. Con los parámetros propuestos se garantiza además de la eliminación de este microorganismo, una reducción de tiempos, aumentando la productividad y reduciendo costos de fabricación.

Comparando los resultados microbiológicos de las pruebas de vida de anaquel realizadas, se determina que en todos los casos *E. coli* se encuentra ausente, sin embargo, hay un crecimiento de mohos y levaduras después del día 5. Esto se debe a que el proceso de envasado no es aséptico, pero el proceso térmico si reduce 5 escalas logarítmicas para estos microorganismos. Todas las pruebas sensoriales realizadas durante la vida de anaquel demuestran aceptación en cuanto a los parámetros medidos, por lo que se puede aceptar el uso a nivel planta de los parámetros propuestos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Contexto general

La industria de jugos a nivel mundial ha crecido sustancialmente en los últimos años. Desde el jugo de frutas tradicionales hasta los que mezclan verduras y hierbas, las oportunidades que se abren son enormes día con día, ya que los consumidores se encuentran buscando alternativas ricas, saludables y naturales. Gracias a la creatividad, la innovación y una comprensión más matizada de los mercados desarrollados y emergentes, las empresas están respondiendo correctamente a estos requerimientos (Pittaluga, 2016).

En el primer semestre de 2019 las empresas centroamericanas importaron jugos de frutas y hortalizas por \$63 millones, y las compras a compañías en México aumentaron en 5 % respecto a igual período de 2018. Estas cifras, obtenidas del área de Inteligencia Comercial de Central América Data, indican que la tendencia al consumo de alimentos saludables y nutritivos es cada vez mayor en la región. Las empresas locales que fabrican este tipo de alimentos tienen un reto muy importante, ya que deben mantener estándares de calidad e inocuidad en sus productos para que el consumidor final se sienta satisfecho y siga consumiéndolos.

Un factor relevante en la fabricación de este tipo de producto es el proceso térmico de pasteurización, ya que debe garantizar la calidad e inocuidad de este. Al realizar este estudio se evaluaron estos dos aspectos en el producto, sometiéndolo a un proceso térmico óptimo basado en el concepto de modelos

lineales y apoyados del valor D, Z y F, que garantiza la ingesta de bebidas naturales saludables en la población guatemalteca

- Descripción del problema

En la línea de fabricación de bebidas naturales en una industria de alimentos y bebidas del municipio de Villa Nueva, Guatemala, se realiza el proceso de pasteurización como tratamiento térmico microbicida y es un punto crítico de control para el proceso dentro del plan HACCP de la línea.

La producción del jugo de naranja es aproximadamente de 30 000 galones mensuales, es el producto líder y más vendido de la empresa. Lamentablemente no se tenía documentada una validación del proceso térmico aplicado y se desconocía si era el óptimo. Desde el inicio el proceso térmico fue establecido con parámetros $t = 20$ min y $T = 75-80$ °C, pero no se tiene ninguna base científica ni una validación documentada. Si se compara este tiempo y temperatura con el concepto de pasteurización, es demasiado tiempo con la temperatura establecida.

Según Badui (2006), “pasteurización se entiende por exponer un producto a altas temperaturas por cortos periodos de tiempo. Mientras más alta es la temperatura, menor será el tiempo. Refiere también que el proceso de pasteurización de la leche a 72 °C durante 15 segundos es efectivo” (p. 392), por lo que se sugirió que un menor tiempo en el proceso es mejor en cuanto a la calidad del producto (se mantiene los nutrientes), económico (se disminuye el consumo energético y los costos de fabricación) y productivo, ya que disminuye las horas hombre invertidas para elaborar el producto.

- Formulación del problema

El trabajo de investigación realizado se planteó buscando respuestas a las siguientes preguntas:

Pregunta principal

- ¿Cómo validar el proceso de pasteurización de la bebida de naranja en la línea de bebidas naturales pasteurizadas para su optimización?

Preguntas secundarias

- ¿Cuál es la eficiencia del proceso térmico actual utilizado en la pasteurización de la bebida de naranja en la línea de bebidas naturales pasteurizadas?
- ¿Cómo validar el efecto del proceso térmico propuesto para la bebida de naranja en la línea de bebidas naturales pasteurizadas?
- ¿Cuál es el contenido de vitamina C en la bebida de naranja de la línea de bebidas naturales pasteurizadas?

- Delimitación del problema

El trabajo de investigación fue delimitado al estudio del proceso térmico de pasteurización de la bebida de naranja en la línea de bebidas naturales pasteurizadas de una empresa ubicada en Villa Nueva, Guatemala, diciembre 2019 – noviembre 2020.

OBJETIVOS

General

Validar el proceso de pasteurización de la bebida de naranja en la línea de bebidas naturales pasteurizadas para su optimización.

Específicos

- Realizar un diagnóstico de la eficiencia del proceso térmico actual utilizado en la pasteurización de la bebida de naranja en la línea de bebidas naturales pasteurizadas.
- Validar el efecto del proceso térmico propuesto para la bebida de naranja en la línea de bebidas naturales pasteurizadas utilizando un paquete inoculado de levaduras y pruebas de temperatura en el proceso.
- Determinar el contenido de vitamina C en la bebida de naranja de la línea de bebidas naturales pasteurizadas para evaluar la calidad nutricional del producto terminado.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

- Tipo de estudio

El estudio propuesto permitió clasificarlo como mixto ya que permitió recaudar más información que la recopilada por los enfoques de manera separada. El enfoque mixto es un proceso que recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio.

También fue de tipo transversal porque la investigación se centró en analizar el nivel o estado de una o diversas variables en un momento dado o bien, en cuál es la relación entre un conjunto de variables en un punto en el tiempo.

- Diseño de investigación

Para llevar a cabo la investigación se utilizó un diseño experimental debido a que es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés.

En este trabajo de investigación se realizó la recolección de datos a través de registros históricos de los diferentes análisis que se realizan a la bebida de naranja, se observó el proceso de fabricación, se realizaron entrevistas a los involucrados y se hicieron revisiones bibliográficas. Al tener toda la información necesaria recopilada, se diseñó y validó la propuesta para ser presentada a la

empresa con el objetivo de optimizar el proceso térmico de pasteurización actual de la bebida de naranja en la línea de bebidas naturales pasteurizadas.

- Alcance de la investigación

El alcance del trabajo de investigación fue de tipo descriptivo ya que su propósito fue describir el estado, características, factores y otros aspectos presentes en situaciones o fenómenos naturales. El alcance de este enfoque no permitió la comprobación de hipótesis, solamente la predicción de resultados. Con este tipo de investigación fue posible caracterizar globalmente el objeto en estudio (Lerma, 2009). Se tuvieron sujetos de estudio y unidad de análisis.

- Operacionalización de variables

Las variables de estudio se describen en las tablas I y II.

Tabla I. **Operacionalización de variable 1**

Nombre de la Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Indicador
Diagnóstico de eficiencia del proceso térmico	Es el conocimiento aproximado de las diversas problemáticas de una población objetivo, a partir de la identificación e interpretación de los factores y actores que determinan su situación, un análisis de sus perspectivas y una evaluación de la misma (Prado, 2012)	Un diagnóstico forma parte de la primera etapa de un proceso en la investigación. Se realiza a través de registros históricos, entrevistas y encuestas dirigidas al personal involucrado en la elaboración del producto (10 operarios, 1 supervisor, 1 técnico de calidad, 1 jefe de Aseguramiento de Calidad y 1 jefe de producción) y observaciones en el área de proceso.	1. Calidad del producto Terminado. Atributos <ul style="list-style-type: none"> • Apariencia Física: Líquida • Textura: acuosa y homogénea, fácilmente bebible • Color: Característico • Olor: Característico, sin notas extrañas • Sabor: Característico, sin notas extrañas de dulzura o acidez Calidad fisicoquímica <ul style="list-style-type: none"> • °Brix: 8.4-8.8 • pH: 2.5-3.5 • %Acidez: 0.61-0.67 Calidad microbiológica <ul style="list-style-type: none"> • Recuento total < 1000 UFC/g. • Grupo Coliforme < 10 UFC/g. • Mohos y levaduras < 100 UFC/g • <i>E. coli</i>: <3 NMP/g o <10 UFC/g 2. Costos <ul style="list-style-type: none"> • Vapor generado en la línea • Horas hombre 3. Producción diaria 4. Reclamos

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. Operacionalización de variables 2 y 3

Nombre de la Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Indicador
Validación del proceso térmico propuesto	La validación de procesos es establecer evidencia documentada que proporciona un alto grado de seguridad que un proceso específico, consistentemente produce un producto que cumple las especificaciones y características de calidad e inocuidad predeterminadas.	La validación determina que el proceso funciona uniformemente según lo previsto, comienza con el diseño del modelo, continúa con las pruebas de calor en el proceso y las pruebas microbiológicas en el producto terminado, se complementa finalmente, con pruebas de vida de anaquel. Los resultados deben demostrar que el proceso cumple las especificaciones determinadas con anterioridad.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Determinación del valor F <ul style="list-style-type: none"> • Reducción 5 log a través de modelos matemáticos 2. Penetración de calor <ul style="list-style-type: none"> • Uniforme y Homogénea 3. Calidad microbiológica del producto Terminado. <ul style="list-style-type: none"> • Mohos y levaduras < 100 UFC/g • <i>E. coli</i>: <3 NMP/g o <10 UFC/g 4. Vida de anaquel <ul style="list-style-type: none"> • Análisis microbiológicos, fisicoquímicos y sensoriales cada 5 días
Determinación del contenido de vitamina C	Las vitaminas están presentes en los alimentos y productos alimentarios de origen animal y vegetal. El motivo de los análisis es comprobar si se cumplen los reglamentos legales y si el contenido vitamínico declarado está presente realmente en el producto. Por lo tanto, es imprescindible contar con métodos analíticos que proporcionen resultados rápidos y precisos en los ensayos de contenido vitamínico de los productos.	Las vitaminas hidrosolubles, como la vitamina C, normalmente no se almacenan en el cuerpo, sino que se eliminan poco después del consumo. Se necesita una ingesta regular de estas vitaminas por lo que se debe conocer la cantidad que contiene el producto terminado, este análisis se realizará en un laboratorio externo.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cuantificación de vitamina <ul style="list-style-type: none"> • mg (miligramos) • Porcentaje VDR (Valor Diario de Referencia)

Fuente: elaboración propia.

- Técnicas de análisis de información

Para analizar la información recopilada durante la investigación se utilizaron técnicas de la estadística descriptiva y algunos indicadores estadísticos para el análisis de la información como la media y moda.

Estas medidas descriptivas proporcionaron las principales propiedades de los datos observados, así como las características clave del fenómeno bajo investigación. Por lo general, la información proporcionada por la estadística descriptiva puede ser transmitida con facilidad y eficacia mediante una variedad de herramientas gráficas como los gráficos de tendencia, que muestran una característica de interés sobre un periodo, para observar su comportamiento en el tiempo. Los métodos gráficos son de mucha utilidad para entender con claridad un fenómeno analizado.

Se analizaron los datos recibidos del personal involucrado directamente en la operación y proceso (16 personas), previamente recolectados por el investigador a través de entrevistas (apéndice 1), observaciones y datos históricos del proceso. Con estos datos se obtuvieron medias y modas que sirvieron para tener un diagnóstico de la empresa.

Posteriormente, se recopiló toda la información necesaria para elaborar una propuesta del proceso térmico óptimo, encontrando el valor de letalidad F a través de los valores D y Z de referencia. Con apoyo de un laboratorio externo se replicó el proceso, donde se tomaron muestras del producto antes y después del proceso térmico, luego se realizaron análisis microbiológicos y se demostró la reducción de 5 escalas logarítmicas, garantizando la inocuidad del producto después de haber introducido un paquete inoculado de *E. coli* y *S. cerevisiae*.

Finalmente, con apoyo de un laboratorio externo se realizó un análisis para determinar el contenido de vitamina C en el producto, y se confirmó que consumiendo 1 litro de la bebida se aporta la cantidad diaria recomendada.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación consiste en una sistematización del proceso de pasteurización de la línea de bebidas naturales utilizando la metodología de modelos lineales para procesos térmicos de alimentos acidificados descrita por Breidt, Sandeep y Arritt, (2010), determinando la temperatura y tiempo ideal para lograr la reducción de 5 escalas logarítmicas del microorganismo objetivo más resistente, que en este caso fue *E. coli*.

El problema principal de la empresa era que no contaba con ninguna validación del proceso térmico actual aplicado a la bebida de naranja, derivado del papel tan importante que juega la pasteurización en la industria de alimentos y bebidas, se realizó un diagnóstico del proceso térmico actual, incluyendo los resultados de pruebas sensoriales, fisicoquímicas y microbiológicas del producto terminado, el equipo utilizado en el proceso, costos de fabricación, horas hombre y reclamos.

Al tener una radiografía del proceso actual, se calculó e implementó un sistema documentado y validado a través de los valores D, Z y F que garantizan la inocuidad del producto terminado. Se disminuyeron los tiempos establecidos actualmente, reduciendo los costos de operación que conlleva la pasteurización de la bebida de naranja, sin afectar sus características sensoriales ni sus propiedades nutricionales y por supuesto cumpliendo el objetivo principal del proceso de pasteurización que es garantizar la inocuidad del producto.

Otro beneficio que obtuvo la empresa después de haber realizado este trabajo de investigación fue contar con un soporte o validación documentada del

punto crítico de control del plan *HACCP* de la línea de bebidas naturales pasteurizadas.

Los capítulos del informe final se dividen en: capítulo I Antecedentes, capítulo II Marco teórico (donde se encuentra información sobre los diferentes métodos que existen para conservar alimentos, detallando el proceso térmico de pasteurización y las formas de validarlo), capítulo III Desarrollo de la investigación (que incluye un diagnóstico de la situación actual del proceso térmico utilizado, resultados de pruebas realizadas al producto terminado, entre ellas pruebas microbiológicas, sensoriales, y fisicoquímicas), capítulo IV presentación de resultados (Aquí se presenta la propuesta basada en modelos matemáticos y verificada a través de un paquete inoculado de microorganismos), capítulo V discusión de resultados (donde se validó el proceso térmico a través de pruebas de temperatura y referencias) y por supuesto las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación realizado.

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en una industria de alimentos y bebidas ubicada en el municipio de Villa Nueva, Guatemala, en el período de diciembre 2019 a noviembre 2020.

1. ANTECEDENTES

1.1. Estudios previos

En la industria alimentaria uno de los microorganismos de más interés es *Escherichia Coli*, mejor conocido como *E. coli*, debido a que algunos serotipos son muy peligrosos para la salud de los consumidores, provocando infecciones intestinales, y en el peor de los casos la muerte. Los productores de alimentos utilizan tratamientos térmicos, agregan antimicrobianos, modifican el pH y la actividad de agua en los productos para poder controlar y eliminar microorganismos causantes de enfermedades. Por otra parte, la microbiología predictiva se utiliza para tomar decisiones sobre la inactivación de microorganismos en los alimentos y consiste en desarrollar y aplicar expresiones matemáticas para diseñar el proceso de inactivación de estos según indican (Romero, López-Malo y Palou 2011).

El objetivo principal de este artículo fue hacer una revisión sobre información disponible acerca de este microorganismo en los productos alimenticios, complementado con estudios que se han realizado al modelar su inactivación cuando se aplican métodos de conservación de forma combinada. Se determinó que la bacteria *E. coli* en los productos alimenticios disminuye cuando se utilizan diferentes métodos de conservación como reducción de pH o actividad de agua, adición de conservantes y el uso de altas temperaturas. Se utilizó el valor $D = 6.7$ min y $Z = 3.6$ °C a una temperatura de referencia de 55 °C para calcular los parámetros de tiempo y temperatura para inactivar *E. coli*, tal como lo indican (Romero *et al.*, 2011). Este artículo aportó al trabajo de

investigación la base de referencia en cuanto a inocuidad, para realizar el modelo matemático que garantice la inactivación de *E. coli* en el producto.

La esterilidad comercial de jugos procesados llenados en caliente es lograda por la pasteurización y posterior inactivación de los microorganismos causantes del deterioro que se encuentran en el envase, al llenarlos con el producto caliente. Levaduras, mohos y otras bacterias tolerantes a los ácidos, asociados con frutas crudas, concentrados y el ambiente de proceso son los principales microorganismos del deterioro de interés para un adecuado procesamiento de jugos, como lo mencionan (Shearer, Mazzotta, Chuyate y Gombas, 2002).

El objetivo principal del artículo fue evaluar la resistencia al calor de una variedad de microorganismos aislados de productos deteriorados. La resistencia relativa al calor se determinó en un *buffer* de citrato a diferentes valores de pH, y posteriormente en productos de jugo reales tratados únicamente a través de una pasteurización. Este artículo aportó al trabajo de investigación la base de referencia en cuanto a calidad, para realizar el modelo matemático que garantice la inactivación de *S. cerevisiae* en el producto.

La pasteurización se utiliza en diferentes productos, el proceso requiere aumentar la temperatura del producto por un período definido de tiempo, este proceso debe garantizar la destrucción microbiana de patógenos y, por ende, mejorar la vida de anaquel del producto. El tiempo es un factor importante, si es demasiado tiempo, el producto podría perder su valor alimenticio e incluso, podría adquirir propiedades organolépticas y sensoriales no deseables. El tiempo debe ser el adecuado, ya que, si es muy poco, no alcanzaría a destruir patógenos, esto representaría un peligro para las personas que consumen el producto según mencionan (Martínez y Rosenberger, 2013).

El objetivo principal del artículo fue optimizar el proceso de pasteurización de jugo de naranja y leche, donde se utilizó el método de elementos finitos para la simulación de diferentes temperaturas y así pronosticar el cambio de las mismas en productos líquidos envasados en plástico. El aporte de este artículo fue desarrollar un modelo que permita predecir el cambio de temperatura en productos líquidos envasados en plástico.

El principal objetivo de un proceso de pasteurización es la destrucción de bacterias patógenas, este proceso fue descubierto, desarrollado e implementado por el químico Louis Pasteur. Consiste en someter diferentes productos al calor por un determinado tiempo y así eliminar cepas de microorganismos patógenos. En sus inicios, se utilizaba en leche cruda, esta era sometida a una temperatura de 60°C por media hora según indica (González, 2007). El objetivo principal de la tesis fue desarrollar un pasteurizador para una industria heladera.

Cuando se aplica temperatura, algunos nutrientes se pierden en el proceso, esto indica que al exponer un alimento a condiciones altas de temperatura durante largos períodos de tiempo podemos reducir la cantidad de vitaminas u otros nutrientes en el producto final, como lo indican (Villareal, Mejía, Osorio y Cerón, 2015). El objetivo principal del estudio fue determinar la temperatura adecuada de pasteurización de jugos que garantice la ausencia de Peroxidasa conteniendo la mayor cantidad de vitamina C.

Se realizaron pruebas a diferentes temperaturas evaluando el tiempo de vida del producto y la presencia de vitamina C después de cierto periodo de tiempo. Se pudo concluir que las diferentes temperaturas no afectaron en gran proporción el contenido de vitamina C al final de tiempo de vida, todos los tiempos aplicados fueron menores a 120 segundos. El aporte de este artículo fue

presentar la evaluación de un tratamiento térmico y determinar su eficiencia por medio de la presencia de enzimas en el producto terminado.

Con relación a los microorganismos importantes en un proceso térmico o pasteurización de acidez alta, con valores de $\text{pH} < 4$, son los hongos *Byssochlamys fulva*, *B. nívea* y la bacteria *Lactobacillus* sp según indica (Alvarado citado en Encina, Bernal y Rojas, 2013). *Byssochalmys* es un género de hongo muy fuerte y común que causa el deterioro en alimentos frutales, esto es por la alta resistencia que poseen sus ascosporas y su extensa disposición en el medio ambiente según indica (Gómez, 2004).

El objetivo del trabajo fue encontrar la capacidad antioxidante lipófila en el producto final. Se concluyó que existe disminución en la capacidad después de transformar la materia prima, que son las frutas. El aporte de esta investigación fue determinar la temperatura ideal de pasteurización para maximizar esta capacidad en el producto.

Los procesos térmicos son muy eficaces, estos estabilizan productos ya que poseen la capacidad de inactivar enzimas del deterioro y eliminar o reducir a un nivel aceptable los diferentes microorganismos patógenos, reduciendo daños en el producto según citan (Latorre, Pantoja, Mejía, Osorio y Hurtado, 2013). El objetivo de dicho trabajo fue evaluar diferentes procesos térmicos que inactivaran las enzimas provocantes del deterioro en el jugo de fique, este jugo resulta del proceso de obtención de su fibra.

Como medición de la eficiencia de un proceso de pasteurización, se evaluó la presencia residual de 2 enzimas: polifenol oxidasa y peroxidasa, estas causan el deterioro en distintos zumos. Se concluyó que, aplicando el proceso de pasteurización propuesto, se pueden resguardar las características biocidas del

zumo. El aporte de este artículo al trabajo de investigación fue evaluar el proceso de pasteurización a través de la presencia de enzimas que causan el deterioro en los zumos de frutas.

La optimización de procesos es el principal objetivo de la teoría de la mejora continua que indica Deming con su ciclo PDCA. El objetivo principal de la tesis de Jiménez (2017) fue de mejorar las propiedades sensoriales del producto a partir de un estudio del proceso térmico por medio de la disminución de tiempos de cocción en la elaboración del producto.

Se realizaron estudios de penetración de calor que permitieron reducir el tiempo de letalidad del proceso, resultando en una mejora del proceso térmico y en el perfil sensorial del producto. El aporte fue evaluar diversos métodos para mejorar el proceso térmico de pasteurización y los atributos del producto relacionados con su calidad.

Toda la información recopilada en esta sección, datos de estudios, tesis, artículos, libros, entre otros, que realizaron diferentes personas sirvió como base para realizar el presente trabajo de investigación.

2. MARCO TEÓRICO

Los alimentos que provienen del campo, en principio no pueden ser comercializados directamente después de ser cosechados, estos deben pasar ciertos procesos y transformaciones previamente. Inclusive todos aquellos alimentos que se puedan utilizar directamente deberán pasar por un proceso adecuado de envasado, tomando en consideración las necesidades que existan en el mercado del producto. Usualmente, la mayoría de los productos de origen agrícola son utilizados con finalidad alimentaria, por esto, deben ser adecuados apropiadamente para su uso según indica (Ibarz, 2005).

Por esta razón, las industrias alimentarias que transforman materias primas obtenidas del campo para realizar productos naturales tienen la obligación de procesar apropiadamente todas las materias primas. Esto tiene como finalidad que el producto cumpla ciertos criterios, tanto de inocuidad como de calidad. El proceso va desde un simple lavado y sanitizado de frutas y verduras hasta el tratamiento térmico aplicado, como una pasteurización o esterilización.

Sharma y Mulvaney (2003) indican que uno de los tratamientos o sistemas que se conocen más, a nivel mundial, es la pasteurización. Este tratamiento conlleva la destrucción de microorganismos patógenos y algunos microorganismos que son causantes del deterioro, haciendo los productos seguros para su consumo y estables para almacenarse por un mayor tiempo, incrementando su vida de anaquel.

2.1. Métodos para preservar alimentos

Actualmente, existe una gran variedad de procesos para mantener la calidad e inocuidad en los alimentos, estos métodos reducen las poblaciones de algún microorganismo objetivo. Entre estos métodos se puede mencionar: el calor, la irradiación, las altas presiones hidrostáticas, los pulsos eléctricos, entre otros. Lo que hacen todos estos tratamientos es que los microorganismos pierdan su viabilidad y no puedan reproducirse, que generalmente es lo que se busca cuando se habla de conservación de alimentos.

Los tratamientos más comunes son los que funcionan aplicando calor al alimento, como la esterilización y pasteurización.

2.1.1. Esterilización

Se aplica para eliminar a los microorganismos patógenos y del deterioro, que pueden reproducirse en condiciones normales de almacenamiento. También se le conoce como esterilización comercial ya que el producto es estable por un periodo indefinido de tiempo, todos los microorganismos han sido prácticamente destruidos según (Guevara y Cancino, 2008).

2.1.2. Pasteurización

Es un proceso térmicamente más leve que una esterilización y es el tratamiento mayormente utilizado para eliminar o reducir exponencialmente el nivel de microorganismos, unos patógenos y otros causantes del deterioro, especialmente en productos sensibles al calor como la leche, cerveza o jugos. Originalmente, se empleaban temperaturas de 62 °C durante 30 minutos y se

procedía a un enfriamiento rápido. Actualmente, se consigue el mismo propósito si se aplica 80 °C durante 15 segundos (Bosquez y Colina, 2012).

La pasteurización a temperaturas altas indica Aguilar (2012) que consiste en emplear calor para generar altas temperaturas, estas oscilan entre los 75 y 90 °C regularmente, en tiempos relativamente mínimos de dos y cinco minutos, afectando la microbiología del producto, pero no su estructura química. Este tratamiento es utilizado en productos como jugos, zumos, néctares, vinos, conservas, encurtidos, entre otros.

2.1.2.1. Tipos de pasteurización

Existen 3 tipos de pasteurización, la primera es denominada pasteurización lenta o VAT en inglés, la segunda es la pasteurización a altas temperaturas por cortos tiempos, en inglés se denomina HTST y finalmente, está el proceso de ultra altas temperaturas, en inglés UHT. A continuación, se detalla cada uno.

2.1.2.1.1. Proceso VAT

Es un término proveniente del idioma inglés “vat” que se traduce como tina o tinaja. También se le denomina pasteurización lenta por el tiempo del proceso y fue el primer tratamiento empleado para eliminar o reducir microorganismos a un nivel seguro en la leche. El proceso es sencillo, consiste en el calentamiento de grandes cantidades de un determinado producto en una olla u otro recipiente a temperaturas no tan elevadas, no superando los 68 °C, frecuentemente son de 63 °C por un tiempo de 30 minutos (parámetros utilizados en la leche originalmente) para después pasar al proceso de enfriado lento. El proceso posterior de envasar el producto es tardado, a menudo pueden transcurrir hasta 24 horas esperando el enfriamiento del producto.

2.1.2.1.2. Proceso HTST

Es un tratamiento utilizado en diversos líquidos a granel, entre ellos los jugos, cerveza y leche. El tratamiento es más conveniente que el proceso anterior porque somete a elevadas temperaturas el producto por periodos cortos de tiempo. Se puede realizar de dos maneras, la primera se conoce como *batch* o lote y la segunda es conocida como flujo continuo. En ambos casos, la temperatura se mantiene regularmente entre 72 y 75 °C por un tiempo de quince segundos (en la leche). Lo complejo de este tratamiento es que se necesita personal capacitado para la operación debido a la necesidad de controles rigurosos durante la etapa productiva.

2.1.2.1.3. Proceso UHT

Es un proceso de flujo continuo y somete a una temperatura mayor el producto, esta temperatura es mayor a la del proceso anterior, puede llegar a 138 °C por un tiempo mínimo de 2 segundos. También se le conoce como ultra pasteurización (Frazier y Westhoff, 2003).

2.2. Distribución de los alimentos según su acidez

La pasteurización expone el producto a temperaturas no demasiado intensas, dependiendo del producto en el que se va a aplicar, el proceso tiene diferentes objetivos. Para productos ácidos, donde el ejemplo más notable son los jugos de frutas, el objetivo principal es obtener la mejor estabilidad del producto que mantenga sus características sensoriales y organolépticas durante un mayor tiempo de vida, no requiere altas temperaturas porque en medios ácidos no crecen bacterias productoras de esporas ni endosporas.

En productos ácidos se encuentran microbios con alta sensibilidad al calor, los cuales pueden ser eliminados con un proceso leve o de menor intensidad. En esta variedad de productos crecen bacterias que son vulnerables con el calor y no generan esporas, las bacterias con más resistencia llegan hasta los 88 °C regularmente. Los mohos y las levaduras no toleran los medios sin aire, es decir que, no serían de mayor relevancia. Por esta razón, el objetivo principal del tratamiento a emplear es lograr una estabilidad en el producto, que puede ser alcanzada con una pasteurización. Este proceso también inactivará enzimas, ayudando a prevenir el pardeamiento enzimático y otro tipo de reacciones producidas por las enzimas que deterioran el alimento o producto según lo mencionan (Casp y Abril, 2003).

Como se mencionó anteriormente, los microorganismos se desarrollan en diferentes medios y en distintas formas. La capacidad de crecimiento y la resistencia al calor se ven afectadas por la acidez del medio: a pH ácidos (<4.6) crecen hongos, levaduras y bacterias deteriorantes, mientras que a pH > 4.6 crecen bacterias patógenas. Esto es importante ya que el tratamiento térmico que debe aplicarse a los alimentos ácidos será más ligero que para los no ácidos (Bosquez y Colina, 2012).

2.3. Microorganismos y su resistencia térmica

Las primeras investigaciones sobre la incidencia que tiene el calor en la destrucción o reducción de poblaciones de microorganismos se deben a los estudiosos Bigelow y Ball en los años 1921 y 1923 respectivamente, ellos propusieron una teoría para evaluar el tratamiento térmico con relación a la inactivación, reducción y muerte de poblaciones de microorganismos. En los siguientes años, de 1946 a 1973, Gillespy, Jakobsen y Stumbo señalaron que la

eliminación o reducción de un microorganismo por medio del calor, se explica conforme a un proceso siguiendo un patrón estadístico.

La idea principal de esta teoría indica que, cualquier tipo de microorganismo y espora muere a una determinada temperatura, entre más alta sea, la probabilidad de muerte o destrucción va a ser superior. Según indican Casp y Abril (2003) la resistencia de un microorganismo al calor a una determinada temperatura no cambia con el tiempo su probabilidad de muerte.

2.3.1. Valor D

El valor D es conocido como el tiempo necesario, en minutos, para lograr una reducción logarítmica de una determinada población de microorganismos. Este valor es característico de cada especie de microorganismo y se encuentra definido a una temperatura establecida, es decir que, al someter un microorganismos o espora al calor constante, a una temperatura y un periodo de tiempo establecido, se destruirá el 90 % de la población y si se extiende el proceso por otro periodo igual D, se destruirá el 90 % de microorganismos restantes. Si se sigue con este ciclo, se continuará reduciendo la población microbiana sucesivamente.

Si se conoce el valor D de un determinado microorganismo y el número de reducciones deseadas, se puede encontrar el tiempo de duración de un proceso térmico ideal, que garantice la inocuidad del alimento. Siempre hay que tener en cuenta que la temperatura debe ser la misma temperatura establecida previamente junto con el valor D.

Al existir una conexión logarítmica entre el tiempo y los supervivientes después del tratamiento aplicado, jamás se debe asegurar que se eliminan

completamente estos microorganismos presentes en el producto, porque la curva es asintótica con el eje de las abscisas, que en este caso representan al tiempo en minutos. Es necesario que pase un tiempo infinito para lograr un número de supervivientes igual a cero según sugieren (Casp y Abril 2003).

2.3.2. Valor Z

Se define como la elevación de temperatura necesaria para reducir 1 unidad logarítmica el valor D, este valor provee información sobre la resistencia microbiana a diferentes temperaturas. Cuando se aumenta la temperatura de un proceso térmico ciertos grados "Z", el tiempo necesario para lograr la misma reducción es menor, unas 10 veces menos.

Todos los puntos de la recta tienen una misma letalidad, por esta razón, disponemos de ilimitados valores de temperatura y tiempo con igual validez contra el microorganismo objetivo. Cada valor utilizado tendrá un proceso térmico semejante, pero de variables diferentes de temperatura y tiempo según (Casp y Abril 2003).

2.3.3. Valor F

El tiempo de muerte térmica F es el tiempo total requerido para lograr una reducción establecida en una población de células o esporas vegetativas. Este tiempo puede denotarse como un múltiplo de los valores de D, siempre que la curva de sobrevivencia siga un modelo de primer orden. Por ejemplo, un 99.99 % (Singh y Heldman, 2009).

2.4. Uso de modelos lineales para procesos térmicos de alimentos acidificados

Para productos con un pH < 3.3 se han publicado procesos de calor necesarios para asegurar una reducción de cinco escalas logarítmicas de patógenos bacterianos vegetativos en productos vegetales acidificados. Las condiciones de procesamiento se determinaron utilizando el modelo de Weibull porque, en algunos casos, se observó una cinética no lineal para la destrucción térmica de las cepas de *E. coli* O157: H7 y del género *Salmonella* y *Listeria* utilizadas en el estudio.

La FDA (Food y Drug Administration) ha solicitado, recientemente, que se use un modelo lineal para la destrucción térmica de los patógenos vegetativos en las solicitudes que se ingresan para la presentación de un proceso requerido. El uso de parámetros de modelo lineal (valores Z y F, temperatura de referencia y un valor mínimo de esterilización) permite una comparación de procesos para alimentos enlatados de baja acidez y alimentos acidificados (Breidt *et al.*, 2010).

2.5. Microorganismos del deterioro

La base fundamental para diseñar y establecer un proceso térmico para cualquier tipo de producto es conocer a profundidad la microbiología de alimentos. Todos los alimentos no procesados provenientes del campo, especialmente las frutas y hortalizas, contienen microorganismos que ocasionalmente provocarán su descomposición, a menos que se inactiven. Es importante conocer la estructura y comportamiento de los microorganismos ya que la conservación de alimentos requiere que sean controlados.

Diversos microorganismos que se han descubierto desempeñan alguna función beneficiosa y son indispensables para la fabricación del queso, pan, cerveza, vino, entre otros, o para la elaboración de antibióticos, enzimas, alcoholes y otros productos. Algunos microorganismos específicos son causantes de enfermedades a los consumidores, ya sea por alguna sustancia que produzca o por la irrupción directa de éste. Los principales microorganismos de importancia en la conservación de alimentos son las levaduras, hongos y algunas bacterias según (Bosquez y Colina 2010).

2.5.1. Levaduras

Son microorganismos de forma ovoide regularmente, son unicelulares y de menor tamaño que los hongos, pero más grandes que las bacterias, miden aproximadamente entre 5 y 30 micras. Se asocian a productos líquidos con azúcar y ácidos, la mayoría de las levaduras se inactivan con calor aproximado de 77 °C.

2.5.2. Hongos

Se encuentran ampliamente en la naturaleza, crecen en condiciones ideales de temperatura y humedad en cualquier alimento, diversidad de ellos se reproducen por esporas. Toleran mejor el frío que el calor, no sobreviven después de aplicar un riguroso proceso térmico. Este tipo de microorganismo no es un problema significativo en alimentos elaborados utilizando un proceso térmico adecuado.

2.5.3. Bacterias

Son los microorganismos de mayor importancia cuando se procesan alimentos, son unicelulares y su tamaño va desde las 0.5 micras hasta 5 micras. Las más importantes en el deterioro de los alimentos son los cocos y bacilos que producen esporas ya que estas últimas, sobreviven a altas temperaturas.

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se desarrolló en las fases que se detallan a continuación:

- Fase 1: revisión documental

La revisión documental respondió a la revisión documental para realizar la investigación de antecedentes del problema y marco teórico relacionado al mismo.

- Fase 2: diagnóstico

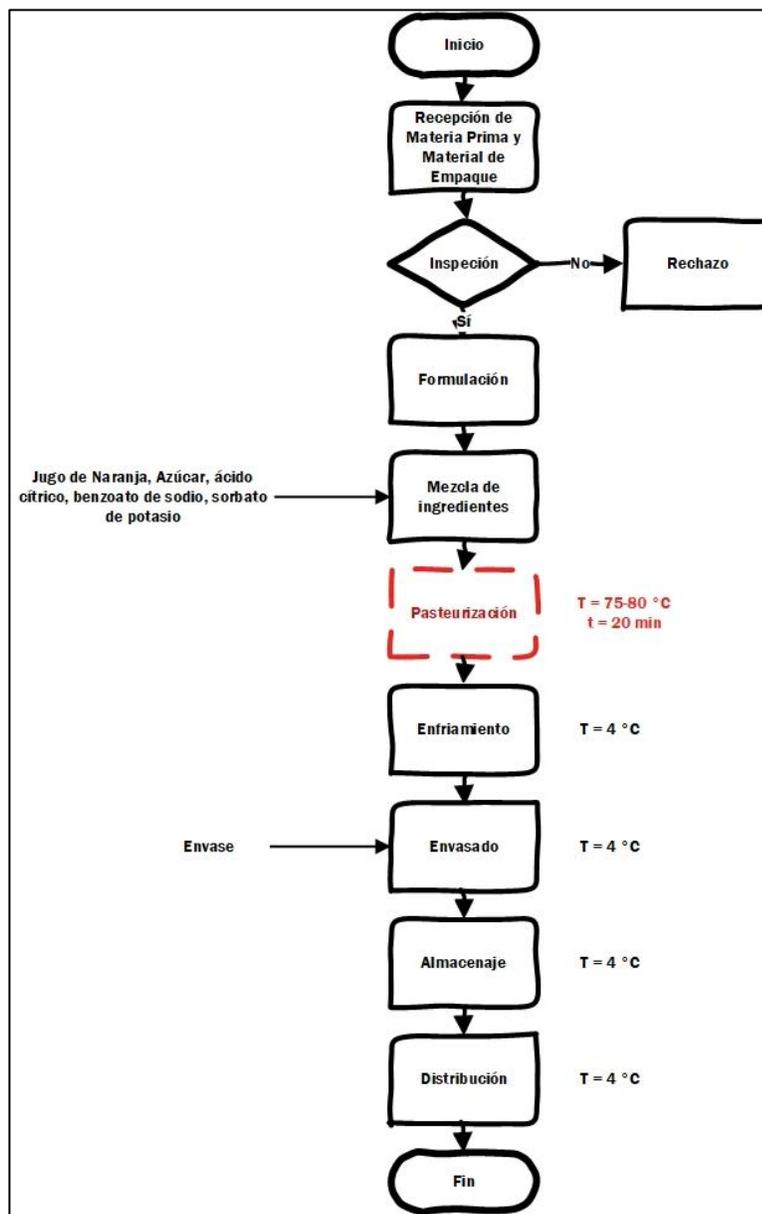
El diagnóstico se realizó a través de la recopilación de datos históricos de la empresa, es decir registros de los análisis realizados al producto, también se recopiló información por medio de entrevistas al personal apoyándose en los instrumentos de recolección de datos número 1 y 4 (Apéndices 1 y 3), observaciones del proceso de pasteurización y toda documentación pertinente. Los datos recolectados incluyen:

- Especificaciones técnicas de los equipos
- Registros del proceso
- Resultados de análisis microbiológicos
- Resultados de análisis fisicoquímicos
- Fichas técnicas del producto

El producto es elaborado con Jugo de naranja, azúcar, ácido cítrico, benzoato de sodio, sorbato de potasio y envasado en PET. Después de ser

mezclados todos los ingredientes se pasteuriza y se enfría rápidamente para almacenarlo y distribuirlo a temperatura de refrigeración (4 °C). En la figura 1 se muestra una descripción gráfica del proceso.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio, 2020.

- Fase 3: elaboración de la propuesta del proceso térmico

En esta fase se determinó el tiempo y temperatura óptima con la ayuda de modelos matemáticos. El producto, por sus características fisicoquímicas y tener un pH menor a 4.6, se considera un alimento ácido. Según leyes de la *Food and Drug Administration (FDA)*, por sus siglas en inglés, es necesario reducir la carga microbiana 5 escalas logarítmicas en alimentos ácidos o acidificados, con un proceso térmico adecuado para garantizar la inocuidad del producto (*FDA, Title 21 Part 114 Acidified Foods*).

Por tal razón, se encontró el valor de letalidad F y se propuso un modelo de proceso térmico que garantice la reducción de 7 escalas logarítmicas, para mayor seguridad, de *E. coli* y *Saccharomyces cerevisiae*, cumpliendo la función principal del proceso de pasteurización, que es reducir la carga microbiana.

- Fase 4: validación del proceso térmico propuesto

Después de haber elaborado la propuesta del proceso térmico, se realizó una inoculación de *E. coli* y *Saccharomyces cerevisiae* en el proceso para determinar el efecto que tiene sobre estos microorganismos. Con análisis microbiológicos se determinó la carga inicial y la carga final, después de haber concluido el proceso de pasteurización.

El trabajo de investigación se complementó con un estudio de penetración de calor dentro de la marmita, colocando sensores de temperatura en diferentes posiciones para confirmar que la temperatura penetra uniformemente en toda la marmita, esto se realizó con ayuda de expertos que la empresa proporcionó.

Para enriquecer las conclusiones del trabajo se efectuaron reuniones con el equipo de inocuidad de la empresa y en función a ellas se evaluó la implementación del proceso térmico propuesto.

- Fase 5: determinación de vitamina C

Durante esta fase se realizaron análisis de contenido de vitamina C al producto terminado en un laboratorio externo para determinar la cantidad de vitamina C presente.

- Resultados esperados

Los resultados fueron:

- El establecimiento de la base teórica y marco de referencia para desarrollar el trabajo de investigación.
- La documentación y validación del proceso térmico.
- La reducción del tiempo del proceso y reducción de costos de operación relacionados a la energía utilizada para el proceso y horas hombre.
- Determinar la calidad nutricional del producto.
- Obtener el reporte final del trabajo de investigación en base a las directrices establecidas por la Escuela de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería.

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Se realizaron entrevistas al personal utilizando el instrumento de recolección de datos 1 (ver apéndice 1) para tener un panorama general de la empresa, los resultados se muestran a continuación.

4.1. Diagnóstico situacional de la empresa de bebidas

Tabla III. **Resultados de conocimientos de los colaboradores involucrados en el proceso de pasteurización, n-16**

Descripción	SI	Porcentaje	NO	Porcentaje
Proceso de pasteurización se encuentra validado	12	75	4	25
Existe documentación sobre alguna validación del proceso de pasteurización	10	62.5	6	37.5
Conocimientos sobre la pasteurización y su función	15	93.75	1	6.25
Conocimientos sobre los tipos de pasteurización	8	50	8	50
Conocimiento de los límites de tiempo y temperatura establecidos para el proceso	13	81.25	3	18.75
Tiempos y temperaturas utilizadas actualmente son óptimas en el proceso de pasteurización	11	68.75	5	31.25
Conocimientos sobre la medición de temperatura y tiempo en el proceso de pasteurización	14	87.5	2	12.5
Conocimientos sobre el equipo utilizado para el proceso de pasteurización	14	87.5	2	12.5
Conocimientos sobre el proceso completo para la elaboración del producto	10	62.5	6	37.5
Conocimientos sobre la realización de análisis al producto terminado	16	100	0	0
Conocimientos en procesos térmicos	6	37.5	10	62.5
Conocimientos en HACCP	14	87.5	2	12.5
Conocimientos en PCC	13	81.25	3	18.75
Conocimientos en BPM	16	100	0	0

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se puede observar que gran parte de los colaboradores tienen conocimientos generales del proceso de elaboración de la bebida de naranja, BPM y HACCP, pero el 62 % desconoce sobre procesos térmicos y el 50 % de los tipos de pasteurización.

Tabla IV. **Resultados del número de capacitaciones recibidas por los colaboradores involucrados en el proceso de pasteurización, n-16**

Capacitaciones del personal	Número de capacitaciones recibidas					
	1	Porcentaje	2 o 3	porcentaje	5 o más	porcentaje
Capacitaciones recibidas año 2019	0	0	11	68.75	5	31.25

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Resultados de capacitaciones recibidas por los colaboradores involucrados en el proceso de pasteurización, n-16**

Descripción	BPM	Porcentaje	HACCP	Porcentaje	PROCESOS TÉRMICOS	Porcentaje	OTROS	Porcentaje
Capacitaciones recibidas anualmente	16	100	9	56.25	3	18.75	8	50

Fuente: elaboración propia.

En el año 2019 los colaboradores recibieron en promedio 3 capacitaciones que incluyeron temas de BPM, HACCP y otros temas relacionados con la inocuidad.

Posteriormente, se realizaron observaciones in situ y consultas al personal de mantenimiento utilizando el instrumento de recolección de datos 4 (ver

apéndice 3) para conocer el equipo utilizado en el proceso de pasteurización, los resultados se muestran a continuación:

Tabla VI. **Estado actual de los equipos utilizados en el proceso de pasteurización**

Equipo	Año de compra / fabricación	Apariencia Física		
Marmita u Olla	No disponible	1	2	3
Medidor de Tiempo	2019	1	2	3
Medidor de temperatura	2019	1	2	3
Tubería	Entrada 2020, Salida 2019	1	2	3

Fuente: elaboración propia.

El estado general de los equipos se realizó utilizando una escala de valoración nominal elaborada por el investigador donde 1 = Bueno, 2 = Regular, 3 = Deficiente.

Tabla VII. **Capacidad de los equipos utilizados en el proceso de pasteurización**

Equipo	Capacidad Teórica	Capacidad Real / Operación
Marmita u Olla	600 galones	50 - 600 galones
Medidor de Tiempo	Horas: minutos: segundos: centésimas	Minutos: segundos
Medidor de temperatura	0 °C – 120 °C	20 °C – 90 °C
Tubería	Entrada Ø = 1, ¼ Salida Ø = ¾	Entrada Ø = 1, ¼ Salida Ø = ¾

Fuente: elaboración propia.

La capacidad de los equipos utilizados en el proceso de pasteurización es la apropiada según la operación.

4.2. Diagnóstico de eficiencia del proceso térmico actual

Se realizó un diagnóstico de los atributos o características de calidad e inocuidad del producto terminado para determinar la eficiencia del proceso térmico actual, tomando en cuenta un histórico de resultados de calidad e inocuidad de 52 muestras aleatorias tomadas por la empresa. Se incluyeron las características sensoriales, fisicoquímicas y microbiológicas del producto terminado, así como el costo hora – hombre del proceso actual, los reclamos y producciones diarias.

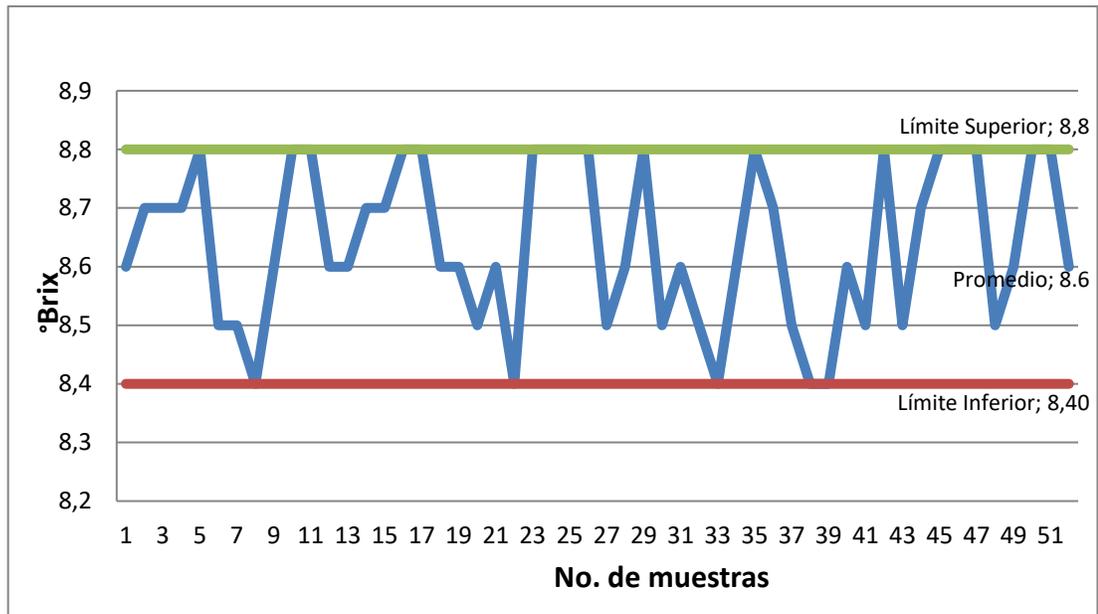
4.2.1. Calidad sensorial

Los resultados sensoriales obtenidos de las 52 muestras se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la empresa en cuanto a color, olor, sabor y textura.

4.2.2. Calidad fisicoquímica

La calidad fisicoquímica del producto está conformada por la medición de distintas propiedades como los sólidos disueltos (°B), el ph y la acidez. Los resultados obtenidos se muestran en las figuras 2, 3 y 4.

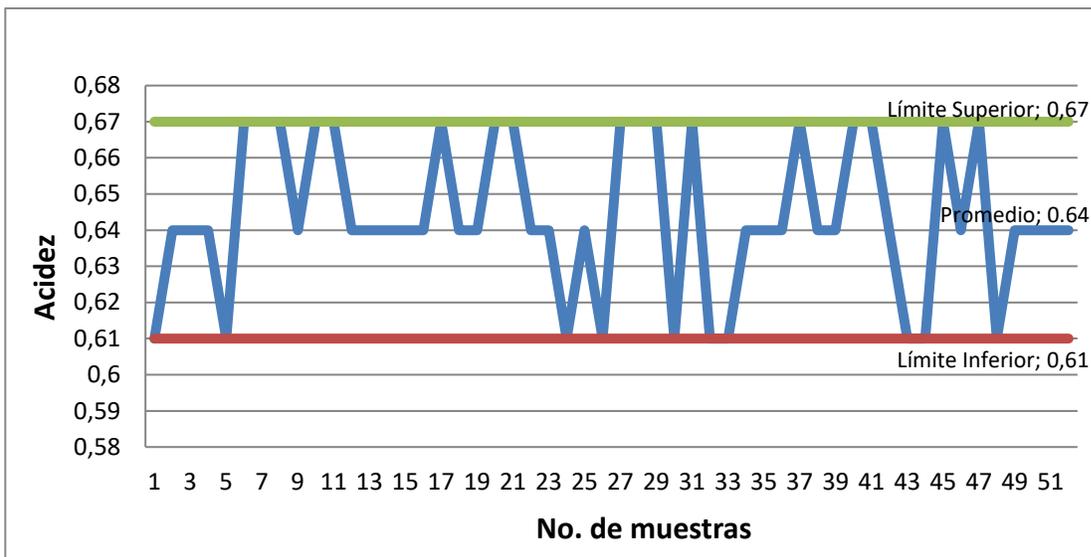
Figura 2. **Resultados fisicoquímicos históricos del producto terminado, °Brix, n-52**



Fuente: elaboración propia, empleando datos del laboratorio interno de la empresa, 2020.

Las 52 muestras se encuentran dentro del rango establecido siendo su promedio de °Brix = 8.64.

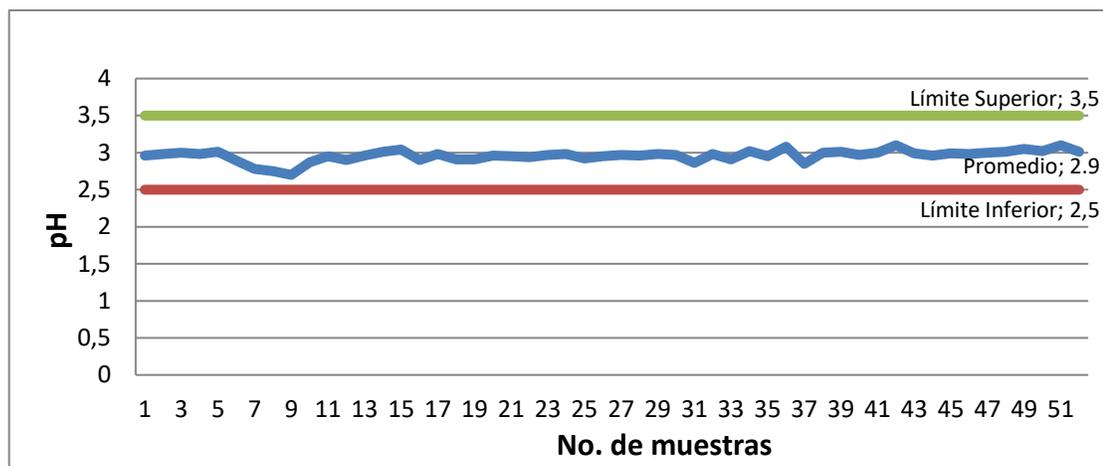
Figura 3. **Resultados fisicoquímicos históricos del producto terminado, porcentaje de acidez, n-52**



Fuente: elaboración propia, empleando datos del laboratorio interno de la empresa, 2020.

Las 52 muestras se encuentran dentro del rango establecido siendo su promedio de acidez = 0.64.

Figura 4. **Resultados fisicoquímicos históricos del producto terminado, pH, n-52**



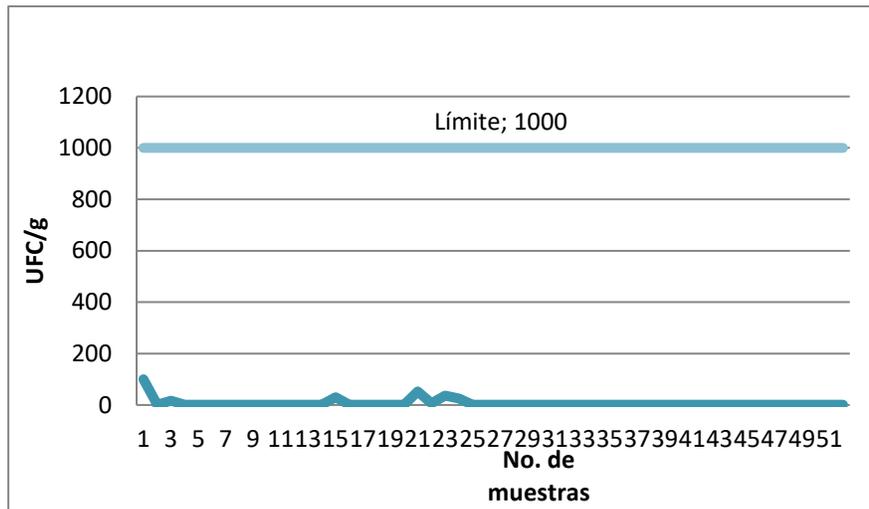
Fuente: elaboración propia, empleando datos del laboratorio interno de la empresa, 2020.

Las 52 muestras se encuentran dentro del rango establecido siendo su promedio de pH = 2.96.

4.2.3. Calidad microbiológica

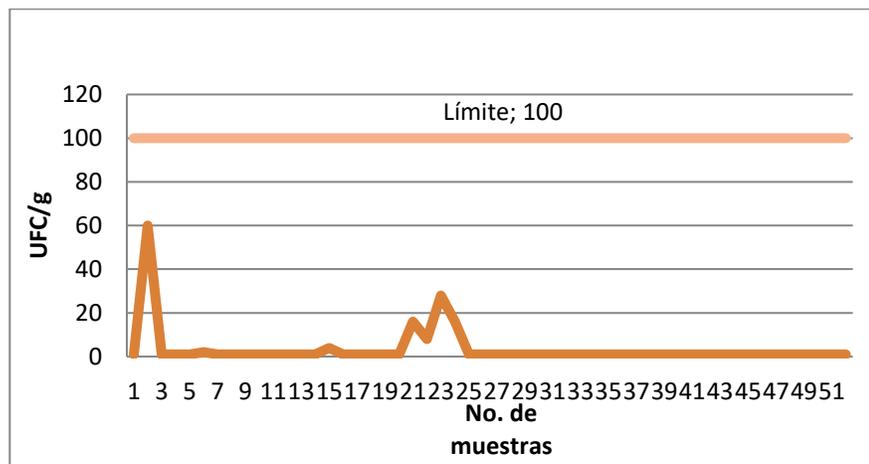
Los resultados para coliformes y *E. coli* de las 52 muestras tomadas han salido negativos.

Figura 5. **Resultados microbiológicos históricos del producto terminado, recuento aeróbico total RAT, n-52**



Fuente: elaboración propia, empleando datos del laboratorio interno de la empresa, 2020.

Figura 6. **Resultados microbiológicos históricos del producto terminado, mohos y levaduras, n-52**



Fuente: elaboración propia, empleando datos del laboratorio interno de la empresa, 2020.

Los resultados para recuento aeróbico total (RAT), mohos y levaduras presentan algunas desviaciones, pero todas dentro de parámetros.

4.2.4. Horas hombre utilizadas en el proceso de producción

Para determinar las horas hombre utilizadas del proceso, se tomaron en cuenta las etapas mostradas en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Tiempos del proceso de fabricación del producto**

Etapas del proceso	Tiempo utilizado (minutos)
Mezclado de ingredientes	30
Pasteurización	20
Enfriamiento	80
Envasado	50
Total	180

Fuente: elaboración propia.

Las horas hombre utilizadas para la elaboración de un batch de 600 galones del producto en la presentación de ½ galón son:

- 5 personas x 3 horas = 15 horas x costo de la hora hombre (Q 15.83) = Q 237.45.

4.2.5. Producción

Para determinar la producción diaria del producto se tomó en cuenta el historial de fabricación del producto de los primeros 8 meses del año 2020.

Tabla IX. **Producción diaria del producto**

Presentación	Galones Producidos
1/2 litro	46950
1 litro	12328
1/2 galón	137884
1 galón	12371
Total	209532
Producción mensual	26192
Producción diaria	1091

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla anterior, se tiene una producción diaria aproximada de 1,091 galones y la presentación que más se produce de la bebida de naranja es la presentación de ½ galón.

4.2.6. Reclamos

Los reclamos del producto terminado no están relacionados a la inocuidad del producto, no se ha tenido ningún reclamo por contaminación microbiológica, química o física. Sin embargo, se han presentado desviaciones en la calidad del producto terminado con reclamos por codificaciones borrosas del envase o sin codificación, en otros casos y fugas derivadas de problemas de la tapa.

4.3. Validación del proceso térmico

La validación del proceso térmico se realizó determinando el valor F letal del proceso que garantiza la reducción de 7 escalas logarítmicas para *E. coli* y *Saccharomyces cerevisiae*:

4.3.1. Determinación del valor F

Los valores de referencia para *E. coli* son $T_{ref} = 55\text{ °C}$, valor $D = 6.7$ minutos y valor $Z = 3.6\text{ °C}$.

$$F = \frac{F_0}{Tasa\ letal} \text{ Fórmula 1}$$

Donde

$$F_0 = 7D = 7 * 6.7 = 46.9 \text{ minutos. Fórmula 2}$$

$$Tasa\ letal = 10^{\left(\frac{T - T_{ref}}{Z}\right)} \text{ Fórmula 3}$$

Se tomó la temperatura $T = 60\text{ °C}$, sustituyendo los valores queda de la siguiente forma:

$$F = \frac{F_0}{10^{\left(\frac{T - T_{ref}}{Z}\right)}} \rightarrow F = \frac{46.9}{10^{\left(\frac{60 - 55}{3.6}\right)}} = 1.92 \text{ minutos.}$$

También se tomaron los valores de referencia para *Saccharomyces cerevisiae*, que son $T_{ref} = 60\text{ °C}$, valor $D = 1.3$ minutos y valor $Z = 3.6\text{ °C}$.

$$F = \frac{F_0}{Tasa\ letal} \text{ Fórmula 1}$$

Donde

$$F_0 = 7D = 7 * 1.3 = 9.1 \text{ minutos. Fórmula 2}$$

$$\text{Tasa letal} = 10^{\left(\frac{T - T_{\text{ref}}}{Z}\right)} \quad \text{Fórmula 3}$$

Se tomó la temperatura $T = 65 \text{ }^\circ\text{C}$, porque con la temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$ el tiempo de exposición es de 9.10 minutos, muy alto para los fines del trabajo de investigación. Sustituyendo los valores queda de la siguiente forma:

$$F = \frac{F_0}{10^{\left(\frac{T - T_{\text{ref}}}{Z}\right)}} \rightarrow F = \frac{9.1}{10^{\left(\frac{65 - 60}{3.6}\right)}} = 0.37 \text{ minutos.}$$

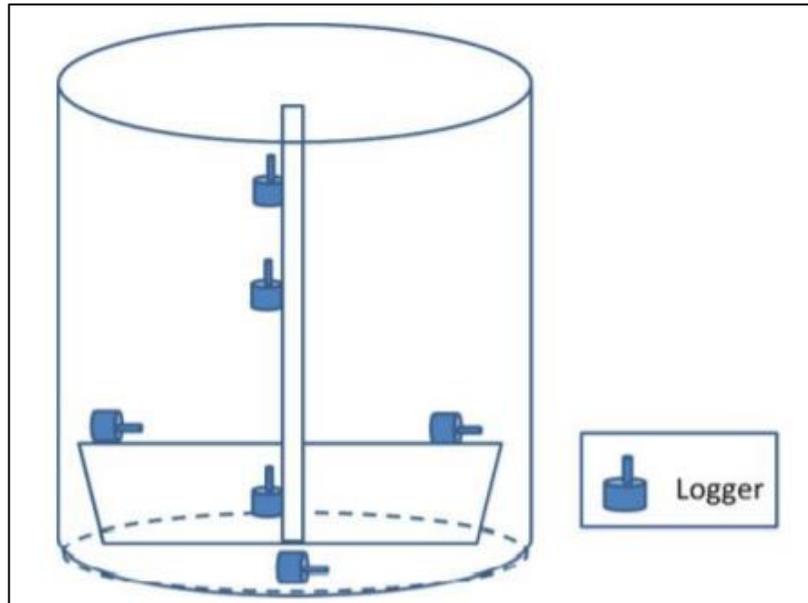
Derivado del resultado y análisis anterior, los parámetros que se proponen para el proceso de pasteurización son:

- Tiempo = 30 segundos, Temperatura = $65 \text{ }^\circ\text{C}$
- Tiempo = 2 minutos, Temperatura = $60 \text{ }^\circ\text{C}$

4.3.2. Penetración de calor

Para garantizar una temperatura uniforme y homogénea dentro de la marmita se realizaron dos pruebas de temperatura, con ayuda de una empresa externa.

Figura 7. **Esquema de ubicación de los sensores dentro de la marmita**



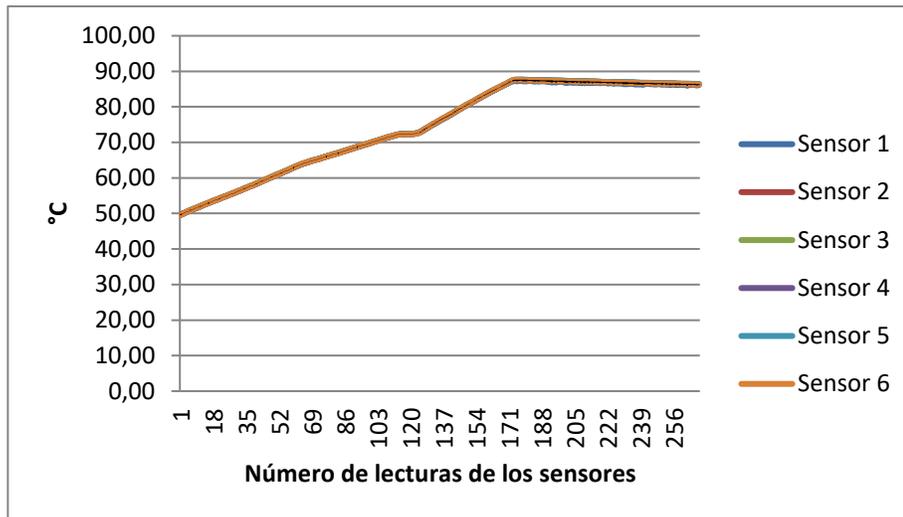
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio, 2020.

La figura anterior muestra las posiciones donde se colocaron los sensores dentro de la marmita. Los datos obtenidos de los sensores se muestran a continuación:

4.3.2.1. Prueba 1

La prueba se realizó colocando sensores de temperatura dentro de la marmita, en distintas posiciones, para determinar si la temperatura es homogénea en todas sus partes internas. Los datos obtenidos de la prueba 1 se muestran a continuación:

Figura 8. **Gráfica de distribución de temperaturas dentro de la marmita, prueba 1, n-265**



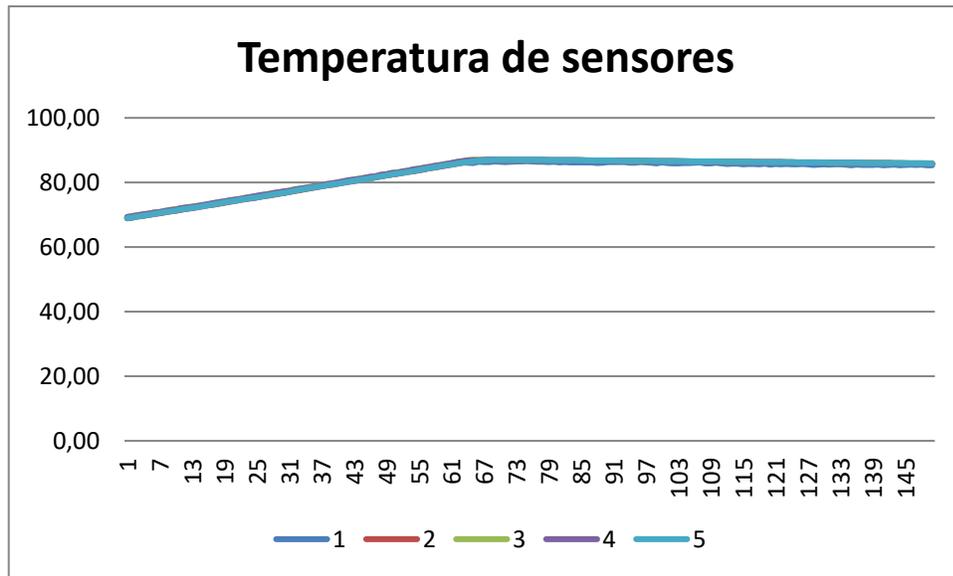
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel, 2020.

La primera prueba se realizó con 6 sensores ubicados en diferentes posiciones (Figura 8) y la segunda prueba se realizó con 5 sensores únicamente, quitando el sensor del fondo de la marmita. A continuación, se muestran los resultados de la prueba 2.

4.3.2.2. Prueba 2

La prueba 2 se realizó de la misma manera, solamente se retiró un sensor. Los datos obtenidos de la prueba 2 se muestran a continuación:

Figura 9. **Gráfica de distribución de temperaturas dentro de la marmita, prueba 2, n-265**



Fuente: elaboración propia.

Se puede observar en ambas pruebas que las temperaturas de todos los sensores colocados se mantienen similares, demostrando uniformidad en toda la marmita.

4.3.3. **Calidad microbiológica del producto terminado**

Se realizó una prueba de desafío con apoyo de un laboratorio externo, donde se añadieron 6 escalas de los microorganismos objetivos del estudio (*E. coli* cepa ATCC8739 y *S. cerevisiae* cepa disponible comercialmente) cultivados internamente por el laboratorio, luego se realizó el proceso térmico con parámetros $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $t = 2$ minutos.

Se tomaron análisis microbiológicos al inicio y al final para determinar la eficiencia del proceso, los resultados se muestran a continuación.

Figura 10. **Resultados microbiológicos para *Escherichia coli* y *Saccharomyces cerevisiae***

		Tecnología de Alimentos		Noviembre 2019	
Plan de muestreo		Instrumento de recolección de datos #02			
Linea			Producto		
Bebidas naturales pasteurizadas			Bebida de naranja		
Muestra 1					
Etapas del proceso	Tiempo	Temperatura	<i>E. Coli</i>	<i>S. Cerevisiae</i>	
Pasteurización	Inicio del proceso	60°C	Ausencia	10 ⁶	
Muestra 2					
Etapas del proceso	Tiempo	Temperatura	<i>E. Coli</i>	<i>S. Cerevisiae</i>	
Pasteurización	Fin del proceso	60°C	Ausencia	10 ¹	

Fuente: elaboración propia, empleando datos del laboratorio FQB, 2020.

En la prueba realizada con parámetros de $T = 60^{\circ}\text{C}$ y $t = 2$ minutos, se puede observar una reducción de 5 escalas logarítmicas para *S. cerevisiae* (Levadura disponible comercialmente) y una ausencia de *E. coli* (ATCC8739) desde el inicio, después de haber introducido el inóculo.

4.3.4. Vida de anaquel

Se realizaron análisis microbiológicos, fisicoquímicos y sensoriales. A continuación, se muestran los resultados.

4.3.4.1. Análisis microbiológicos

Para los análisis microbiológicos se tomaron en cuenta diferentes microorganismos. Para medir la inocuidad se tomó la bacteria patógena *E. coli*, y para medir calidad otros microorganismos deteriorantes como las coliformes, aerobios, mohos y levaduras.

Tabla X. **Vida de anaquel: análisis microbiológicos prueba 1, parámetros T = 60° y t = 2 minutos**

Día	<i>E. coli</i> <10 UFC/g	Coliformes <10 UFC/g	RAT <1000 UFC/g	Mohos y Levaduras <100 UFC/g
5	Ausencia	<1	256	160
10	Ausencia	<1	608	360
15	Ausencia	<1	178	118
20	Ausencia	<1	191	106
25	Ausencia	<1	121	112
30	Ausencia	<1	64	236

Fuente: elaboración propia, empleando datos del laboratorio interno de la empresa, 2020.

Tabla XI. **Vida de anaquel: análisis microbiológicos prueba 2, parámetros T = 60° y t = 2 minutos**

Día	<i>E. coli</i> <10 UFC/g	Coliformes <10 UFC/g	RAT <1000 UFC/g	Mohos y Levaduras <100 UFC/g
5	Ausencia	<1	276	336
10	Ausencia	<1	240	368
15	Ausencia	<1	255	362
20	Ausencia	<1	190	336
25	Ausencia	<1	160	345
30	Ausencia	<1	178	378

Fuente: elaboración propia, empleando datos del laboratorio interno de la empresa, 2020

Los resultados microbiológicos obtenidos en la primera prueba, realizada con parámetros de temperatura = 60 °C y tiempo = 2 minutos, demuestran que no hay presencia de *E. coli* en el producto después de 30 días, sin embargo, si hay presencia de mohos y levaduras.

Tabla XII. **Vida de anaquel: análisis microbiológicos prueba 1, parámetros T = 65° y t = 30 segundos**

Día	<i>E. coli</i> <10 UFC/g	Coliformes <10 UFC/g	RAT <1000 UFC/g	Mohos y Levaduras <100 UFC/g
5	Ausencia	<1	46	92
10	Ausencia	<1	200	138
15	Ausencia	<1	216	145

Fuente: elaboración propia, empleando datos del laboratorio interno de la empresa, 2020.

Tabla XIII. **Vida de anaquel: análisis microbiológicos prueba 2, parámetros T = 65° y t = 30 segundos**

Día	<i>E. coli</i> <10 UFC/g	Coliformes <10 UFC/g	RAT <1000 UFC/g	Mohos y Levaduras <100 UFC/g
5	Ausencia	<1	240	108
10	Ausencia	<1	193	132
15	Ausencia	<1	202	148

Fuente: elaboración propia, empleando datos del laboratorio interno de la empresa, 2020.

Los resultados microbiológicos obtenidos en la segunda prueba, realizada con parámetros de temperatura = 65°C y tiempo = 30 segundos, demuestran que no hay presencia de *E. coli* en el producto después de 15 días, sin embargo, si hay presencia de mohos y levaduras en menor cantidad comparada con la primera prueba.

Tabla XIV. **Vida de anaquel: análisis microbiológicos producción normal, parámetros T = 75° y t = 20 minutos**

Día	<i>E. coli</i> <10 UFC/g	Coliformes <10 UFC/g	RAT <1000 UFC/g	Mohos y Levaduras <100 UFC/g
1	Ausencia	<1	42	39
30	Ausencia	<1	160	258

Fuente: elaboración propia, empleando datos del laboratorio interno de la empresa, 2020.

Los resultados microbiológicos obtenidos en el proceso actual, realizado con parámetros de temperatura = 75 °C y tiempo = 20 minutos, demuestran que no hay presencia de *E. coli* en el producto después de 30 días, sin embargo, si hay presencia de mohos y levaduras al día 30.

4.3.4.2. Análisis fisicoquímicos

Para los análisis fisicoquímicos se tomaron en cuenta diferentes propiedades como los sólidos disueltos (°B), acidez y ph.

Tabla XV. **Vida de anaquel: análisis fisicoquímicos prueba 1, parámetros T = 60° y t = 2 minutos**

Día	°Brix 8.4-8.8	Acidez 0.61-0.67	pH 2.5-3.5
5	8.7	0.64	3.08
10	8.5	0.65	2.98
15	8.7	0.64	3.01
20	8.4	0.65	2.88
25	8.4	0.64	3.00
30	8.4	0.64	3.08

Fuente: elaboración propia, empleando datos del laboratorio interno de la empresa, 2020.

Tabla XVI. **Vida de anaquel: análisis fisicoquímicos prueba 2, parámetros**
T = 60° y t = 2 minutos

Día	°Brix 8.4-8.8	Acidez 0.61-0.67	pH 2.5-3.5
5	8.7	0.64	3.12
10	8.6	0.64	3.01
15	8.6	0.67	2.84
20	8.6	0.64	3.09
25	8.6	0.64	3.09
30	8.6	0.64	3.1

Fuente: elaboración propia, empleando datos del laboratorio interno de la empresa, 2020.

Los resultados fisicoquímicos obtenidos en la primera prueba, realizada con parámetros de temperatura = 60 °C y tiempo = 2 minutos, demuestran que el producto se encuentra dentro de parámetros durante los 30 días evaluados.

Tabla XVII. **Vida de anaquel: análisis fisicoquímicos prueba 1, parámetros**
T = 65° y t = 30 segundos

Día	°Brix 8.4-8.8	Acidez 0.61-0.67	pH 2.5-3.5
5	8.8	0.64	3.33
10	8.5	0.67	3.11
15	8.5	0.64	3.15

Fuente: elaboración propia, empleando datos del laboratorio interno de la empresa, 2020.

Tabla XVIII. **Vida de anaquel: análisis fisicoquímicos prueba 2, parámetros T = 65° y t = 30 segundos**

Día	°Brix 8.4-8.8	Acidez 0.61-0.67	pH 2.5-3.5
5	8.5	0.63	3.32
10	8.4	0.65	3.14
15	8.4	0.64	3.12

Fuente: elaboración propia, empleando datos del laboratorio interno de la empresa, 2020.

Los resultados fisicoquímicos obtenidos en la segunda prueba, realizada con parámetros de temperatura = 65 °C y tiempo = 30 segundos, demuestran que el producto se encuentra dentro de parámetros durante los 15 días evaluados.

Tabla XIX. **Vida de anaquel: análisis fisicoquímicos producción normal, parámetros T = 75° y t = 20 minutos**

Día	°Brix 8.4-8.8	Acidez 0.61-0.67	pH 2.5-3.5
1	8.6	0.65	3.24
30	8.7	0.66	3.10

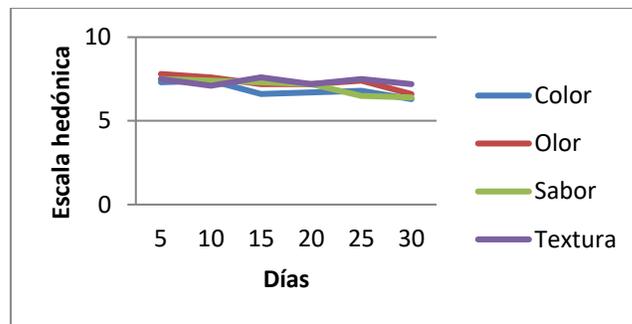
Fuente: elaboración propia, empleando datos del laboratorio interno de la empresa, 2020.

Los resultados fisicoquímicos obtenidos en el proceso actual, realizado con parámetros de temperatura = 75 °C y tiempo = 20 minutos, demuestran que el producto se encuentra dentro de parámetros durante los 30 días que tiene de vida de anaquel.

4.3.4.3. Análisis sensorial

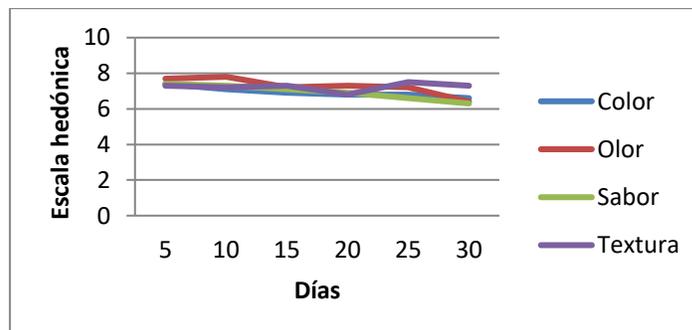
Los análisis sensoriales incluyeron aspectos como el color, olor, sabor y textura del producto.

Figura 11. **Vida de anaquel: análisis sensorial prueba 1, parámetros T = 60° y t = 2 minutos, n-10**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel, 2020.

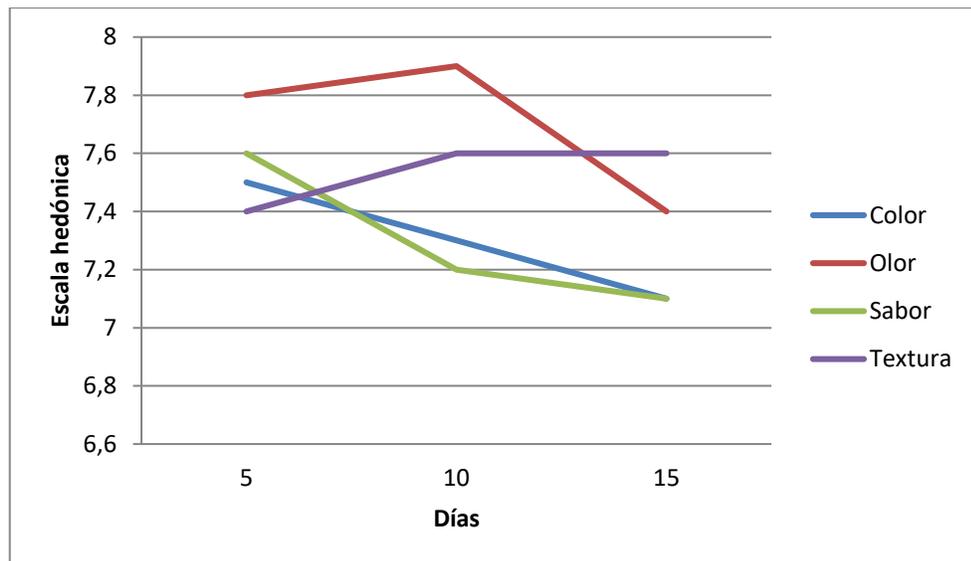
Figura 12. **Vida de anaquel: análisis sensorial prueba 2, parámetros T = 60° y t = 2 minutos, n-10**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel, 2020.

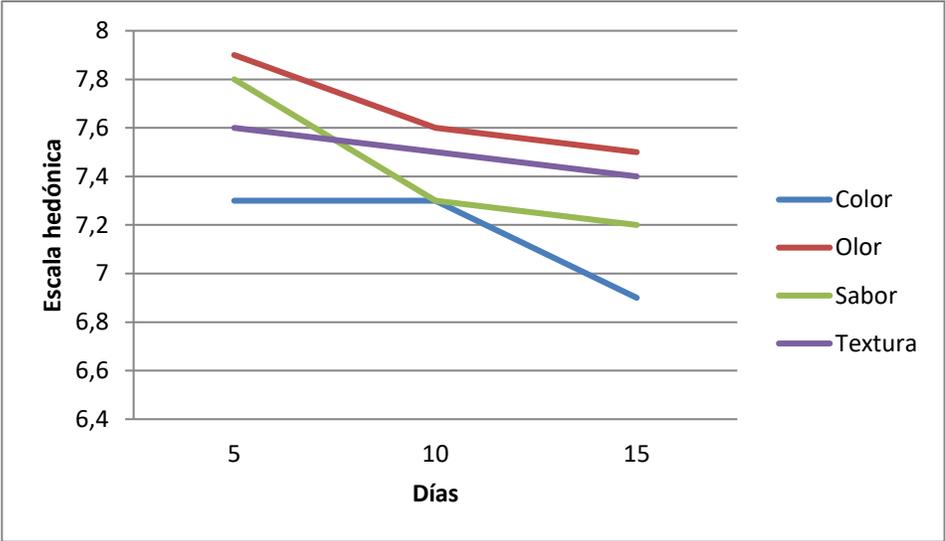
Los resultados sensoriales obtenidos en la primera prueba, realizada con parámetros de temperatura = 60 °C y tiempo = 2 minutos, demuestran que el producto es aceptable durante los 30 días evaluados, al final de los 30 días se considera ubicado dentro de la categoría de “Me gusta levemente”, de acuerdo con la valoración asignada en la escala hedónica de 9 puntos.

Figura 13. **Vida de anaquel: análisis sensorial prueba 1, parámetros T = 65° y t = 30 segundos, n-10**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel, 2020

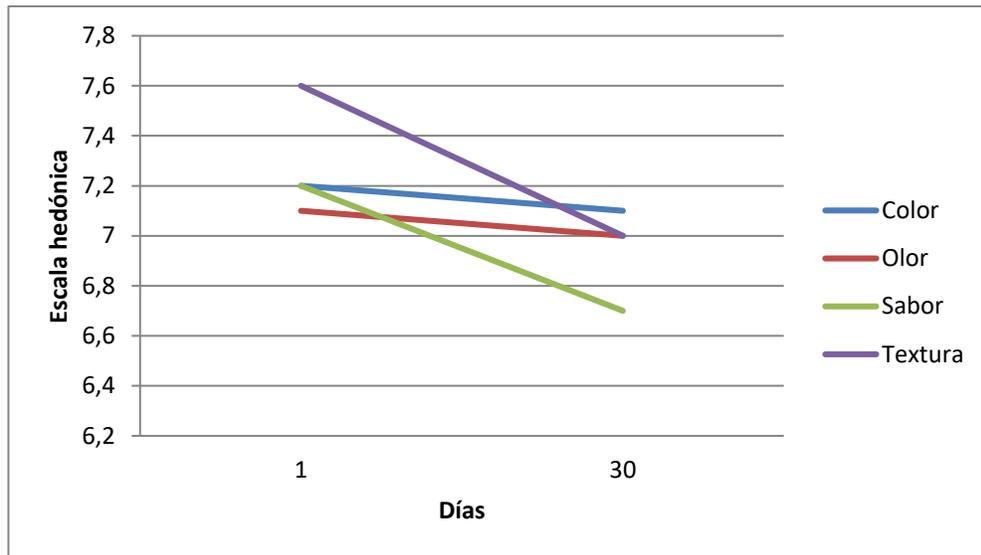
Figura 14. **Vida de anaquel: análisis sensorial prueba 2, parámetros T = 65° y t = 30 segundos, n-10**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel, 2020.

Los resultados sensoriales obtenidos en la segunda prueba, realizada con parámetros de temperatura = 65 °C y tiempo = 30 segundos, demuestran que el producto es aceptable durante los 15 días evaluados, al final de los 15 días se considera como “Me gusta moderadamente”, de acuerdo con la valoración asignada en la escala hedónica de 9 puntos.

Figura 15. **Vida de anaquel: análisis sensorial producción normal, parámetros T = 75° y t = 20 minutos, n-10**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel, 2020.

Los resultados sensoriales obtenidos en el proceso actual, realizado con parámetros de temperatura = 75 °C y tiempo = 20 minutos, demuestran que el producto es aceptable durante los 30 días evaluados, al final de los 30 días se considera dentro de la categoría de “Me gusta levemente”, de acuerdo con la valoración asignada en la escala hedónica de 9 puntos.

4.4. **Determinación del contenido de vitamina C**

Se tomó una muestra de la prueba realizada con parámetros T = 60 °C y t = 2 minutos, al inicio de la vida de anaquel, y se envió al laboratorio del INCAP para determinar su contenido de vitamina C, los resultados son los siguientes, también se muestra el resultado original en el anexo 3.

Tabla XX. **Contenido de vitamina C en el producto terminado**

Análisis	Resultado (mg / 100 ml)	Metodología basada en:	Porcentaje VRN*	Porcentaje VRN**
Vitamina C	6.64	AOAC 967.21.18 ^a . ed.	11.07	15 %
*Valores de referencia de nutrientes para el etiquetado RTCA 67.01.60:10				
**Reglas para el redondeo en la declaración de nutrientes RTCA 67.01.60:10				

Fuente: elaboración propia, empleando datos del laboratorio INCAP, 2020.

Con los resultados obtenidos del INCAP, se realizó la tabla anterior en donde se muestra el porcentaje respecto al valor de referencia de nutrientes que indica el RTCA 67.01.60:10, así como la forma de declararlo en la etiqueta utilizando la regla para el redondeo.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Diagnóstico situacional de la empresa

Se puede observar que la empresa cuenta con personal consciente y capacitado en BPM. A través de la técnica de la entrevista, realizada a 10 operarios y 6 integrantes del equipo de inocuidad, se puede confirmar que el 100 % conoce sobre BPM, pero una gran parte de ellos no conoce sobre procesos térmicos, solamente algunos integrantes del equipo de inocuidad, ya que desempeñan un rol intelectual en la organización.

Se observa un proceso de pasteurización VAT, por lo tanto, se evaluó el estado y capacidad del equipo utilizando una escala nominal de 3 puntos. El estado general de los equipos se encontró dentro de la categoría 2 “regular – bueno”, no hay ningún equipo que se encuentre deficiente ya que la empresa cuenta con personal de mantenimiento asignado, quienes programan y ejecutan un plan de mantenimiento preventivo a los equipos. Las capacidades de cada equipo están en cumplimiento de acuerdo con las necesidades del proceso.

Durante todas las observaciones realizadas al proceso de elaboración de la bebida de naranja se aplicaron las BPM, contribuyendo a mantener la inocuidad del producto final después de haber realizado el proceso térmico.

Ambas técnicas de recolección de datos utilizadas demuestran que la empresa se ha preocupado por mantener a los colaboradores capacitados en BPM y conscientes de lo que hacen, pero ha descuidado el tema de procesos

térmicos. Se puede decir también que ha garantizado los recursos para mantener la inocuidad en sus productos.

5.2. Diagnóstico de eficiencia del proceso térmico actual

Los datos recolectados, como la información histórica de análisis sensoriales, fisicoquímicos y microbiológicos de la empresa demuestran que, las 52 muestras tomadas aleatoriamente, están en total conformidad de acuerdo con los parámetros sensoriales establecidos. En promedio el pH fue de 2.96, la acidez de 0.64 y °Brix = 8.64. En cuanto a la calidad microbiológica existen algunas desviaciones que no son significativas en recuento aeróbico total y mohos/levaduras. Esto quiere decir que el proceso térmico actual funciona correctamente respecto a la calidad sensorial, microbiológica y fisicoquímica.

Luego se calculó la productividad del proceso de fabricación del producto en la presentación de ½ galón, la más producida de todas las presentaciones, de acuerdo con el registro histórico de producciones de 8 meses obtenido de la empresa. Se tomó en cuenta el proceso para la elaboración de 600 galones debido a que es la máxima capacidad que tiene la marmita.

Se observó que la duración del proceso es de 3 horas aproximadamente y los operarios involucrados son 5 personas por turno. Las horas hombre utilizadas para la elaboración del producto son 15 horas, por lo tanto, la productividad es de 80 unidades por hora. El costo de la hora hombre es aproximadamente de Q 15.83 y el costo de horas hombre para realizar un lote de 600 galones en la presentación de ½ galón es de Q 237.45.

Posteriormente, se realizaron pruebas a nivel planta con los parámetros propuestos y se determinó una mejora en la productividad, ya que el tiempo

utilizado en la etapa de pasteurización se reduce un 97.5 % (de 20 a 0.5 minutos) y en la etapa de enfriamiento un 25 % (de 80 a 60 minutos).

La nueva productividad es de 102 unidades por hora y el nuevo costo de horas hombre para realizar un lote de 600 galones en la presentación de ½ galón es de Q 185.34, demostrando un ahorro de Q 52.11 por lote producido. Se realizó el mismo procedimiento con parámetros de $T = 60^{\circ}\text{C}$ y $t = 2$ minutos y la productividad es de 101 unidades por hora, el costo hora hombre de Q. 187.32 y un ahorro de Q 50.13. Si se comparan ambos procesos propuestos, es mínima la diferencia.

Los costos de vapor generado no se pudieron obtener porque la empresa utiliza 3 calderas diferentes, 2 de biomasa y 1 de diésel, las cuales distribuyen vapor a diversas líneas de producción, no hay una caldera específica para la línea de bebidas naturales. El costo no es significativo ya que las calderas se tienen que poner en funcionamiento para otras líneas, incluso cuando no hay producción en la línea de bebidas naturales.

No se evidenciaron reclamos relacionados con la inocuidad, por lo que se puede afirmar que la bebida es elaborada en condiciones higiénicas y sanitarias cumpliendo las BPM.

5.3. Validación del proceso térmico

Para determinar el valor F se tomó de referencia la temperatura que indican Romero *et al.* (2011) de 55°C con su respectivo valor $D = 6.7$ minutos y valor $Z = 3.6^{\circ}\text{C}$ para *E. coli*. También se tomaron en cuenta los valores de referencia para *Saccharomyces cerevisiae*, temperatura de referencia de 60°C , valor $D = 1.3$ minutos y valor $Z = 3.6^{\circ}\text{C}$ que mencionan (Shearer *et al.*, 2002).

Se realizaron los cálculos correspondientes y los resultados del valor F para *E. coli* indican que es necesario someter el producto a una temperatura de 60 °C durante 1.92 minutos, por lo que se procedió a calcular el valor F para *S. cerevisiae* demostrando que, a esa misma temperatura se necesitan 9.10 minutos.

Debido a que el tiempo aun es alto, se procedió a calcular el valor F con una temperatura mayor de 65 °C, para *E. coli* el resultado es de 0.08 minutos y para *S. cerevisiae* es de 0.37 minutos, por lo que se proponen los siguientes parámetros:

- Tiempo = 0.5 minutos, Temperatura = 65 °C
- Tiempo = 2 minutos, Temperatura = 60 °C

Con la intención de validar el modelo propuesto, se realizó una prueba de desafío en un laboratorio externo acreditado ISO 17025, replicando el proceso a nivel laboratorio donde se introdujeron microorganismos al producto y luego se realizó el proceso térmico propuesto número 2.

Se tuvieron inconvenientes al momento de realizar el inóculo en el jugo ya que el tipo de producto, por ser acidificado y llevar conservantes, no permitió la supervivencia del inóculo de *E. coli*. Esto demuestra porque la FDA solicita procesos térmicos leves y la utilización de modelos lineales de destrucción térmica en productos de este tipo, ya que permite comparar procesos para alimentos acidificados, así como lo indican (Breidt *et al.*, 2010).

Finalmente, se lograron introducir 6 escalas logarítmicas de *E. coli* y *S. cerevisiae* en el producto, luego se realizó el proceso térmico. Realizando un análisis microbiológico al inicio (después de haber introducido los

microorganismos en el producto) y un análisis microbiológico al final (después del proceso térmico), se comprobó una reducción de 5 escalas logarítmicas para *S. cerevisiae* y una destrucción inmediata de 6 log de *E. coli*, es decir que al momento de iniciar el estudio no se encontró supervivencia del inóculo, al realizar el análisis microbiológico antes del proceso.

No se pudo realizar la prueba con los otros parámetros propuestos ($t = 0.5$ minutos y $T = 65$ °C) debido a la situación de pandemia Codiv-19 que afectó el país y que complicó los tiempos establecidos para entregar resultados del laboratorio, pero los parámetros de $T = 60$ °C y $t = 2$ minutos demuestran la reducción de al menos 5 escalas logarítmicas de *S. cerevisiae*, por lo que se pueden aceptar sin ningún problema.

Estos resultados indican que la temperatura de referencia y los valores D y Z que determinaron Romero *et al.* (2011) para *E. coli*, y la temperatura de referencia, junto con los valores D y Z que determinaron Shearer *et al.* (2002) para *S. cerevisiae* son adecuados para calcular el valor F letal para este tipo de productos.

Para complementar se realizó una prueba de penetración de calor dentro de la marmita con ayuda de expertos, demostrando que la temperatura es homogénea en su interior. Esta prueba apoya para tomar la decisión de aceptar alguno de los dos modelos propuestos y utilizarlo a nivel de planta, ya que todas las partes internas de la marmita se mantendrán a la misma temperatura.

Finalmente, se realizaron estudios de vida de anaquel de ambas pruebas, la primera prueba realizada durante 2 minutos a 60 °C y la segunda prueba utilizando 65 °C durante 30 segundos. También se analizó una muestra de retención del proceso actual para comparar los datos y se puede observar que,

en todos los casos hay un crecimiento de mohos y levaduras. Esto se debe a que el proceso no es aséptico y la etapa de envasado se realiza en un medio abierto donde se encuentra diversidad de microorganismos de este tipo.

Respecto al microorganismo *E. coli*, se demuestra su ausencia durante el tiempo evaluado, comprobando que en un pH menor a 4 se dificulta su crecimiento y con la ayuda de conservantes como el sorbato de potasio se inactiva fácilmente esta bacteria como lo indican (Romero *et al.*, 2011).

Los parámetros fisicoquímicos se encontraron todos dentro de sus límites y las evaluaciones sensoriales para la primera prueba demuestran que el producto es aceptable levemente, obteniendo en promedio 6 puntos en una escala hedónica de 9 puntos. En la segunda prueba, por limitantes derivadas de la situación que afecto al país, la pandemia Covid-19, solamente se realizó un estudio de 15 días, la mitad del tiempo de vida del producto, demostrando una aceptación moderada, obteniendo en promedio 7 puntos en una escala hedónica de 9 puntos, por lo que se sugiere terminar el estudio.

Los resultados sensoriales de la muestra de retención con el proceso actual también demuestran una aceptación leve, al igual que la primera prueba, esto quiere decir que se podría cambiar el tiempo a 2 minutos y la temperatura a 60 °C para garantizar la inocuidad, con la destrucción del microorganismo *E. coli*, sin embargo, no se asegura la calidad, debido a que el parámetro de mohos y levaduras <100 UFC/g no se cumple ni en la segunda prueba, debido a que el proceso no es aséptico.

5.4. Determinación del contenido de vitamina C

Se envió una muestra del producto obtenido de la primera prueba, realizada con parámetros de 2 minutos a 60 °C, a un laboratorio externo para analizar el contenido de vitamina C, el resultado fue de 6.64mg / 100ml. Al tener este dato, se calculó el porcentaje VRN, siendo de 11.07 %. Es decir que, consumiendo un litro (1000 ml) de este producto diariamente, se estaría consumiendo la cantidad de vitamina C recomendada por la FAO/OMS y el RTCA 67.01.60:10.

Actualmente, la empresa no proporciona esta información en su etiquetado. Si se incluye esta información, se tiene que utilizar la regla del redondeo para el etiquetado, descrita en el RTCA 67.01.60:10, quedando como 15 % en contenido de vitamina C por cada 100 ml de producto. Esto puede ayudar con las ventas del producto, ya que se estaría destacando su contenido nutricional.

CONCLUSIONES

1. El proceso de pasteurización para la bebida de naranja en la línea de bebidas naturales pasteurizadas queda documentado y validado a través de la microbiología predictiva, utilizando modelos lineales junto a valores D, Z y F de los microorganismos objetivo. Se ha demostrado una optimización del proceso actual debido al incremento de la productividad y reducción de costos.
2. Se realizó un diagnóstico de la eficiencia del proceso térmico actual utilizado en la bebida de naranja en la línea de bebidas naturales pasteurizadas, y el proceso actual es adecuado respecto a la calidad microbiológica, fisicoquímica y sensorial, mas no la productividad ni costos, ya que el proceso térmico propuesto ahorra aproximadamente Q.50.13 por lote producido y mejora la productividad.
3. Se introdujo un paquete inoculado de *E. coli* (cepa ATCC8739) y *S. cerevisiae* (levadura comercial) en el producto, demostrando una reducción de 5 escalas logarítmicas de *S. cerevisiae* y una destrucción inmediata para *E. coli* al momento de introducir el inóculo, antes del proceso de pasteurización sugerido, con parámetros de tiempo = 2 minutos y temperatura = 60 °C.
4. Se determinó el contenido de vitamina C en el producto terminado, utilizando el proceso térmico con parámetros de tiempo = 2 minutos y temperatura = 60 °C y se concluye que tiene una cantidad de 6.64 mg por

cada 100 ml de producto, esto representa un 11.07 % del VRN detallado en el RTCA 67.01.60:10.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar los parámetros propuestos para la elaboración de la bebida de naranja en la línea de bebidas naturales pasteurizadas que garanticen la inocuidad del producto terminado.
2. Realizar la continuidad del estudio de vida de anaquel para la segunda prueba y determinar si se reduce la cantidad de mohos y levaduras en comparación con la primera prueba.
3. Realizar la prueba de desafío con los otros parámetros propuestos de $T = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $t = 30$ segundos para comprobar la cantidad de escalas logarítmicas reducidas de *S. cerevisiae*.
4. Mantener el compromiso con la inocuidad de los productos que se fabrican, garantizando los recursos necesarios para ello.
5. Capacitar al personal operativo en temas de procesos térmicos.

REFERENCIAS

1. Aguilar Morales, J. (2012). *Métodos de conservación de alimentos*. México: Red tercer milenio.
2. Benalcázar Méndez, K. (2016). *Programa de capacitación para mejorar la calidad del hotel san francisco, cantón Daule, provincia de las guayas*, (Tesis de licenciatura). Universidad de Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/10160/1/TESIS%20FINAL%20KENYA%20BENALCAZAR%202016.pdf>.
3. Bosquez Molina, E., y Colina Irezabal, L. (2010). *Procesamiento térmico de frutas y hortalizas*. México: Trillas.
4. Breidt, F., Sandeep, K. P., y Arritt, F. M. (mayo 2010). Use of linear models for thermal processing of acidified foods. *Food protection trends*, 30(5), 268-272.
5. Casp, A. y Abril, J. (2003). *Procesos de conservación de alimentos*. Madrid: Mundi-Prensa.
6. COMIECO-LXII. (2012). *Etiquetado nutricional de productos alimenticios preenvasados para consumo humano para la población a partir de 3 años de edad*. (Resolución No. 2812012). Guatemala: Autor.

7. Encina-Zelada, C., Bernal-Sánchez, A., y Rojas-Hurtado, D. (2013). *Efecto de la temperatura de pasteurización y proporción de mezclas binarias de pulpa de carambola y mango sobre su capacidad antioxidante lipofílica*. (Tesis de Ingeniería Industrial). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
Recuperado de:
[http://fresno.ulima.edu.pe/sf/sf_bdfde.nsf/OtrosWeb/Ing31EfectoTemperatura/\\$file/08-ingenieria31-ciencia-ENCINAS.pdf](http://fresno.ulima.edu.pe/sf/sf_bdfde.nsf/OtrosWeb/Ing31EfectoTemperatura/$file/08-ingenieria31-ciencia-ENCINAS.pdf)
8. España, D. F. M., Vásquez, L. I. L., Pantoja, A. L., Mora, O. O., y Hurtado, A. (enero-junio 2013). Evaluación de tratamientos térmicos para inactivación de enzimas en jugo de fique (*Furcraea gigantea* Vent.). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 113-122. Recuperado de:
<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1/v11n1a14.pdf>
9. Frazier, W. C., y Westhoff, D. C. (2003). *Microbiología de los alimentos*. España: Acribia.
10. González, M. (2007). *Diseño de un pasteurizados para helados*, (Tesis de licenciatura). Universidad de Cádiz, España. Recuperado de <https://rodin.uca.es/xmlui/handle/10498/6446>.
11. Guevara Pérez, A. y Cancino Chavez, K (2008). *Métodos apropiados para inactivar o controlar el deterioro microbiológico en alimentos*, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.
12. Ibarz, A., y Ribas, A. I. (2005). *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos*. Madrid: Mundi-Prensa Libros.

13. Jiménez Florián, C. (2017). *Optimización del proceso térmico para una bebida fría a base de café y leche para mejorar su característica sensorial sin afectar su inocuidad*, (Tesis de licenciatura en Ingeniería Industrial). Universidad de San Carlos, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/7579/1/Carlos%20Emilio%20Jimenez%20Flori%C3%A1n.pdf>.
14. Lerma, H. (2009). *Metodología de la investigación: propuesta, anteproyecto y proyecto*. (4ª edición). Colombia: Ecoe ediciones.
15. Martínez, A y Rosenberger, M. (2013), *Modelado numérico de pasteurización artesanal de leche y jugos naturales*. Recuperado de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/8467/CONICET_Digital_Nro.11276.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
16. Osorio, O., Villareal, Y., Mejia, D. F., y Ceron, A. F. (2015). Efecto de pasteurización sobre características sensoriales y contenido de vitamina c en jugos de frutas. *Biotecnología en el sector agropecuario*, 11(2), 66-75.
17. Pérez, J. (2015), Evaluación de tratamientos térmicos en la fabricación de conservas vegetales. *Docplayer*. Recuperado de <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/-/action/90004fc0-93fe-11df-8d8b-f26108bf46ad/e5747030-1bb8-11df-b7e2-35c8dbbe5a83/es/02f9e190-faff-11e0-929f-f77205134944/alfrescoDocument?i3pn=contenidoAlf&i3pt=S&i3l=e&i3d=e5747030-1bb8-11df-b7e2->

35c8dbbe5a83&i3sc&contentId=1c961cae-b80e-48b1-b3a1-6f6c54b4a6b0.

18. Pittaluga, P. (11 de noviembre 2016), Nuevas tendencias muestran gran potencial para el jugo 100 % natural, director de Marketing de Tetra Pak Cono Sur. *Envasando ideas*. Recuperado de <http://www.ensandoideas.com/es/growth/nuevas-tendencias-muestran-gran-potencial-para-el-jugo-100-natural.htm>.
19. Prado, A. (23 de marzo, 2012). Diagnóstico situacional. *Slideshare*. Perú. Recuperado <https://es.slideshare.net/azu444/dx-situacional>.
20. Romero, E., López-Malo A. y Palou, E. (12 de septiembre, 2017). Escherichia Coli de tipo patógeno en alimentos y modelación de su inactivación al aplicar diversos factores de conservación. *TSIA, Volumen (12), 1-12* Recuperado de: <https://tsia.udlap.mx/escherichia-coli-de-tipo-patogeno-en-alimentos-y-modelacion-de-su-inactivacion-al-aplicar-diversos-factores-de-conservacion/>.
21. Sharma, S. K., y Mulvaney, S. J. (2003). *Ingeniería de alimentos: operaciones unitarias y prácticas de laboratorio*. México: Limusa S.A. Recuperado de <https://ictauaaan.files.wordpress.com/2016/08/ingenieria-de-alimentos-sharma.pdf>
22. Shearer, A., Mazzotta, A., Chuyate, R. y Gombas, D. (2002). Heat resistance of juice spoilage microorganisms. *Journal of Food*

Protection, 65(8), 1271–1275. doi.org/10.4315/0362-028X-65.8.1271.

23. Siliceo, A. (2004). *Capacitación y desarrollo de personal*. México: Editorial Limusa.
24. Singh, R. y Heldman, D. (2009). *Introduction to Food Engineering. Fourth Edition*, USA: Elsevier Inc.

APÉNDICES

Apéndice 1. Instrumento de recolección de datos 1: entrevista guiada

	Tecnología de Alimentos	Noviembre 2019
	Entrevista guiada	Instrumento de recolección de datos #01

Nombre: _____ Puesto: _____
Área de trabajo: _____ Turno: _____

1. ¿Sabe usted si el proceso de pasteurización esta validado?
 SI NO
2. ¿ Sabe usted si hay documentación al respecto de alguna validación?
 SI NO
3. ¿Conoce qué es la pasteurización y cuál es su función?
 SI NO
4. ¿Sabe que tipos de pasteurización existen?
 SI NO
5. ¿Conoce los límites de tiempo y temperatura establecidos para el proceso?
 SI NO
6. ¿Cree usted que los tiempos y temperaturas utilizadas son las óptimas?
 SI NO
7. ¿Sabe cómo medir la temperatura y el tiempo?
 SI NO
8. ¿Conoce el equipo que utiliza para realizar el proceso de pasteurización?
 SI NO
9. ¿Conoce cuál es el procedimiento completo de elaboración de la bebida de naranja?
 SI NO
10. ¿Usted sabe si le hacen algún análisis al producto?

Continuación apéndice 1.

	Tecnología de Alimentos	Noviembre 2019
	Entrevista guiada	Instrumento de recolección de datos #01

SI NO

11. ¿Ha sido capacitado en el tema de procesos térmicos?

SI NO

12. ¿Conoce que es HACCP?

SI NO

13. ¿Sabe que es un PCC?

SI NO

14. ¿Sabe que es BPM?

SI NO

15. ¿Cuántas capacitaciones recibe en un año?

1 2 o 3 5 o más

16. ¿Qué capacitaciones recibe?

BPM	HACCP	PROCESOS TÉRMICOS	OTROS
-----	-------	-------------------	-------

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Instrumento de recolección de datos 2: plan de muestreo**

	Tecnología de Alimentos		Noviembre 2019
	Plan de muestreo		Instrumento de recolección de datos #02
Línea		Producto	
Bebidas naturales pasteurizadas		Bebida de naranja	
Muestra 1			
Etapa del proceso	Tiempo	Temperatura	Resultados Microbiológicos
Pasteurización	Inicio del proceso	°C	Mohos y Levaduras / E. Coli
Muestra 2			
Etapa del proceso	Tiempo	Temperatura	Resultados Microbiológicos
Pasteurización	Fin del proceso	°C	Mohos y Levaduras / E. Coli

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Instrumento de recolección de datos 4: diagnóstico del equipo**

	Tecnología de Alimentos	Noviembre 2019
	Diagnóstico del equipo	Instrumento de recolección de datos #04

1. Tipo de pasteurización:

VAT	HTST	UHT
-----	------	-----

2. Disponibilidad y estado actual del equipo (1=Bueno, 2=Regular, 3=Malo)

Equipo	Año de fabricación	Apariencia Física		
Marmita u Olla		1	2	3
Fuente de energía				
Medidor de Tiempo				
Medidor de temperatura				
Tubería				

3. Capacidad del equipo

Equipo	Capacidad Teórica	Capacidad Real
Marmita u Olla		
Fuente de energía		
Medidor de Tiempo		
Medidor de temperatura		
Tubería		

4. Fotos

Equipo	Foto
Marmita u Olla	
Fuente de energía	
Medidor de Tiempo	
Medidor de temperatura	
Tubería	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Boleta de evaluación sensorial para vida de anaquel

PRUEBA SENSORIAL JUGO DE NARANJA								
Nombre: _____				Fecha: _____				
<p>Instrucciones: Marque con una "X" en la casilla correspondiente. Donde "Me gusta extremadamente" es la puntuación más alta, y "Me disgusta extremadamente" es la puntuación más baja.</p>								
Color								
Me gusta extremadamente	Me gusta mucho	Me gusta moderadamente	Me gusta levemente	Ni me gusta ni me disgusta	Me disgusta levemente	Me disgusta moderadamente	Me disgusta mucho	Me disgusta extremadamente
Olor								
Me gusta extremadamente	Me gusta mucho	Me gusta moderadamente	Me gusta levemente	Ni me gusta ni me disgusta	Me disgusta levemente	Me disgusta moderadamente	Me disgusta mucho	Me disgusta extremadamente
Sabor								
Me gusta extremadamente	Me gusta mucho	Me gusta moderadamente	Me gusta levemente	Ni me gusta ni me disgusta	Me disgusta levemente	Me disgusta moderadamente	Me disgusta mucho	Me disgusta extremadamente
Textura								
Me gusta extremadamente	Me gusta mucho	Me gusta moderadamente	Me gusta levemente	Ni me gusta ni me disgusta	Me disgusta levemente	Me disgusta moderadamente	Me disgusta mucho	Me disgusta extremadamente

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Referencia bibliográfica para inactivación de *Escherichia coli*

E. Romero *et al.* / Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos 5 – 2 (2011): 28 - 39

presentaban el síndrome. Además, 76 personas más fuera de la Unión Europea fueron contaminadas, de éstas 49 presentaron síndrome urémico hemolítico y una falleció. Se encontró que la causa fue el consumo de semillas germinadas de soya y frijol ocho días antes del brote, provenientes de una compañía del estado Niedersachsen de Alemania (Robert Koch Institute, 2011).

2.2. Inactivación de *Escherichia coli*

Como se ha comentado, existen cepas de *E. coli* que han causado daños a la salud del ser humano en las últimas décadas. Es por ello que en la industria de los alimentos se han concentrado esfuerzos para lograr la inactivación de la bacteria.

2.2.1 Tratamientos térmicos

Una temperatura elevada produce mal plegamiento o agregación de las proteínas de *E. coli*, y se ven afectados procesos celulares como la proteólisis, la síntesis de la pared celular, la división celular, el crecimiento y la replicación del ADN plásmido (Yura *et al.*, 1993); además, se presentan daños en las proteínas citoplasmáticas (Chung *et al.*, 2006).

La destrucción térmica de un patógeno depende en gran medida del tiempo de exposición a las altas temperaturas. Para determinar la eficiencia del tratamiento se utiliza el valor D que puede obtenerse con la siguiente ecuación (Richardson, 2004):

$$\log N = \log N_0 - t/D \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde N es el número de microorganismos sobrevivientes al tratamiento, N_0 es el número inicial de microorganismos, t es el tiempo de calentamiento en minutos y D es el tiempo de reducción decimal en minutos; es decir, es el tiempo para reducir la población microbiana en una unidad logarítmica o para la destrucción del 90% de la población microbiana. Asimismo, se utiliza el valor de z que es el cambio del valor de D al modificar la temperatura; es decir, el número de grados que es necesario aumentar la temperatura para modificar el valor D en una unidad logarítmica y se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\log D_T = \log D_{ref} - (T - T_{ref})/z \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde D_T es el valor en minutos a cualquier temperatura T, D_{ref} es el valor correspondiente a la temperatura de referencia T_{ref} (Richardson, 2004; Griffin y Osaili, 2009).

Se sabe que la inactivación de *E. coli* comienza alrededor de los 49.5°C o que a 55°C el valor de D es de 6.7 minutos y el de z de 3.6°C (Casp y Abril, 1998; Richardson, 2004; Chung *et al.*, 2006).

2.2.2. Acidificación

El estrés ácido se describe como el efecto biológico de los iones H^+ (es decir, pH) y el efecto de los ácidos orgánicos que se encuentran en el medio ambiente como resultado de la fermentación o cuando se agregan como agentes conservadores en los alimentos. Los mecanismos de inactivación de *E. coli* por acidificación consisten en la acidificación intracelular, la cual daña o interrumpe procesos bioquímicos clave (Zhao *et al.*, 1993; Garland-Miller y Kaspar, 1994; Chung *et al.*, 2006).

A bajos valores de pH (es decir, $pH \leq 5$), el ingreso de protones es más rápida que la capacidad de las células para mantener la homeostasis. Los ácidos orgánicos penetran en la membrana celular y se disocian dentro de la célula, lo que produce que el protón liberado reduzca el pH intracelular. A menor pH en el exterior de la bacteria, mayor es el flujo de ácidos orgánicos hacia su interior. Asimismo, el ácido se acumula en la membrana y el constante flujo de protones con el tiempo hace que se agote la energía celular, causando la muerte. Se sabe que *E. coli* comienza a inhibirse a valores de pH menores a 4 (Bogh-Sorensen, 2003; Chung *et al.*, 2006).

Otra variable de este factor de inactivación es el tipo de ácido y la concentración. Glass *et al.* (1992) determinaron que los ácidos orgánicos son mejores inhibidores, que por ejemplo el ácido hidrolórico. Asimismo, se ha estudiado que el ácido acético, para inactivar *E. coli* O157:H7, es mejor que el ácido láctico y éste último a su vez es mejor que el cítrico (Bogh-Sorensen, 2003).

32

Fuente: Romero *et al.* (2011). *Temas selectos de ingeniería de alimentos*.

Anexo 2. Referencia bibliográfica para inactivación de *saccharomyces cerevisiae*

Organism	Experimental heating range (°C)	pH	D-value (min) at temp 60°C/140°F	z-value (°C/°F)
<i>Penicillium citrinum</i>	47.8–55.6	3.0	0.010	4.2/7.5
	47.8–55.6	3.5	0.016	4.6/7.9
	47.8–55.6	4.0	0.009	3.8/6.9
<i>Torulospira delbrueckii</i>	49.4–56.1	3.0	0.026	4.4/7.9
	50.0–57.2	3.5	0.033	4.4/7.4
	50.0–57.2	4.0	0.018	3.8/6.3
<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	52.8–59.4	3.0	0.120	4.7/8.5
	52.8–59.4	3.5	0.159	4.6/8.2
	50.8–59.4	4.0	0.158	4.5/8.1
<i>Zygosaccharomyces rouxii</i>	ND ^a	3.0	ND ^a	ND ^a
	51.7–58.9	3.5	0.039	3.3/6.0
	53.3–58.9	4.0	0.008	2.1/4.3
<i>Penicillium roquefortii</i>	52.8–61.1	3.0	0.201	4.0/7.2
	52.8–61.1	3.5	0.238	3.7/6.7
	54.9–61.1	4.0	0.290	3.6/6.5
<i>Aspergillus niger</i>	54.4–61.7	3.0	0.451	3.7/6.7
	56.7–61.7	3.5	0.376	3.3/6.0
	54.4–61.7	4.0	0.449	3.6/6.6
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	56.7–63.3	3.0	1.30	3.6/6.6
	58.3–63.6	3.5	2.50	4.0/7.2
	57.8–62.8	4.0	2.80	3.5/6.4

^a ND, not determined; all values from single final determination following preliminary trials.

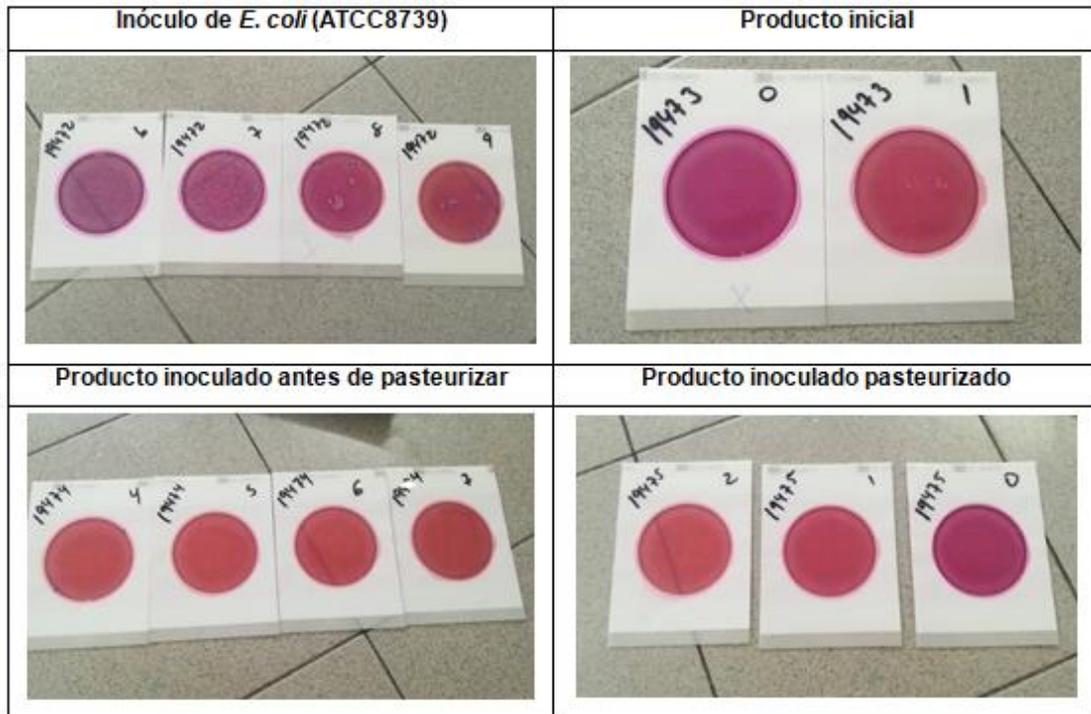
Fuente: Shearer *et al.* (2002). *Heat Resistance of Juice Spoilage Microorganisms*.

Anexo 3. Resultado de vitamina C en el producto terminado

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA			
Empaque primario: Envase plástico con tapa		Temperatura de recepción: Refrigeración	
Tipo de muestra: Jugo		Muestreo realizado por: Cliente	
Descripción por el solicitante: Jugo de Naranja			
Análisis	Dimensionales	Resultado	Metodología basada en:
Vitamina C (Ácido ascórbico)	mg/100 mL	6.64	AOAC 967.21. 18 ^a . ed.
Observaciones:			
 Licda. Mónica Guamuch Responsable Lab. de Composición de Alimentos		  Revisado	
Los resultados corresponden solamente a las muestras recibidas en el laboratorio. Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la aprobación escrita del laboratorio. El informe es válido sólo con las firmas respectivas.			

Fuente: INCAP (2020) *Análisis de contenido de vitamina C*.

Anexo 4. **Fotografías de la prueba de desafío realizada con laboratorio externo para *E. coli***



Fuente: Laboratorio FQB Guatemala (2020). *Estudio Test Challenge*,

