

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

“Diseño de un proceso de esterilización a través de herramientas  
informáticas para sopas enlatadas en envase formato A6”

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO DE ALIMENTOS**

Presentado por:

Eduardo Javier Galán Borbor  
Andres Antonio Rojas Castro

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

Año: 2020

## **DEDICATORIA**

A mi familia, por tan inigualable sacrificio realizado.

A mi padre y mi hermano quienes son mi apoyo y me motivan a salir adelante.

A mi madre, por el ejemplo de vida que me dejó.

A todas aquellas personas que dejaron huella en mi vida, y a todas aquellas personas incondicionales, por todo su apoyo.

**Eduardo Galán Borbor**

A mis padres, que durante todo este largo tiempo me han apoyado en todo momento incondicionalmente.

A Cristina, que ha sido una parte fundamental para el desarrollo personal y profesional.

A mis amigos que siempre han estado junto a mí.

**Andrés Rojas Castro**

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro más sincero agradecimiento al PhD. Ricardo Simpson y al PhD. Cristian Ramírez por su soporte técnico de alto nivel, haciendo posible el desarrollo del proyecto. Así mismo, agradecemos al PhD. Sócrates Palacios por su destacado apoyo, siendo un guía imprescindible para la realización de este trabajo. Un fuerte agradecimiento a nuestras familias, por ser apoyarnos incondicionalmente y permitirnos lograr terminar esta etapa de nuestras vidas.

**Eduardo Galán Borbor**

**Andrés Rojas Castro**

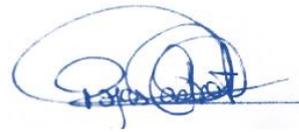
## DECLARACIÓN EXPRESA

Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponden conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Eduardo Javier Galán Borbor* y *Andrés Antonio Rojas Castro* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



---

*Eduardo Galán Borbor*



---

*Andrés Rojas Castro*

## EVALUADORES



---

**MScIng. Haydeé Torres Camba**  
PROFESOR DE LA MATERIA



---

**Ph.D. Sócrates Palacios Ponce**  
PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

Las herramientas digitales han cobrado relevancia en la actualidad, pues permiten ejecutar cálculos de alta complejidad y simular diversos escenarios relacionados a un proceso productivo, entre los que es posible mencionar la esterilización, considerando limitaciones propias del proceso. Por ello, el presente trabajo busca diseñar un proceso de esterilización a partir del estudio de penetración de calor de 4 sopas enlatadas de 3 kg de capacidad aproximadamente. Para lograr dicho objetivo, se emplearon 3 softwares basados en los modelos matemáticos para la evaluación de tratamientos térmicos como: Stumbo, Ball y General. Por medio de un optimizador de respuesta, originado de un diseño factorial general, se determinaron al menos dos alternativas viables escogiéndose aquel producto bajo el criterio de menor tiempo de proceso a las mismas condiciones operativas de temperatura de retorta y letalidad objetivo. A su vez, se simularon perfiles de Temperatura vs tiempo de proceso para determinados niveles de letalidades y porcentaje de degradación nutricional. Finalmente, se estableció el diagrama de procesos sugerido en función de los resultados obtenidos, y un análisis de costos, el cual incluye el PVP y punto de equilibrio proyectado para una escala semiindustrial.

**Palabras claves:** herramientas digitales, esterilización comercial, alimentos enlatados, simulación

## **ABSTRACT**

*Digital tools have become relevant today, as they allow the execution of highly complex calculations, and simulate various scenarios related to a production process, among which it is possible to mention the sterilization proces, considering its own limitations. Therefore, the present work seeks to design a sterilization process based on the heat penetration study of 4 canned soups of 3 kg. To achieve this objective, 3 software based on mathematiccal models for the evaluation of heat treatments such as Stumbo, Ball and General were used. By using a response optimizer calculated by a general factorial design, at least two viable alternatives were determined, choosing the product by the criteria of shorter process time at the same conditions of retort temperature and a target lethality. In addition, profiles of retort temperature vs process time were simulated for certain levels of lethality and percentage of nutricional degradation. Finally, the suggested process diagram was established based on obtained results, and a cost analysis, which includes the sale Price estimated and breakeven point, projected for a semi – industrial scale.*

**Keywords:** *digital tools, commercial sterilization, canned foods, simulation.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Descripción del problema .....	1
1.2. Justificación del problema .....	1
1.3. Objetivos .....	2
1.3.1. Objetivo General .....	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	2
1.4. Marco teórico.....	2
1.4.1. Materia prima .....	2
1.4.2. Cinética, letalidad y penetración de calor .....	3
1.4.3. Métodos de validación de procesos térmicos y degradación .....	6
1.4.4. Características de los productos.....	7
1.4.5. Herramientas informáticas de validación térmica.....	9
CAPÍTULO 2.....	10
2. METODOLOGÍA .....	10
2.1. Estudio de penetración de calor .....	10
2.1.1. Análisis preliminar del tratamiento térmico a escala piloto.....	10
2.1.2. Empleo de las herramientas digitales .....	13
2.2. Evaluación del proceso por el método General .....	15
2.2.1. Cálculo matemático .....	15
2.2.2. Estimación de letalidad con el software Bigelow.....	16
2.3. Evaluación del proceso por el método de Ball.....	16
2.3.1. Cálculo matemático .....	16
2.3.2. Estimación de letalidad con el software PEvaluator.....	17
2.4. Evaluación del proceso por el método de Stumbo .....	17

2.4.1.	Cálculo matemático .....	17
2.4.2.	Estimación de letalidad con hoja de cálculo de Microsoft Excel .....	17
2.4.3.	Desarrollo de software basado en el Método de Stumbo .....	18
2.5.	Estimación del tiempo de esterilización a diferentes consideraciones de proceso .....	18
2.5.1.	Definición de las consideraciones de proceso establecidas .....	18
2.5.2.	Análisis del comportamiento del tiempo de proceso .....	19
2.6.	Evaluación del efecto de la esterilización en la calidad nutricional.....	20
2.7.	Distribución de las instalaciones a escala semiindustrial .....	21
2.7.1.	Relación de actividades y dimensionamiento de espacios de trabajo ..	21
2.7.2.	Layout .....	21
2.8.	Estimación de costo de procesamiento para escala semiindustrial.....	22
CAPÍTULO 3.....		23
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	23
3.1.	Estudio de penetración de calor .....	23
3.2.	Evaluación del proceso por el método General.....	24
3.3.	Evaluación del proceso por el método de Ball.....	25
3.4.	Evaluación del proceso por el método de Stumbo .....	25
3.5.	Estimación del tiempo de esterilización a diferentes consideraciones de proceso .....	28
3.6.	Evaluación del efecto de la esterilización en la calidad nutricional.....	31
3.7.	Distribución de las instalaciones a escala semiindustrial .....	32
3.7.1.	Relación de actividades y dimensionamiento de espacios de trabajo ..	32
3.7.2.	Layout .....	33
3.8.	Estimación de costo de procesamiento para escala semiindustrial.....	36
3.8.1.	Costos de producción .....	36
3.8.1.2.	Costos de mano de obra .....	36
3.8.1.3.	Costos de materia prima .....	36
3.8.2.	Punto de equilibrio .....	36
CAPÍTULO 4.....		38
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	38
4.1.	Conclusiones.....	38
4.2.	Recomendaciones.....	38

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

## **ABREVIATURAS**

<b>TIC</b>	Tecnologías de la Información y Comunicación
<b>ESPOL</b>	Escuela Superior Politécnica del Litoral
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
<b>ANOVA</b>	Análisis de Varianza
<b>TRA</b>	Tabla de Relación de actividades
<b>PVP</b>	Precio de venta al público

## SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
%HR	Porcentaje de humedad relativa
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
°	Grados
\$	Dólar
CUT	Tiempo de levante
D	Tiempo de reducción decimal
$F_0$	Tiempo de letalidad a 121°C o 250°F
$f_h$	Índice de velocidad de calentamiento
h	Hora
$J_h, J_c$	Tiempo de inducción térmica
kg	Kilogramo
Kwh	Kilovatios/hora
min	Minuto
pH	Potencial de hidrógeno
$TRT$	Temperatura de trabajo de la retorta
t	Tiempo
T	Temperatura
$tp$	Tiempo de procesamiento
U	Tiempo equivalente a la temperatura del medio de calentamiento del valor de letalidad requerido para el proceso
Z	Constante de muerte térmica del microorganismo o atributo de calidad seleccionada

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Perfil de temperatura del alimento vs temperatura de la retorta en un proceso de esterilización de latas.....	5
Figura 1.2 Composición porcentual de meloso enlatado.....	8
Figura 1.3 Composición porcentual del menestrón de carne enlatado.....	8
Figura 1.4 Composición porcentual de sopa de arveja enlatada.....	9
Figura 1.5 Composición porcentual de sopa de quinua enlatada.....	9
Figura 2.1 Plano superior de los envases de formato A6 con los sensores instalados.....	12
Figura 2.2 Plano frontal de los envases con la ubicación de los sensores.....	12
Figura 2.3 Menú principal del software Bigelow.....	13
Figura 2.4 Menú principal del software PEvaluator.....	14
Figura 2.5 Plantilla elaborada en Excel para el cálculo por el método de Stumbo...	15
Figura 2.6 Curva de penetración de calor (fase de calentamiento) y los parámetros obtenidos para el método de Ball.....	16
Figura 3.1 Perfil de temperatura para el proceso de esterilización de la Sopa de Quinoa sensor en la mitad mediante software Bigelow.....	23
Figura 3.2 Perfil de temperatura para el proceso de esterilización de la Sopa de Quinoa sensor mitad mediante software PEvaluator.....	24
Figura 3.3 Curva de penetración de calor para Sopa de Arveja en software DPlot..	26
Figura 3.4 Menú principal del software StumboDesign.....	27
Figura 3.5 Gráfico de interacción obtenidos para factores $F_o$ *Métodos*Alimentos a partir del diseño factorial en Minitab.....	29
Figura 3.6 Gráfico de interacción obtenidos para factores Temperatura*Métodos*Alimentos a partir del diseño factorial en Minitab.....	29
Figura 3.7 Optimizador de respuesta para tiempo de proceso $t_p$ para la combinación de factores $F_o$ *Temperatura*Método*Alimento.....	30
Figura 3.8 Perfiles de tiempos de proceso para diferentes puntos de $TRT$ y a diferentes $F_o$ .....	31

Figura 3.9 Perfiles de degradación de calidad en superficie (%) a diferentes $TRT$ y a diferentes $F_0$ .....	32
Figura 3.10 Tabla de relación de actividades .....	33
Figura 3.11 Layout diseñado para la línea de esterilización de sopa de quinua enlatada a partir del software Corelap .....	34
Figura 3.12 Layout a nivel detalle A para la línea de esterilización .....	35
Figura 3.13 Punto de equilibrio estimado .....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Especificación de cada producto definido en pruebas piloto .....	11
Tabla 2.2 Requisitos mínimos de cumplimiento para esterilización comercial en alimentos de baja acidez. ....	19
Tabla 2.3 Niveles y valores tomados por cada factor para el diseño factorial general .....	20
Tabla 2.4 Degradación de calidad (%) estimada para distintos tratamientos de una sopa enlatada .....	20
Tabla 3.1 Resultados de <i>Fo proceso</i> para cada producto por el método General con el software Bigelow .....	25
Tabla 3.2 Resultados de <i>Fo proceso</i> para cada producto por el método de Ball con el software Pvaluator .....	25
Tabla 3.3 Resultados de <i>Fo proceso</i> para cada producto por el método de Stumbo con Excel.....	27
Tabla 3.4 Porcentaje de degradación de Tiamina estimada en la Sopa de Quinoa..	31
Tabla 3.5 Costos fijos y costos variables.....	37

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Descripción del problema

Actualmente, existe una demanda por la aplicación de Tecnologías de la Información y la comunicación (TIC) la cual ha evolucionado a través de los años y se apunta como uno de los ejes primordiales dentro de la metodología de docencia, incluyendo los ensayos experimentales. El desarrollo de dichos ensayos comprende una parte esencial del aprendizaje, además de que sirve como una herramienta para validar un proceso. Estos experimentos suelen ser extensos, costosos, además de requerir planificación y equipos apropiados.

La comprensión de un proceso térmico, como técnica de conservación de alimentos, permite a cualquier usuario entender el fenómeno que implica al exponer un producto a determinadas temperaturas para conseguir la letalidad microbiana. Por ello, son necesarias herramientas que permitan visualizar un tratamiento térmico bajo distintos escenarios, garantizando un alimento inocuo. La base de datos del proceso térmico analizado se limita al contenido del programa “Tecnología para el desarrollo de productos dirigidos a la alimentación colectiva en el Ecuador”, cuya información ha sido parcialmente publicada y servirán de base en este estudio.

### 1.2. Justificación del problema

Las herramientas informáticas se han transformado en instrumentos de apoyo que permiten a cualquier usuario acceder a resolver problemas de forma virtual. A nivel industrial estas herramientas ayudarían a determinar parámetros del proceso en menor tiempo de lo habitual, además de permitir su análisis por algún cambio en las condiciones del proceso. Por ello, el presente proyecto busca analizar la viabilidad de los softwares como herramienta de apoyo de estudios de penetración de calor en estudiantes de Diseño de Procesos térmicos I y para el uso en las industrias de enlatados.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Diseñar un proceso de esterilización mediante herramientas digitales para sopas enlatadas en envase de dimensión 603x600.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

1. Evaluar modelos matemáticos relacionados a tratamientos térmicos empleando herramientas digitales garantizando la esterilización de sopas enlatadas en formato A6.
2. Establecer tiempos y temperaturas para garantizar la inocuidad de las sopas enlatadas.
3. Estimar costos de producción de sopas enlatadas de formato A6 (603x600) a escala piloto.

### **1.4. Marco teórico**

#### **1.4.1. Materia prima**

##### **Quinua**

Es un pseudocereal característico de Latinoamérica, compuesto principalmente por carbohidratos (60-75%). Se distingue por ser alto en proteínas (12-16%) y en fibra (10-13%). La quinua usualmente atraviesa operaciones preliminares para mejorar su perfil sensorial final. (Kowalski, Medina, Thapa, & Murphy, 2016)

##### **Papa**

Este tubérculo posee un alto contenido de carbohidratos, conformando una red amilácea bien estructurada, con puntos de gelatinización bajos con respecto a otros tubérculos. Así mismo, se distingue por su contenido del grupo de vitaminas B (riboflavina, niacina, etc.). (Van Hung, Mai Huong, Lan Phi, & Thanh Tien, 2017)

##### **Carne**

Los productos cárnicos representan un importante recurso alimenticio por su alto valor nutricional y la cantidad de componentes bioactivos, los cuales

difieren según el animal. Existen en general dos tipos de carnes: roja y blanca. Las carnes rojas poseen mayor cantidad de proteínas sarcoplasmáticas en el músculo como la mioglobina (rica en Hierro) que las carnes blancas. (Gibson, 2018)

### **Arroz**

El arroz (*Oryza sativa* L.) es una planta de origen monocotiledónea, que se caracteriza por sus fibrosas y delgadas raíces, y el grano del arroz encapsulado en flores de color verde claro. La variedad de este afecta a la composición nutricional. (Estrada, 2019)

### **Fideos**

Es un producto elaborado con base de trigo. Se caracteriza por la elasticidad que le brinda la estructura del almidón, además de su atributo sensorial. Durante la cocción, sufre un cambio en su reología por efecto de la gelatinización de la estructura granular del almidón. (Jung, Cho, Pan, & Yoon, 2018)

### **Fréjol**

Los frejoles pertenecen a la especie de leguminosas con variedades muy comunes en todo el mundo. Está conformado por su contenido de carbohidratos (más de 60%), proteínas (20-27%) y grasa (hasta 2%), así como incluye un aporte importante de fibra (hasta 28%) y de compuestos bioactivos (flavonoides, y compuestos fenólicos como antocianinas). (Pitura & Arntfield, 2018)

#### **1.4.2. Cinética, letalidad y penetración de calor**

La aplicación de tratamientos térmicos tiene como objetivo la reducción de microorganismos patógenos responsables del deterioro del alimento (Juneja, Yadav, Hwang, & Sheen, 2012). Para lograr ello, debe considerarse factores como: altas temperaturas, tiempo, y la naturaleza del producto. Su aplicación es necesaria como garantía de reducir posibles brotes microbiológicos en alimentos preparados. (FAO, 2018)

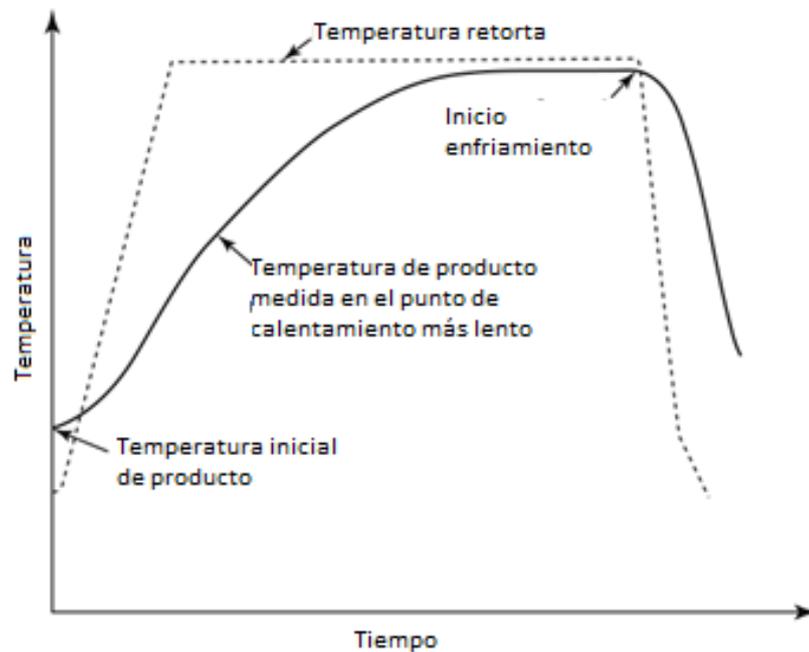
Se considera que la destrucción térmica de las bacterias se aproxima a un modelo logarítmico. El principio de letalidad indica que debe reducirse  $N$  población de bacterias a partir de  $N_0$  población inicial. Por ello, la esterilización comercial se considera especialmente en alimentos de baja acidez cuando se logra reducir a la bacteria de referencia y su capacidad de producir toxinas (Montanari, Barone, Barone, & Santangelo, 2018). A temperatura constante, existe una velocidad de destrucción microbiana expresada como  $D$ , que es el tiempo necesario para disminuir en un 90% la población microbiana, definida en la siguiente ecuación:

$$\ln\left(\frac{N_0}{N}\right) = \frac{t}{D} \quad (1.1)$$

A esto se incluye el parámetro  $Z$  el cual relaciona el incremento necesario de temperatura para lograr la reducción del 90% del tiempo  $D$  y el parámetro  $F$ , el cual es el tiempo requerido para lograr una reducción determinada de bacterias a una temperatura dada. En esterilización,  $F_0$  es dicho tiempo a temperatura de 250 °F o 121.1 °C, relacionándose con  $D$  a través de la ecuación 1.2.

$$F_0 = v_s * D_0 \quad (1.2)$$

Donde  $v_s$  es el número de reducciones logarítmicas estimado de un microorganismo y  $D_0$  es el tiempo  $D$  a 250 °F o 121.1 °C (Stumbo, 1973)



**Figura 1.1 Perfil de temperatura del alimento vs temperatura de la retorta en un proceso de esterilización de latas** (Simpson, 2009)

La esterilización en latas es un método de conservación para largos periodos a temperaturas ambiente (Casp Vanaclocha, 2014). En la Figura 1.1 se muestra como el producto es calentado con vapor de hasta 250 °F o 121.1 °C en la retorta, para luego ser enfriado drásticamente, logrando un choque térmico (ICMSF, 1980). Aunque este proceso garantice letalidad microbiana, se evidencia que causa una importante degradación en componentes termolábiles como las vitaminas (Vilas & Alonso, 2018). La degradación de nutrientes es un efecto secundario del proceso térmico, dependiendo del grado de cocción del producto. (Toledo, 2007)

Dependiendo de la naturaleza del alimento, pueden encontrarse distintos tipos de microorganismos patógenos termorresistentes, tal como se muestra en el Apéndice A. El *Clostridium botulinum* es uno de ellos, el cual es bacteria esporulada capaz de sobrevivir ambientes anaerobios y genera la toxina botulínica, causando una enfermedad crítica (Johnson, 2014). En alimentos enlatados, las esporas de *C. botulinum* sobreviven al ambiente anaeróbico tras su sellado si no se aplica un tratamiento térmico (Center for Food Safety and Applied Nutrition, 2012). La FAO sugiere un tiempo de

letalidad de 3 min a 121 °C para lograr 12 reducciones decimales o la destrucción de  $10^{12}$  esporas de *C. botulinum* para un proceso de enlatados estándar contra este microorganismo. (Huss, 1997)

### 1.4.3. Métodos de validación de procesos térmicos y degradación

Un proceso térmico precisa de una metodología que sustente el aval de cumplir con el estándar mínimo de inocuidad alimentaria, es decir, que cumpla con un  $F_o$  el cual puede ser expresado de forma general mediante la siguiente ecuación:

$$F_o = \int_0^t 10^{\frac{T_o - T}{z}} dt \quad (1.3)$$

Donde  $T_o$  es la temperatura del producto y  $T$  la temperatura en la autoclave. Para ello, existen diferentes modelos matemáticos (analíticas, numéricas, etc.) que validan  $F_o$  proceso ( $F_o$  proceso  $>$   $F_o$  objetivo, análisis a nivel evaluación), y el tiempo de proceso ( $t_p$ , análisis a nivel diseño). (Holdsworth & Simpson, 2016)

#### Método General

Este método hace uso directo de los datos de temperatura en el punto más frío del alimento y la temperatura de la autoclave para de esta manera obtener el valor de letalidad de un proceso, por cada tasa de tiempo registrado. En principio, utiliza como base una solución iterativa extraída a partir de un modelo numérico como resolución de  $F_o$ , expresado de la siguiente forma:

$$F_o = \Delta t \sum_1^n (L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n) \quad (1.4)$$

Donde  $L$  es la letalidad estimada por cada intervalo de tiempo  $t$ . (Simpson, 2009)

#### Método de Ball

El método de Ball es un método matemático que utiliza una solución analítica, que implica el uso de fórmulas considerando la temperatura en la

región más fría del producto como referencia (Serment-Moreno & Welti-Channes, 2016), presentada en la ecuación 1.5.

$$F_o = \int_0^t 10^{[T-(T-T_o)F(t)-T_{ref}]/z} dt \quad (1.5)$$

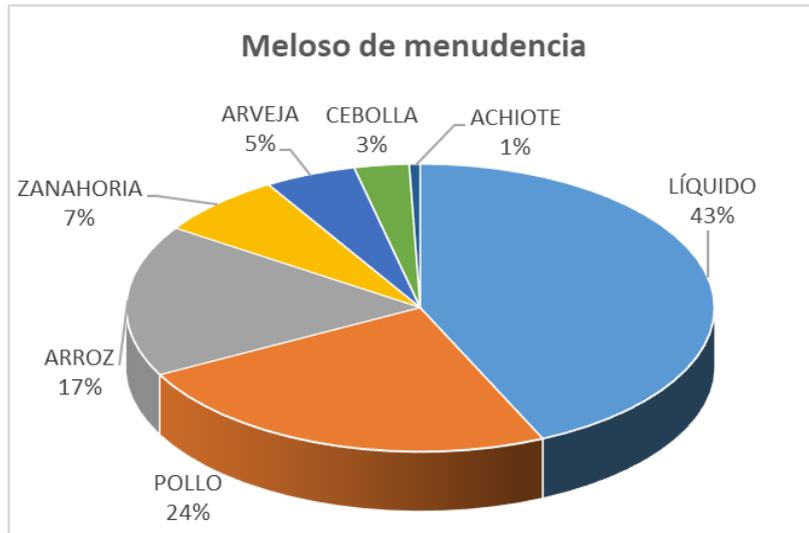
Donde  $T_{ref}$  es la temperatura de referencia del microorganismo. Este método considera la curva de penetración de calor invertida a una escala semilogarítmica, y por medio de la ecuación de la recta estimar  $f_h$  y  $j_h$ . Se define  $f_h$  como el índice de velocidad de calentamiento, que indica el tiempo necesario para atravesar un ciclo log es decir la fase recta generada y  $j_h$  como el factor de inercia, que indica la tasa uniforme de calentamiento (Majumdar, Dhar, Saha, & Roy, 2016)

#### **Método de Stumbo**

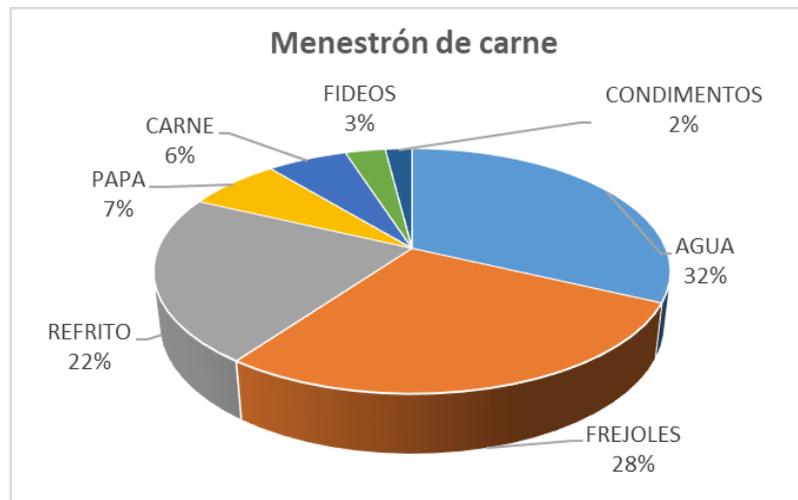
El método de Stumbo vincula un modelo matemático analítico-predictivo que basa su metodología de resolución en el método de Ball, con la diferencia que corrige la estimación del  $F_o$  a partir de una relación de  $f_h/U - g$ . Este método resulta más ergonómico para diseños de proceso (encontrar  $t_p$ ). Y a su vez reduce la probabilidad de error en la estimación de letalidad cuando el proceso permite asumir los factores de inercias  $f_h \approx f_c$ . (Toledo, 2007)

#### **1.4.4. Características de los productos**

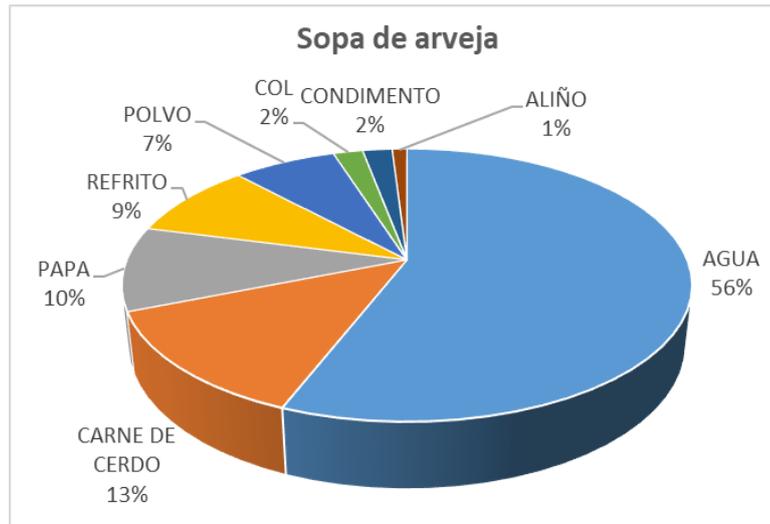
Los productos a los cuales se realizan el estudio comparativo se presentan a continuación con su respectiva composición:



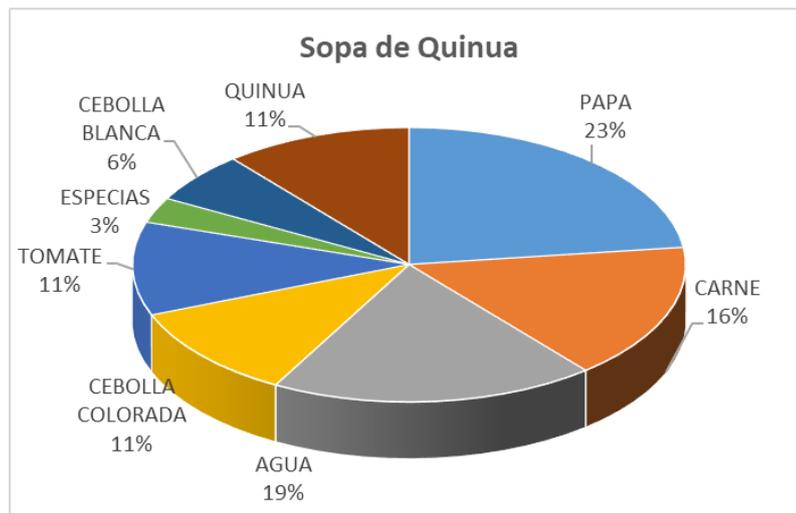
**Figura 1.2 Composición porcentual de meloso enlatado**  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 1.3 Composición porcentual del menestrón de carne enlatado**  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 1.4 Composición porcentual de sopa de arveja enlatada**  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 1.5 Composición porcentual de sopa de quinoa enlatada**  
Fuente: Elaboración Propia

#### 1.4.5. Herramientas informáticas de validación térmica

El fundamento de los programas se basa en utilizar diferentes modelos matemáticos que se ajusten a un perfil de letalidad y optimizar recursos. La investigación apunta a implementar softwares basados en algoritmos dinámicos, que estimen perfiles de temperatura considerando limitaciones de proceso, y predigan letalidad basados en la variabilidad de la naturaleza del producto (pH, %HR). (Abakarov & Nuñez, 2013)

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

La metodología implementada para el desarrollo del proyecto se dividió en cinco ejes principales. Inicialmente, la propuesta parte de analizar la data de 4 tipos de sopas enlatadas y realizar el estudio del proceso de penetración de calor por medio de 3 softwares, basados en 3 modelos matemáticos distintos: General, Ball y Stumbo. La base de datos de los productos para este trabajo fue desarrollada a partir del proyecto “Tecnología para el desarrollo de productos dirigidos a la alimentación colectiva en el Ecuador” organizada por la Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL. En este contexto, cada producto fue evaluado por medio de las herramientas digitales, lo que incluye curvas de penetración de calor, perfiles de temperatura y el tiempo de letalidad. Seguidamente, considerando un diseño factorial y el criterio del producto con menor  $F_0$  en el punto más frío de la lata, se definieron los tiempos de proceso y la influencia de cada factor considerado. Posteriormente, seleccionando la combinación con menor tiempo de proceso, se estimó el factor de calidad. Finalmente, se propuso el layout de la línea de procesos y se estimaron los costos de producción para una escala semiindustrial de 450 latas al día.

### 2.1. Estudio de penetración de calor

#### 2.1.1. Análisis preliminar del tratamiento térmico a escala piloto

La data de penetración de calor (es decir, la corrida de datos de temperatura del producto y de la autoclave a lo largo del tiempo) fue recopilada de 4 artículos diferentes, de los cuales 2 han sido ya analizados en trabajos anteriores con diferentes enfoques. Por este motivo, resulta necesario resaltar en este apartado el procedimiento de obtención de la data de penetración de calor. En este caso, se sintetizó la técnica de lectura y obtención de datos elaborada por Palacios (2008) para la correspondiente tarea.

### **Configuración de los productos**

El contenido de cada producto fue formulado tal como se mencionó previamente en el apartado 1.4.4 (calculado en %). Cada unidad fue envasada en latas cilíndricas tipo Welded-Beaded de formato A6, llenadas con producto tal como se muestran en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1 Especificación de cada producto definido en pruebas piloto**

<b>Producto</b>	<b>Envases</b>	<b>Peso neto por unidad (kg)</b>
Meloso de menudencia	Lata formato A6 (603x600)	2,6
Sopa de polvo de arveja	Lata formato A6 (603x600)	2,6
Sopa de Quinoa	Lata formato A6 (603x600)	2,6
Menestrón de carne	Lata formato A6 (603x600)	2,6

Fuente: Elaboración propia

### **Lectura de datos de penetración de calor**

Para las pruebas de penetración de calor, fue necesario contar con infraestructura y el equipamiento adecuado. Para ello, se utilizó una línea piloto que consistía en un exhauster, una selladora semiautomática y una autoclave tipo vertical con vapor de agua. A un envase en el punto frío de la retorta, se conectaron sensores de temperatura Data Trace Micropack I (Figura 2.1 y 2.2), tomando 2 lecturas por producto (Palacios, 2008). Cada información contiene la medición de temperatura en el punto frío del alimento en dos puntos distintos de la lata:

- Sensor ubicado a la mitad de la altura de la base de la lata
- Sensor ubicado a 1/3 de la altura de la base de la lata



**Figura 2.1 Plano superior de los envases de formato A6 con los sensores instalados** (Palacios, 2008)  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 2.2 Plano frontal de los envases con la ubicación de los sensores** (Palacios, 2008)

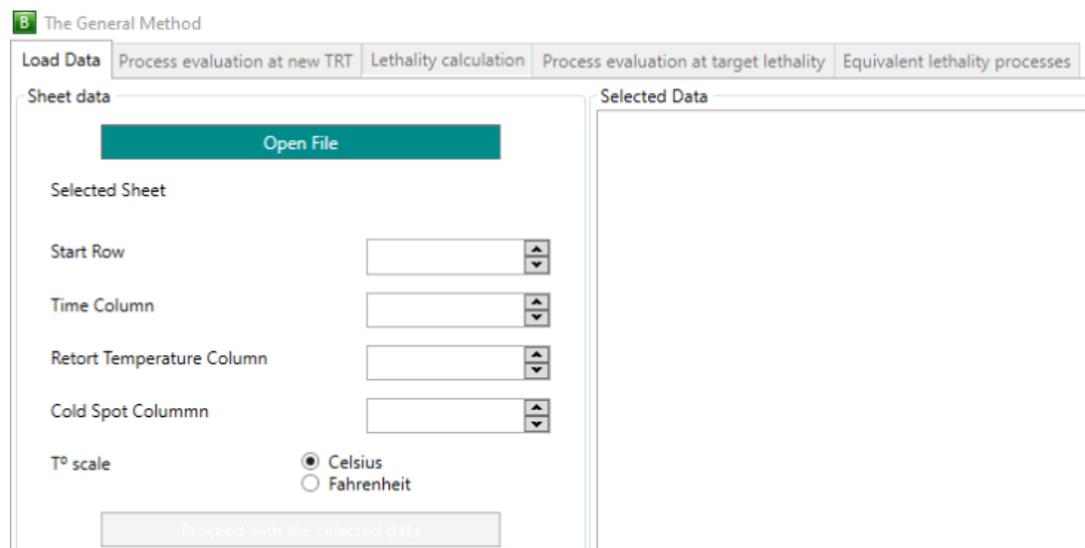
El data logger almacenó los datos de temperatura cada minuto a lo largo del tiempo de proceso (desde la entrada de vapor hasta el final del enfriamiento). A cada sección de datos presentados de cada sopa en el Apéndice B se identificaron los datos del CUT, tiempo de enfriamiento, fin de retención, inicio y fin del enfriamiento, tras los cuales se obtendrán los parámetros de proceso con las correspondientes curvas de penetración de calor de la fase de calentamiento y enfriamiento, y realizar la estimación del tiempo de letalidad.

### 2.1.2. Empleo de las herramientas digitales

Las herramientas informáticas aplicadas en este proyecto fueron utilizadas estratégicamente para analizar la data de penetración de calor de cada uno de los productos. Debido a que dicho análisis implica utilizar tres modelos matemáticos diferentes, fueron necesarios el uso de tres softwares distintos, ya que cada uno de ellos comprenden dentro de su lenguaje, una única metodología de resolución para los cuales fueron diseñadas. Los softwares utilizados son:

#### Bigelow

Es un software creado por el Dr. Ricardo Simpson y el Dr. Cristian Ramírez, mostrado en la Figura 2.3, el cual permite determinar la letalidad de un proceso mediante la suma numérica de la tasa letal a lo largo de los datos recopilados de temperatura en el punto frío. Su uso se detalla en el Apéndice C.



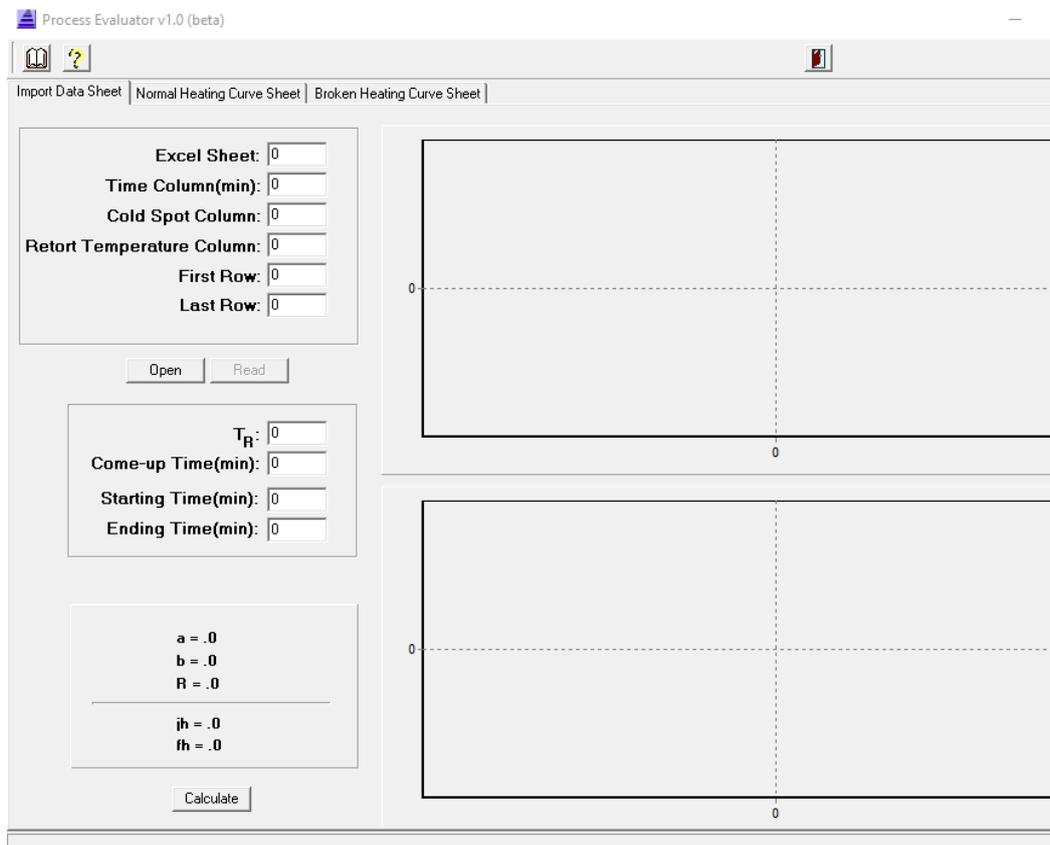
**Figura 2.3 Menú principal del software Bigelow**

Fuente: Elaboración propia

#### PEvaluator

El desarrollador de este software fue el Dr. Ricardo Simpson de la Universidad Técnica Federico Santa María (Chile), mostrado en la Figura 2.4, con el cual es posible analizar la curva de calentamiento obtenida de

un proceso térmico usando el método de Ball (Holdsworth & Simpson, 2016). Se amplía detalles de su uso en el Apéndice C.



**Figura 2.4 Menú principal del software PEvaluator**

Fuente: Elaboración propia

## **Excel**

MS Excel es una herramienta digital con la capacidad de procesar datos almacenadas en celdas, y encontrar a partir de ello una resolución a un problema numérico interactivo con el usuario pues permite clasificar, tabular y reorganizar datos y visualizarlos en una variedad de formas (Microsoft, 2019), mostrada en la Figura 2.5. Se detallan más características de su uso en el Apéndice C.

	Meloso mitad	Menestron un tercio	Sopa de arveja mitad	Sopa de quinua mitad
JcIc (°F)				
Tg-Tc				
Jl (°F)				
I (°F)				
Jc(°F)				
Jh (°F)				
fh (min)				
To(°F)				
tB(°F)				
Tref (°F)				
Tr (°F)				
Concepto	Valores	Valores	Valores	Valores
Y2				
Y1'				
Y1				
X1				
X1'				
X2				
g				
fh/U				
U				
Fo				

**Figura 2.5 Plantilla elaborada en Excel para el cálculo por el método de Stumbo**

Fuente: Elaboración propia

Como parte de la fase inicial, para la estimación de los parámetros de penetración de calor en la etapa de calentamiento y enfriamiento se utilizó la herramienta DPlot. Este software permite construir la curva de penetración de calor a partir del ingreso de la data, transformando a escala semilogarítmica, y obteniendo la ecuación de la recta, la cual es la que permite estimar los parámetros de  $f$  y  $j$ .

## 2.2. Evaluación del proceso por el método General

### 2.2.1. Cálculo matemático

El método General, tal como se describió en el apartado 1.4.3, determina por medio de iteraciones la solución a la ecuación presentada en la ecuación 1.1. Es posible definir gráficamente a  $F_0$  como la letalidad total por el área bajo la curva formada entre la diferencia de la temperatura en el punto frío del alimento y la temperatura de la autoclave, y para calcularlo se traslada a una ecuación sumatoria (Holdsworth & Simpson, 2016). En el Apéndice D se detallan los pasos para evaluar un proceso de esterilización por el método General.

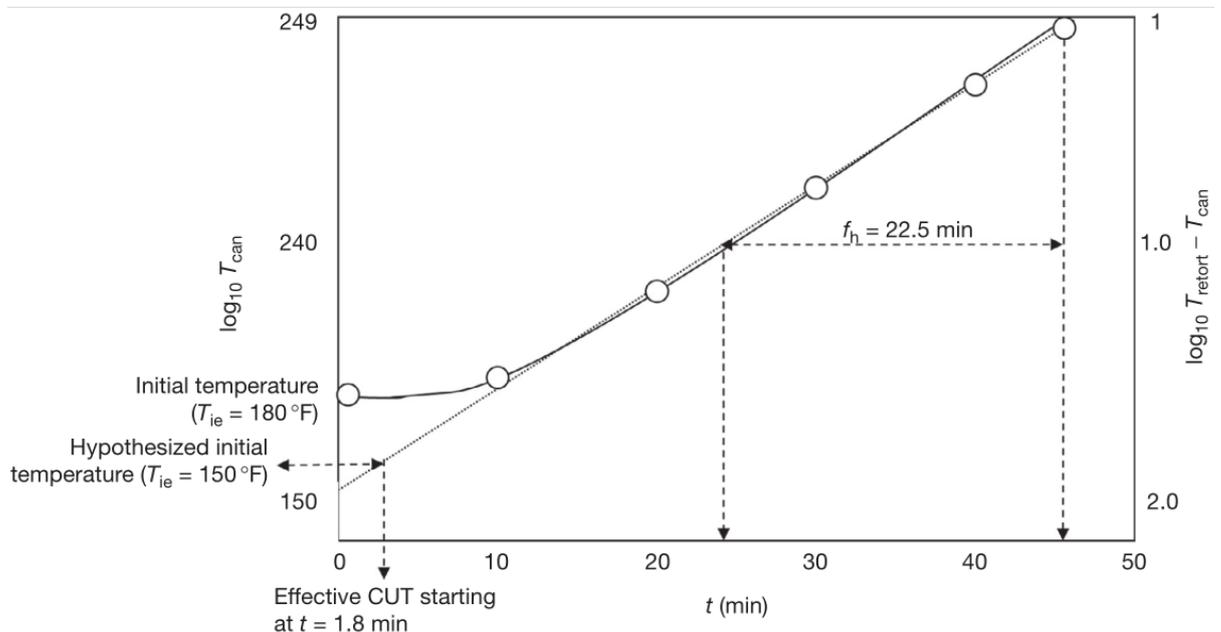
## 2.2.2. Estimación de letalidad con el software Bigelow

Una vez cargada la data de penetración de calor, se determinó el tiempo de letalidad  $F_o$  proceso a través del análisis a nivel evaluación previamente definido, así como la  $F_o$  calentamiento y  $F_o$  enfriamiento (las letalidades en cada etapa del proceso automáticamente generados por el software). Para ello, en la herramienta digital se ingresó manualmente los datos de  $T_R$  (temperatura de la retorta), así como el tiempo de proceso, definido en la data original de cada producto. Adicionalmente, el sistema estima  $f_h$  y  $j_h$  del proceso.

## 2.3. Evaluación del proceso por el método de Ball

### 2.3.1. Cálculo matemático

El método de Ball comprende el análisis de la data de penetración de calor a partir de parámetros de la curva de cada etapa como se planteó en el apartado 1.4.3. A través de dicha curva, como se muestra en la Figura 2.6, se conocen condiciones iniciales previas a evaluar el proceso de esterilización. (Holdsworth & Simpson, 2016)



**Figura 2.6** Curva de penetración de calor (fase de calentamiento) y los parámetros obtenidos para el método de Ball (Serment-Moreno & Welti-Channes, 2016)

En el Apéndice E se detalla la metodología de Ball para la estimación de letalidad y tiempo de proceso a partir de la ecuación de la recta.

### **2.3.2. Estimación de letalidad con el software P evaluator**

La carga de data al sistema de la herramienta P evaluator fue realizada producto por producto. En este caso, los valores fueron analizados para determinar el  $F_o$ . Los resultados obtenidos de  $f_h$  y  $j_h$  en la primera instancia del software (apartado 2.1.2) se trasladaron al inciso de parámetros. De igual forma, para cada sección se estimó manualmente el valor de  $t_b$ , donde ambas variables eran conocidas a partir de la data inicial, cuantificando finalmente el tiempo de letalidad.

## **2.4. Evaluación del proceso por el método de Stumbo**

### **2.4.1. Cálculo matemático**

El cálculo tradicional por el método de Stumbo utiliza los parámetros  $f_h, j_h, e, I_h$  obtenidos en las curvas de calentamiento y el valor de  $j_c$  obtenidos de las curvas de enfriamiento de cada producto tal como se estima para el método de Ball. Sin embargo, se realiza la corrección para obtener  $U$  por medio de  $g$ , la cual es detallada en el Apéndice G.

### **2.4.2. Estimación de letalidad con hoja de cálculo de Microsoft Excel**

Tal como se describió en el apartado 2.1.2, los parámetros  $f_h, j_h, I, I_c$  y  $j_c I_c$  estimados a partir de la curva de penetración graficada (para el calentamiento y enfriamiento) por cada producto se almacenó en la hoja de datos de Stumbo creado en Microsoft Excel. Una vez conocidas estas condiciones iniciales, se ingresaron dichos datos obtenidos de forma secuencial en la hoja de cálculo en la sección de *Evaluación de proceso*.

A continuación, se procedió a obtener el valor de  $g$ , a la cual se la interpoló con los valores de la tabla de Stumbo (anexada en el Apéndice F) para encontrar  $g_{j_c}$ , y automáticamente el software presentó en pantalla el valor de letalidad  $F_o$ .

### **2.4.3. Desarrollo de software basado en el Método de Stumbo**

De forma análoga, se desarrolló un software basado en el lenguaje de programación de MS Power Apps, con la cual se construyó para entornos de Windows y Android. El propósito de este desarrollo, al cual se lo nombró *StumboDesign*, era tener un programa que utilizara el método de Stumbo y fuese más ergonómico, amigable y educativo que el construido en MS Excel. Se añadió las dos posibilidades de analizar un proceso térmico: el de *Evaluación* y *Diseño* (con base en la metodología presentada en el apartado 2.4.1).

## **2.5. Estimación del tiempo de esterilización a diferentes consideraciones de proceso**

Una vez conocidos los parámetros de esterilización a partir de la verificación de datos, se estimó el tiempo de proceso  $t_p$ , a fin de interpretar la influencia de determinadas condiciones de proceso, establecidas a continuación, sobre dicho tiempo. Para ello, se empleó una de las dos secciones de datos por cada producto para este cálculo. El criterio de selección era el que obtuviese menor  $F_0$ , asumiendo éste como el punto frío de cada producto.

### **2.5.1. Definición de las consideraciones de proceso establecidas**

Se determinaron dos factores en común de las herramientas digitales que podrían ser modificados para la determinación de tiempos de proceso los cuales son: la temperatura de la retorta y la letalidad objetivo. En cuanto a la temperatura de retorta  $T_R$ , se escogieron entre 3 temperaturas con las que podría variar la autoclave y con el  $F_0$  se determinaron 3 valores de letalidades distintos para que las sopas enlatadas cumplan con una esterilidad comercial es decir  $F_0 \geq 3$ , el cual se resalta como lo mínimo recomendado por la FAO para alimentos enlatados (descrito en el apartado 1.4.2), de tal forma que se cumplan con los requisitos descritos en la Tabla 2.2. Los valores de la temperatura de retorta  $T_R$  son 115,6, 118,3, y 121,1°C; y en cuanto a los  $F_0$  seleccionados fueron: 4, 6 y 8 min.

**Tabla 2.2 Requisitos mínimos de cumplimiento para esterilización comercial en alimentos de baja acidez.**

Requisito	Parámetros	Normativa
Microorganismos mesófilos anaerobios	Ausencia (UFC/g)	Norma Oficial Mexicana NOM-130-SSA1-1995
Reducción de <i>Clostridium botulinum</i> Tipo A para esterilización comercial	10 <sup>12</sup> esporas	Documento Técnico de Pesca de la FAO

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, el tiempo de proceso de esterilización va a depender bajo qué metodología se utilice para su estimación, puesto que la precisión difiere al evaluar la etapa de enfriamiento. Por ello, se utilizó el método de cálculo como factor para el análisis. En este contexto, se analizó la data bajo cada metodología (General, Ball y Stumbo representada por cada software) a nivel diseño (o *Diseño de proceso*).

### 2.5.2. Análisis del comportamiento del tiempo de proceso

Bajo los criterios expuestos en el apartado anterior, los resultados de tiempo de proceso  $t_p$  de cada uno de los productos fueron analizados estadísticamente con la herramienta Minitab estableciendo un diseño factorial general, de una repetición con los niveles detallados en la Tabla 2.3, puesto que el tiempo es un único valor que entrega el software. A este análisis se le incluyó un optimizador de respuesta y gráficos de interacción, extrayendo la combinación con el menor tiempo de proceso, y analizando el impacto de cada factor dentro del proceso.

**Tabla 2.3 Niveles y valores tomados por cada factor para el diseño factorial general**

<b>Factores</b>	<b>Niveles</b>	<b>Valores</b>
Temperatura retorta	3	115.6, 118.3, 121.1
Fo	3	4, 6, 8
Métodos	3	General, Ball, Stumbo
Alimentos	4	Sopa Quinua, Meloso, Menestrón, Polvo Arveja

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, se obtuvo para esta etapa un perfil del tiempo de proceso para el producto derivado de la mejor combinación, expresado en minutos, en función de distintas temperaturas de retorta, que vayan desde 100-140°C, a partir de una simulación para tres diferentes niveles de  $F_0$ : 4, 6 y 8 min.

## **2.6. Evaluación del efecto de la esterilización en la calidad nutricional**

Para realizar la evaluación del factor de calidad se utilizó el software Bigelow, pues su interfaz permite estimar el deterioro de un componente nutricional específico. Partiendo de la combinación óptima del apartado 2.5, se estimó el porcentaje de degradación en uno de los productos presentados, del cual haya obtenido menor tiempo de proceso, considerando los tratamientos tal como se presenta en la Tabla 2.4. De este modo, se evaluó el efecto sobre el componente bajo las condiciones del proceso de esterilización previamente analizados en el apartado anterior. Los parámetros de degradación de algunos componentes relevantes se encuentran anexados en el Apéndice H.

**Tabla 2.4 Degradación de calidad (%) estimada para distintos tratamientos de una sopa enlatada**

<b>Tratamientos</b>	<b>Factores considerados</b>	<b>Codificación de Calidad</b>
Tratamiento 1	121,1°C – 4 min	Q1
Tratamiento 2	121,1°C – 6 min	Q2
Tratamiento 3	121,1°C – 8 min	Q3

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, de manera similar al perfil obtenido en el apartado 2.5.2, se obtuvo un perfil que describe el comportamiento de la degradación de calidad de dicho producto en términos del % de calidad en superficie (% *Surface Quality*).

## **2.7. Distribución de las instalaciones a escala semiindustrial**

### **2.7.1. Relación de actividades y dimensionamiento de espacios de trabajo**

El diseño del layout de la línea de proceso se basó en el análisis práctico de las actividades y equipos necesarios para la producción semiindustrial previamente estipulada. A partir de los resultados obtenidos en el apartado 2.5, se considera para el análisis la línea de flujo de la sopa enlatada que represente el menor tiempo de proceso mediante las tres metodologías usadas, con el objetivo de plantear el costo de producción.

A partir de la definición de las actividades específicas para la elaboración de dicho producto, se planteó la distribución de los puestos de trabajo para cada etapa utilizando la metodología SLP (Systematic Layout Planning). La presente metodología expresa la relación existente entre áreas o actividades afines, que represente una mayor ventaja para el proceso por lo que necesiten estar próximas (Casp, 2005). Para determinar las afinidades entre cada área y/o actividad, se sumó una Tabla de Relación de Actividades (T.R.A) en donde se califica de forma cualitativa la relación que compartan y se establecen en eslabones denominados departamentos, seccionados en forma piramidal rotada 90°. La asignación que corresponda a cada departamento se valoró utilizando la tabla sugerida por Munther según la proximidad a la cual deben estar y el motivo (Casp, 2005). Este resumen de valoraciones se encuentra en la tabla presentada en el Apéndice I.

### **2.7.2. Layout**

Finalmente, a los resultados estimados a partir de la herramienta de relación de cada departamento se adicionó una estimación de espacios

para los equipos necesarios para un área de procesos a escala semiindustrial. Los cálculos se evaluaron con el software Corelap, para reflejar el esquema del layout considerado adecuado para el proceso de producción.

## **2.8. Estimación de costo de procesamiento para escala semiindustrial**

Se consideró una producción de 450 latas/día de la sopa enlatada (proveniente del apartado 2.5.2) para estimar su costo de operación teniendo en cuenta los costos variables como la materia prima, mano de obra, consumo de combustible (caldero), los costos fijos en el caso de los equipos para la elaboración de este producto los cuales se encuentran comprometidos dentro de una jornada laboral, y adicionalmente el consumo de energía eléctrica y servicio de agua aproximado.

Mediante la obtención del punto de equilibrio se estimó la cantidad necesarias de sopas enlatadas que se deberían de expender para obtener una utilidad neta de cero. Para el cálculo correspondiente se tomó en cuenta los costos variables y fijos de operación

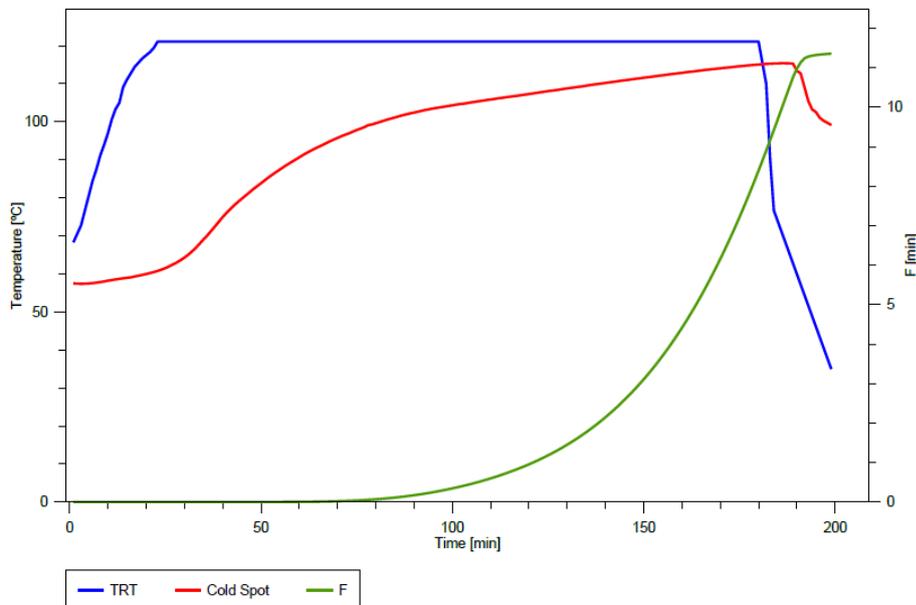
# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se hace énfasis en los resultados obtenidos a través del desarrollo de la metodología expuesta en el capítulo anterior. En primer lugar, se evalúa el estudio de penetración de calor a través de las tres herramientas digitales. Posteriormente se presenta el resultado del diseño de proceso, empleando gráficas de interacción, un optimizador y perfil de comportamiento, escogiendo a partir de ello un producto con sus condiciones de proceso, y se estima el impacto en el factor nutricional. Finalmente, se plantea el diseño de la línea de producción y el apartado de costos.

### 3.1. Estudio de penetración de calor

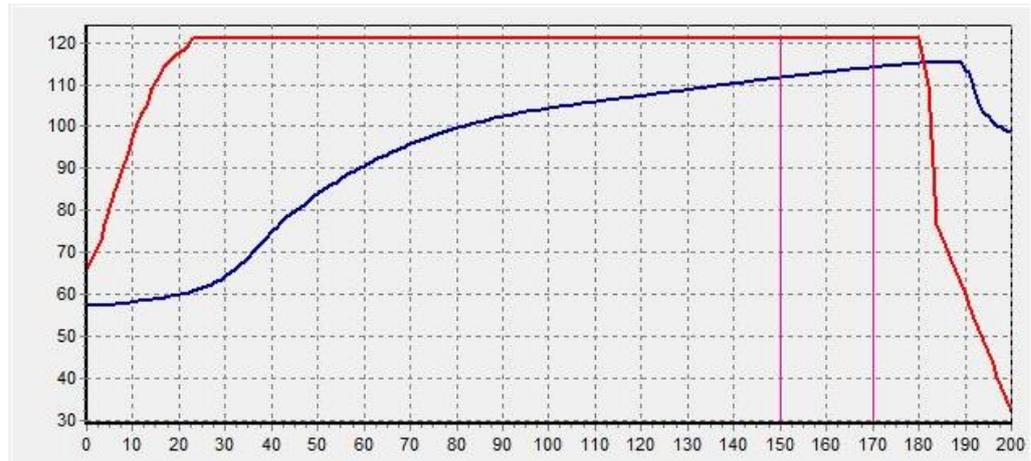
Se obtuvieron los perfiles de temperaturas del proceso de esterilización para cada producto. El software Bigelow perfiló la curva de  $F_0$  del proceso de forma paralela, como se muestra de ejemplo en la Figura 3.1 para la Sopa de Quinoa. El resto se ubica en el Apéndice J-I.



**Figura 3.1 Perfil de temperatura para el proceso de esterilización de la Sopa de Quinoa sensor en la mitad mediante software Bigelow.**

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, PEvaluator proporcionó el perfil de temperatura de esterilización del producto y la temperatura de la autoclave, tal como se muestra en el ejemplo de la Figura 3.2 con el proceso de la Sopa de Quinoa sensor en la mitad, ubicando las demás en el Apéndice J-II.



**Figura 3.2 Perfil de temperatura para el proceso de esterilización de la Sopa de Quinoa sensor mitad mediante software PEvaluator.**

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de  $F_0$  para el método de Stumbo, se construyó las curvas de penetración de calor por medio del software DPlot, las cuales se agruparon por producto (cada gráfico muestra las dos datas de los sensores).

### **3.2. Evaluación del proceso por el método General**

En la Tabla 3.1 se muestran los resultados de  $F_0$  *proceso* evaluado bajo el modelo propuesto por el método General con el software Bigelow.

**Tabla 3.1 Resultados de  $F_o$  proceso para cada producto por el método General con el software Bigelow**

Productos	Fo (min)	Tiempo proceso (min)
Sopa de quinua (sensor mitad)	11,35	168,66
Sopa de quinua (sensor un tercio)	16,61	168,66
Menestrón (sensor mitad)	16,65	180,66
Menestrón (sensor un tercio)	12,96	180,66
Sopa de arveja (sensor mitad)	4,59	166,66
Sopa de arveja (sensor. un tercio)	12,92	166,66
Meloso menudencia (sensor mitad)	7,39	172,66
Meloso menudencia (sensor un tercio)	12,78	172,66

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Evaluación del proceso por el método de Ball

En la Tabla 3.2 se muestran los resultados de  $F_o$  proceso evaluado bajo el modelo propuesto por el método de Ball con el software PEvaluator.

**Tabla 3.2 Resultados de  $F_o$  proceso para cada producto por el método de Ball con el software PEvaluator**

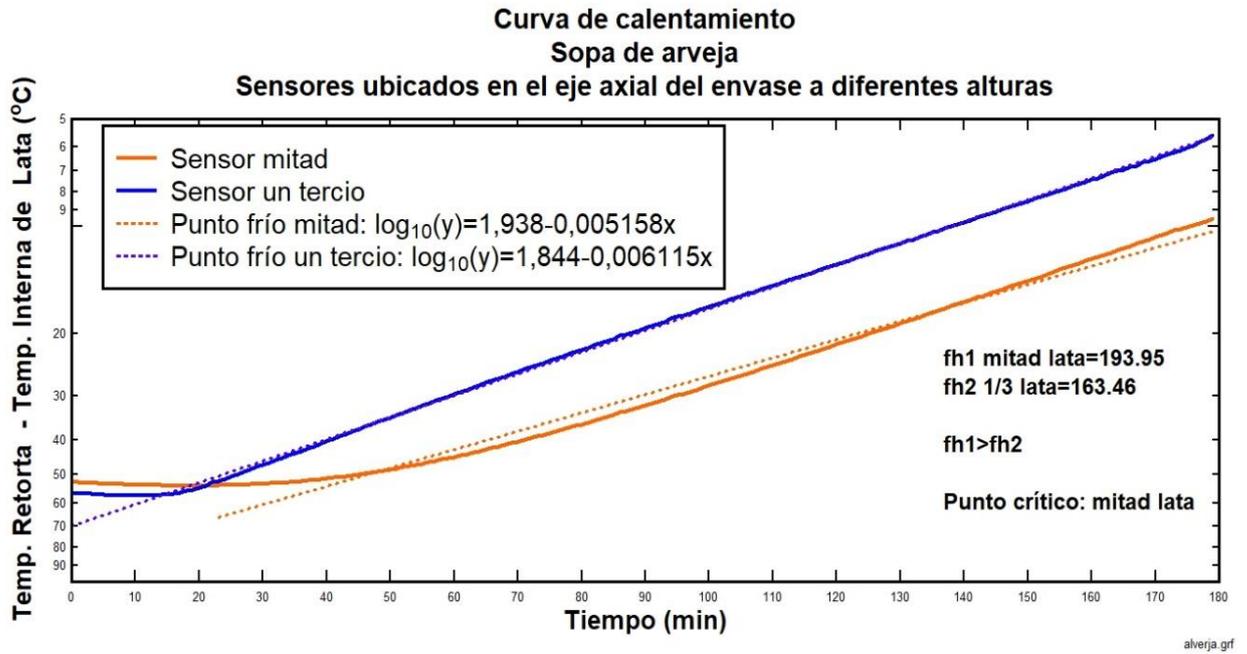
Productos	Fo (min)	Tiempo proceso (min)
Sopa de quinua (sensor mitad)	9,06	168,66
Sopa de quinua (sensor un tercio)	15,43	168,66
Menestrón (sensor mitad)	16,51	180,66
Menestrón (sensor un tercio)	10,98	180,66
Sopa de arveja (sensor mitad)	3,67	166,66
Sopa de arveja (sensor. un tercio)	11,88	166,66
Meloso menudencia (sensor mitad)	7,5	172,66
Meloso menudencia (sensor un tercio)	13,21	172,66

Fuente: Elaboración propia

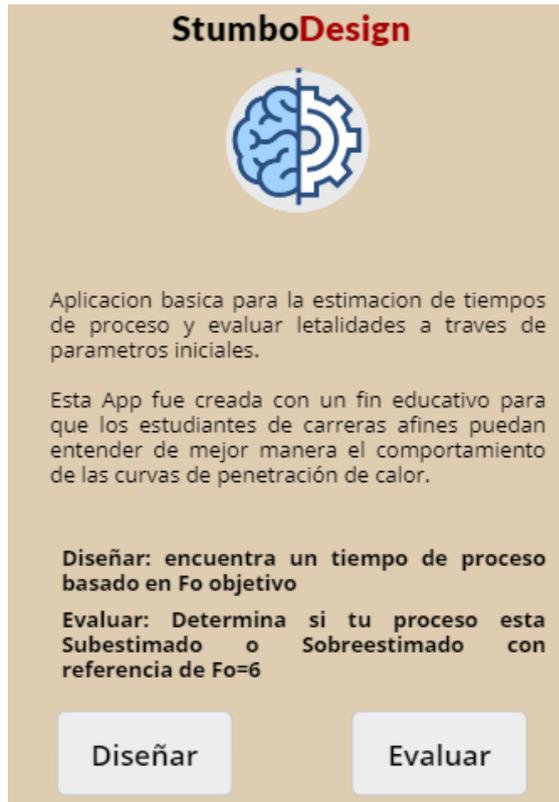
### 3.4. Evaluación del proceso por el método de Stumbo

El  $F_o$  proceso evaluado bajo el modelo propuesto por el método de Stumbo fue estimado con la plantilla elaborada en MS Excel, con las curvas de penetración de calor en DPlot como se muestra en la Figura 3.3 (ubicando las demás curvas en el Apéndice J-III). De forma paralela, se construyó la App bajo soporte de Android y Windows del software StumboDesign,

mostrado en la Figura 3.4. Basado en los parámetros de penetración de calor estimados a través de DPlot, fue posible estimar  $F_0$ . En la Tabla 3.3 se encuentran los resultados obtenidos utilizando el método de Stumbo.



**Figura 3.3 Curva de penetración de calor para Sopa de Arveja en software DPlot**  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.4 Menú principal del software StumboDesign**

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.3 Resultados de  $F_0$  proceso para cada producto por el método de Stumbo con Excel**

Productos	$F_0$ (min)	Tiempo proceso (min)
Sopa de quinua (sensor mitad)	10,4	168,66
Sopa de quinua (sensor un tercio)	15,52	168,66
Menestrón (sensor mitad)	17,64	180,66
Menestrón (sensor un tercio)	10,84	180,66
Sopa de arveja (sensor mitad)	3,34	166,66
Sopa de arveja (sensor. un tercio)	9,68	166,66
Meloso menudencia (sensor mitad)	7,72	172,66
Meloso menudencia (sensor un tercio)	12,56	172,66

Fuente: Elaboración propia

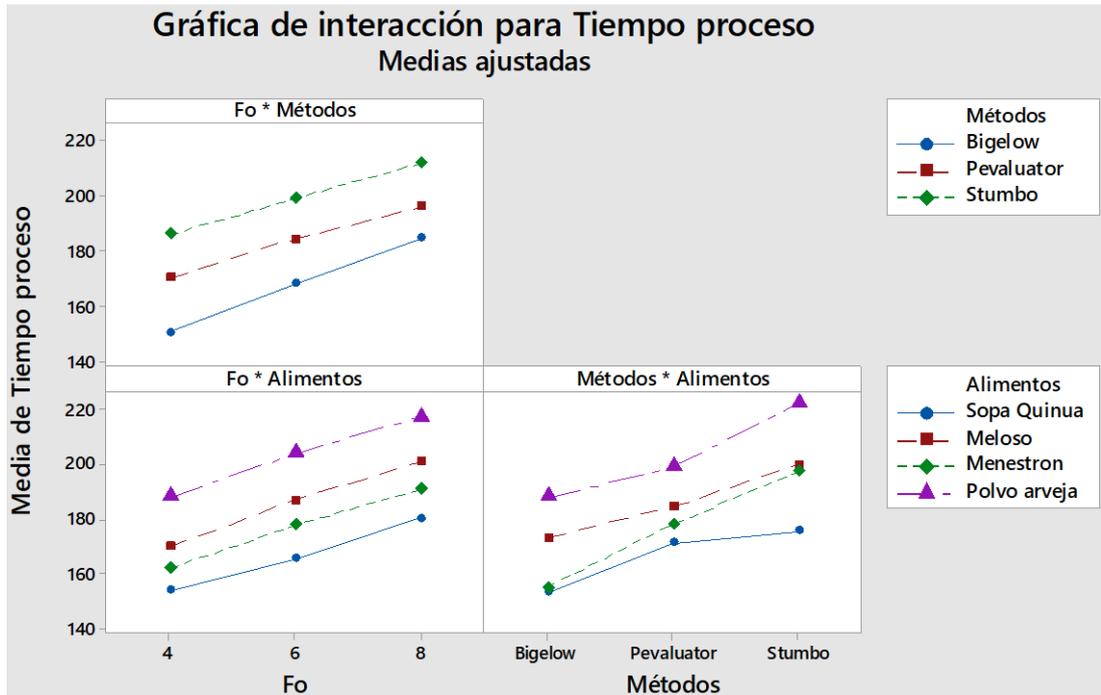
En base a estos resultados como se estableció en el capítulo anterior, se tomaron los puntos más críticos: Sopa de Quinua sensor mitad, Menestrón sensor un tercio, Polvo de arveja sensor mitad y Meloso de menudencia sensor mitad.

A partir de los parámetros analizados, a excepción de la sopa de arveja, el resto de los productos se presuponen sobre – procesados con respecto al nivel de letalidad basada en la norma descrita en la Tabla 2.2.

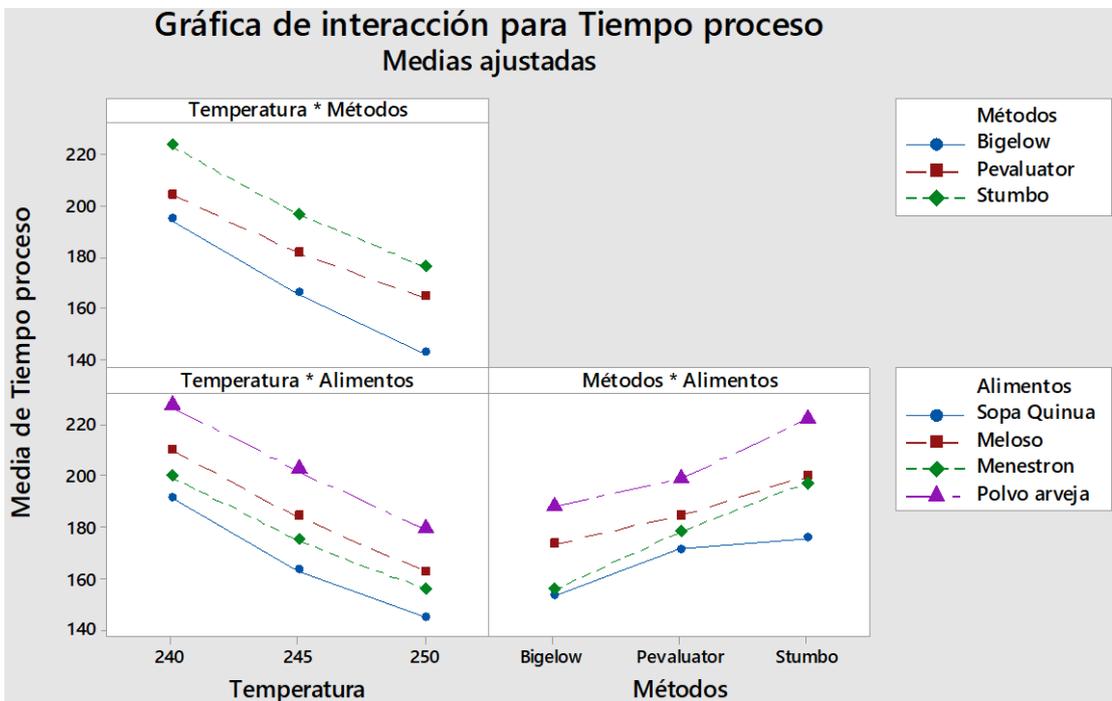
### **3.5. Estimación del tiempo de esterilización a diferentes consideraciones de proceso**

En base al apartado 2.5.1, los tiempos de proceso  $tp$  se obtuvieron para cada metodología, como se muestra en el Apéndice K. Los resultados de  $tp$  se analizaron en Minitab bajo un modelo de diseño factorial general, como se resume en el Apéndice L. El modelo obtuvo un  $R^2$  del 97,9% lo que sugiere que el modelo se acopla adecuadamente al comportamiento de los datos. En los Apéndices L-I y L-II se encuentran el gráfico de residuos del modelo (que se ajusta a distribución normal) y el Diagrama de Pareto, respectivamente.

En la Figura 3.5 y 3.6 se incluyeron gráficas de interacción entre los factores  $Fo$ \**Métodos*\**Alimentos* y  $Temperatura$ \**Métodos*\**Alimentos*, respectivamente. A través de estas gráficas, se observó que la Sopa de Quinoa en promedio, tiene menor tiempo de proceso que los otros productos, lo que indica que en este producto alcanza en menor tiempo la letalidad objetivo.

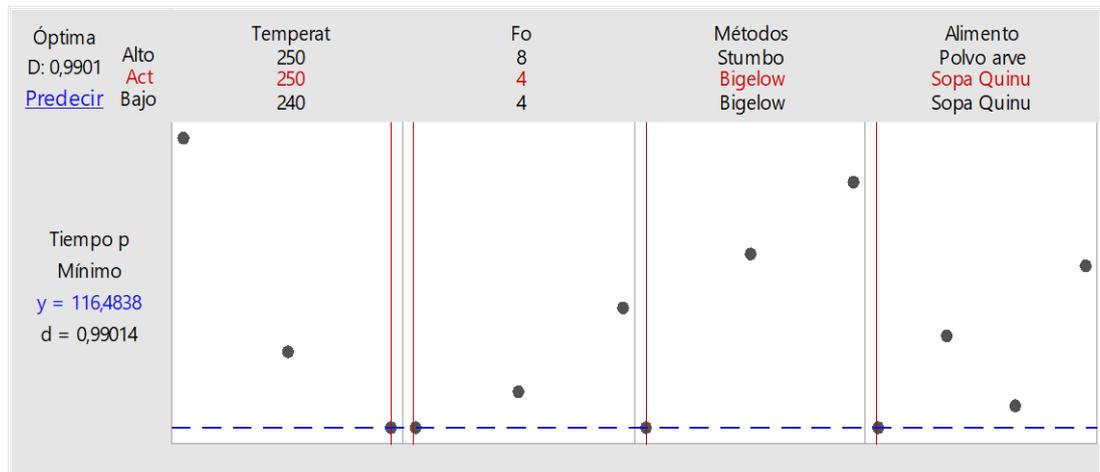


**Figura 3.5** Gráfico de interacción obtenidos para factores Fo\*Métodos\*Alimentos a partir del diseño factorial en Minitab  
Fuente: Elaboración propia



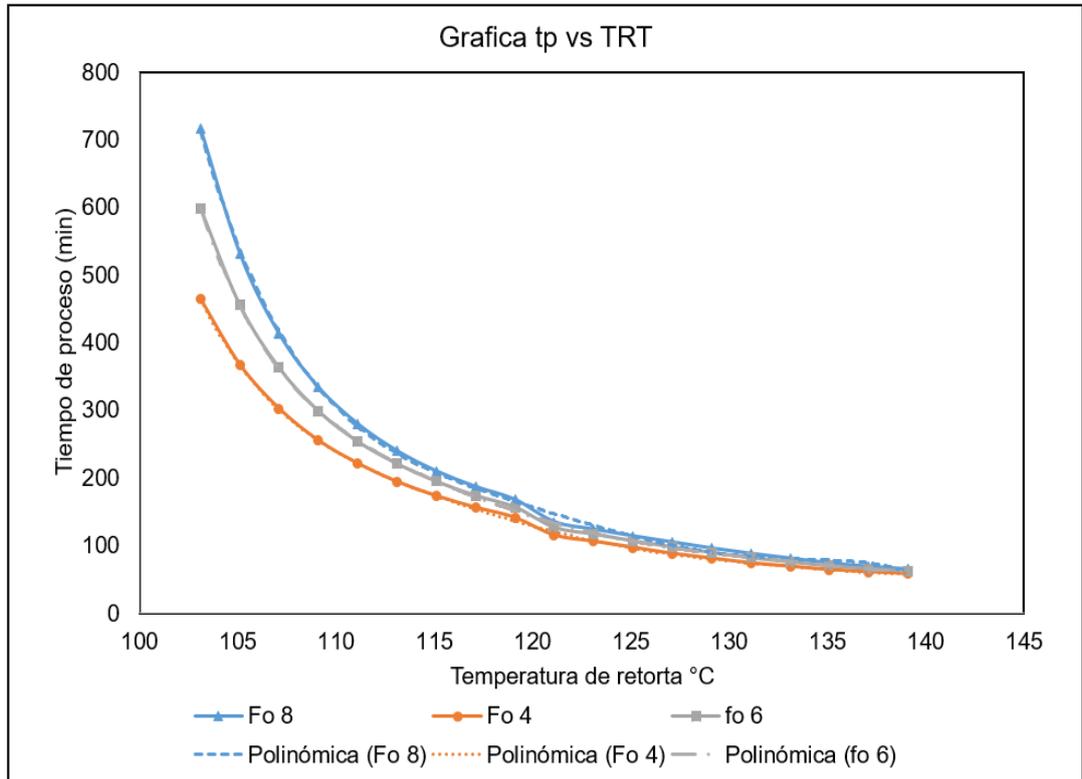
**Figura 3.6** Gráfico de interacción obtenidos para factores Temperatura\*Métodos\*Alimentos a partir del diseño factorial en Minitab  
Fuente: Elaboración propia

La Figura 3.7 detalla el optimizador de respuesta acorde al diseño factorial a través de Minitab. El análisis de las tendencias muestra que la combinación que entrega un menor tiempo de proceso, cumpliendo con los requisitos mínimos descritos en la Tabla 2.2, es la Sopa de Quinua a un  $TRT = 121,1^{\circ}C$  y  $F_0 = 4 \text{ min}$  evaluada con la herramienta digital de Bigelow, con un nivel de deseabilidad del 94,9% (acotada en las líneas punteadas azules: la cual describe un factor de respuesta minimizado de  $y = 116,4 \text{ min}$  de tiempo de proceso).



**Figura 3.7 Optimizador de respuesta para tiempo de proceso  $tp$  para la combinación de factores  $F_0$ \*Temperatura\*Método\*Alimento**  
Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo el perfil de temperatura de retorta vs tiempo de proceso para la Sopa de Quinua a diferentes curvas (cada una representa un  $F_0$  constante) como se muestra en la Figura 3.8. Se puede observar que trabajar a temperaturas de  $121,1^{\circ}C$  en la autoclave, el tiempo crece de forma exponencial, lo que en la práctica extendería el proceso de forma considerable. Adicionalmente, los tiempos de proceso se comportan inversamente proporcional a la temperatura de retorta, y se incrementan conforme a la necesidad de letalidad aumenta.



**Figura 3.8 Perfiles de tiempos de proceso para diferentes puntos de  $TRT$  y a diferentes  $F_o$ .**  
Fuente: Elaboración propia

### 3.6. Evaluación del efecto de la esterilización en la calidad nutricional

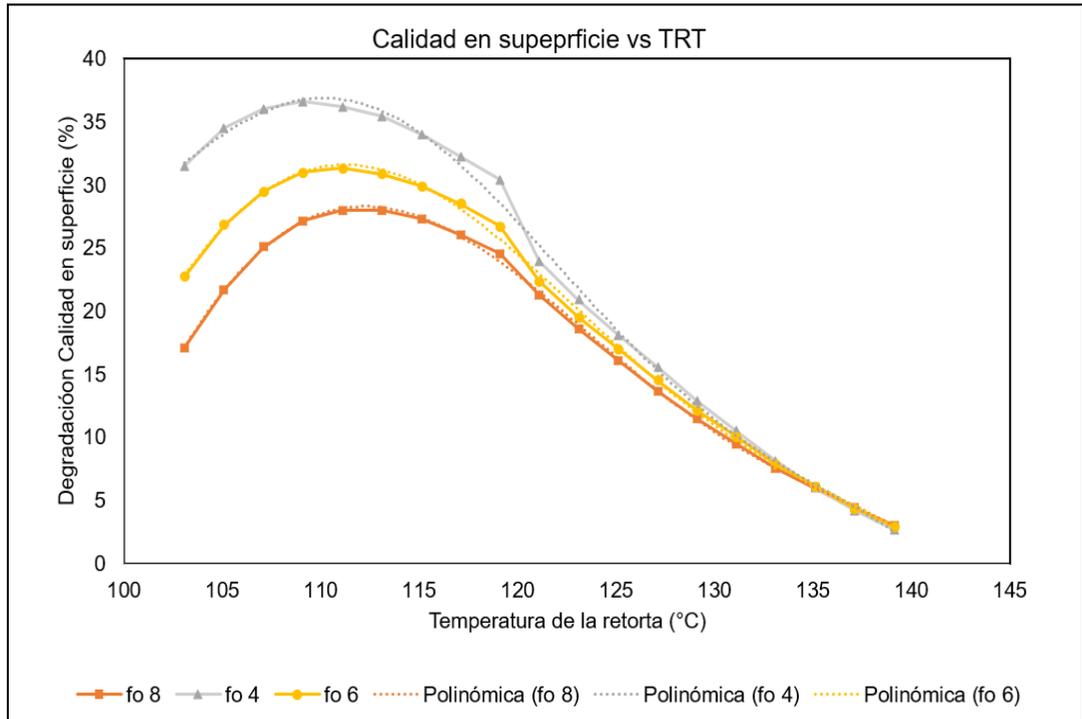
Se analizó la calidad en superficie de la sopa de quinua a 3 distintos  $F_o$  de 4, 6 y 8 min, el análisis fue enfocado a la pérdida de Tiamina (vitamina B1) que se encuentra en la carne que contiene el producto. En la Tabla 3.4 se muestra las cantidades de tiamina en base a los 0,1mg de Vit. B1 por cada 100g de carne de res, teniendo una cantidad de tiamina de 0,416mg antes de la esterilización. (Carvajal, 2001)

**Tabla 3.4 Porcentaje de degradación de Tiamina estimada en la Sopa de Quinua**

Codificación de calidad	$F_o$ (min)	Temperatura de retorta (°C)	Porcentaje de degradación de Vit. B1 (%)	Cantidad de Vit. B1 en Sopa de Quinua (mg)
Q1	4	121,1	23,96	0,09967
Q2	6		22,31	0,09280
Q3	8		21,28	0,08852

Fuente: Elaboración propia

El software Bigelow permitió obtener distintos porcentajes de degradación de la calidad en la superficie a distintas temperaturas de retorta simulando los datos para formar una curva tal y como se muestra en la Figura 3.9. Las curvas obtenidas se aproximan a funciones polinómicas de grado 6 con un  $R^2$  de 96% aproximadamente



**Figura 3.9 Perfiles de degradación de calidad en superficie (%) a diferentes  $TRT$  y a diferentes  $F_o$**   
Fuente: Elaboración propia

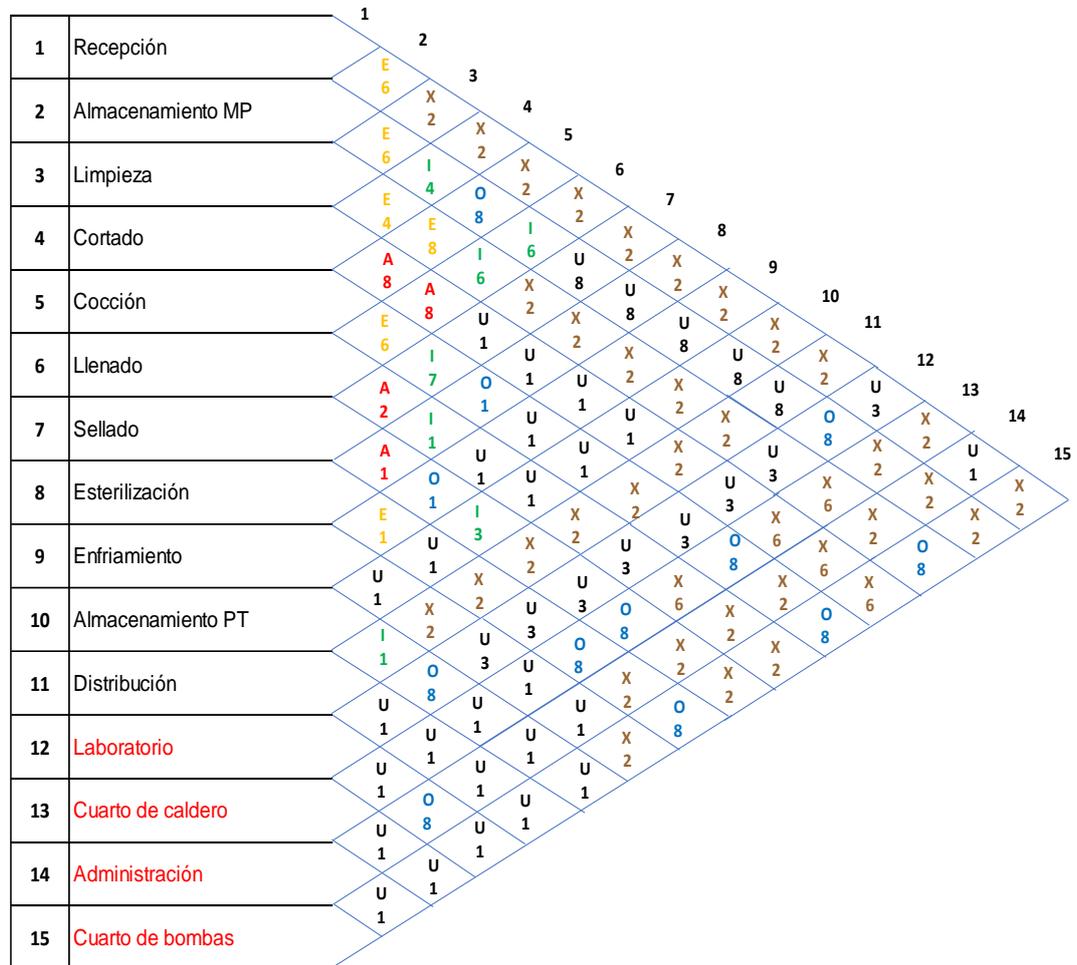
### 3.7. Distribución de las instalaciones a escala semiindustrial

Se estableció la línea de procesos para la elaboración de la sopa de quinua enlatada, con los parámetros de proceso de  $TRT = 121,1^{\circ}C$  y  $t_p = 115 \text{ min.}$  En el Apéndice M describe el diagrama de flujo sugerido para este proceso.

#### 3.7.1. Relación de actividades y dimensionamiento de espacios de trabajo

En la Figura 3.10 se muestra la valoración de vínculos que existen entre cada etapa de proceso y además de las actividades de no flujo como: Cuarto de caldera, Cuarto de bombas, Laboratorio y un departamento de

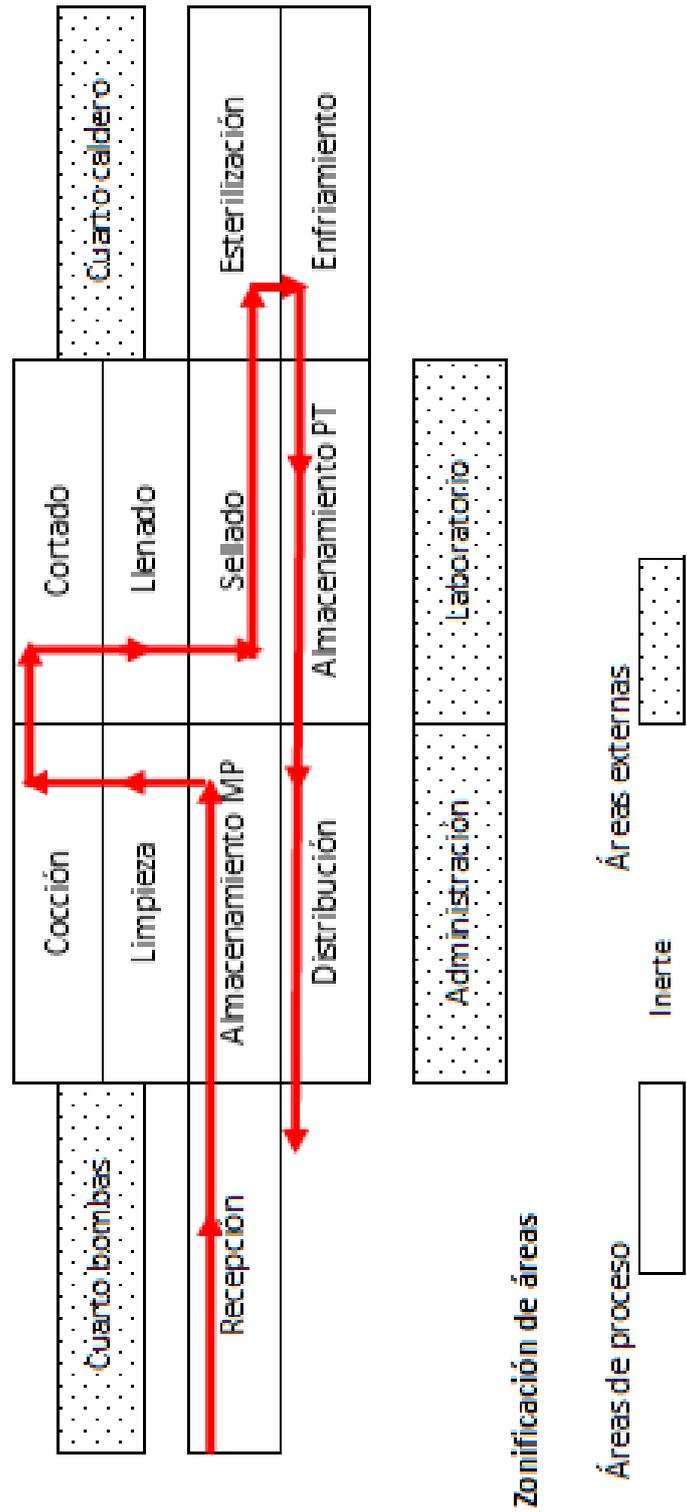
administración. Cabe destacar que para el respectivo análisis se optó por unificar algunas etapas que comparten la misma naturaleza en cuanto a su propósito. El espacio mínimo requerido se estimó en 204,4 m<sup>2</sup>.



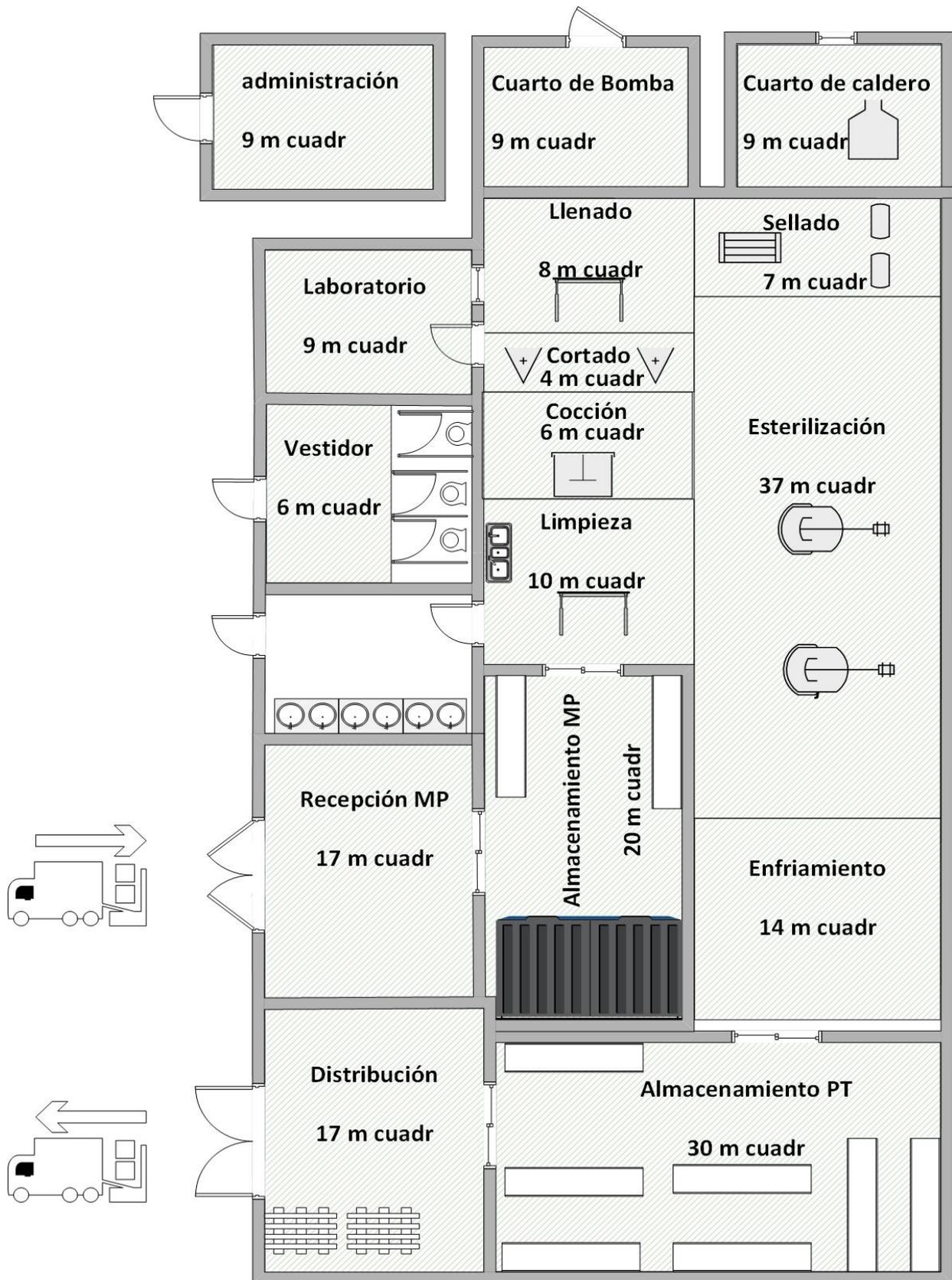
**Figura 3.10** Tabla de relación de actividades  
Fuente: Elaboración propia

### 3.7.2. Layout

La Figura 3.11 muestra el layout del área de procesos a través del software Corelap a partir de las relaciones establecidas en el apartado anterior y el espacio requerido. Esta distribución sigue una secuencia lógica, la cual inicia desde el área de Recepción hasta la Distribución de producto terminado. En la Figura 3.12 se muestra un diseño a nivel detalle A del layout de planta.



**Figura 3.11** Layout diseñado para la línea de esterilización de sopa de quinua enlatada a partir del software Corelap  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.12 Layout a nivel detalle A para la línea de esterilización**  
 Fuente: Elaboración propia

### **3.8. Estimación de costo de procesamiento para escala semiindustrial**

#### **3.8.1. Costos de producción**

Los Costos fueron desglosados en materia prima incluida el material de empaque, mano de obra y servicios básicos obteniendo un valor de \$3,755 el costo variable por cada unidad producida tal y como se detalla en el Apéndice O. Se tomó en consideración un margen de contribución del 54,2% dando un precio de venta al público (PVP) de \$8.20 para una presentación de 2.6 Kg.

##### **3.8.1.2. Costos de mano de obra**

Se consideraron necesarios el uso de 6 operarios para las distintas áreas tal y como se encuentra contemplado en el Apéndice N, y donde se refleja una estimación del costo para las distintas áreas, obteniendo un valor de \$128,98 al día.

##### **3.8.1.3. Costos de materia prima**

Las materias primas con sus respectivos costos se encuentran detallados en el Apéndice O, en el cual se indica que el costo por producto para materia prima y envase es de \$3,3775. Cabe destacar que para el análisis se consiguieron proveedores de papa pelada y desinfectada, proveedor de refrito elaborado y la carne es un subproducto de otro proceso.

#### **3.8.2. Punto de equilibrio**

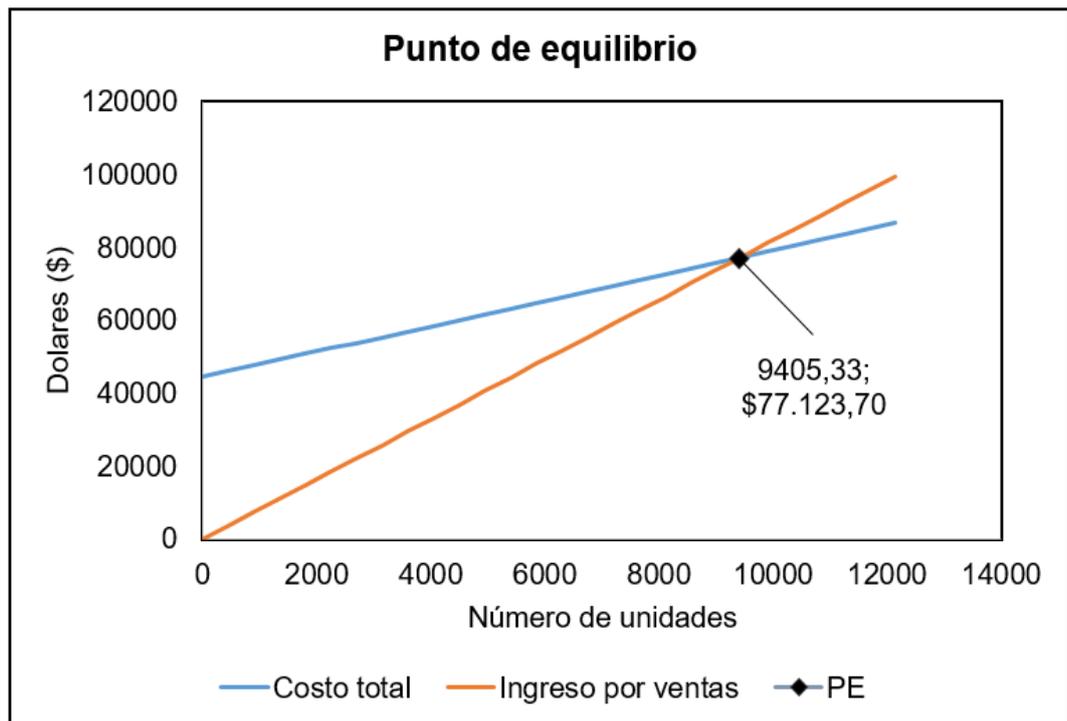
El total del Costo fijo anual para la producción de 450 sopas de quinua enlatadas sería de \$44502 y el total del costo variable de \$3,47 tal y como se refleja en la Tabla 3.5.

**Tabla 3.5 Costos fijos y costos variables**

Costo fijo anual		Costo Variable por producto	
Descripción	Valor	Descripción	Valor
Salario	\$ 34.051,50	Materia prima	\$ 3,38
Depreciación	\$ 4.450,80	Servicios básicos	\$ 0,0897
Alquiler	\$ 6.000,00	Total	\$ 3,47
Total	\$ 44.502,30		

Fuente: Elaboración propia

El PVP es de \$8,20 obteniendo un punto de equilibrio de 9406 unidades a producir por mes, tal y como se muestra en la Figura 3.13. Debido a que se estima una producción mensual de 9900 unidades, se estima una utilidad mensual de \$4050.



**Figura 3.13 Punto de equilibrio estimado**

Fuente: Elaboración propia

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

- La evaluación de proceso de las herramientas digitales mostró que los niveles de esterilización del estudio de penetración de calor de cada uno de los productos garantizan su inocuidad, a pesar de sobreprocesarse algunos de ellos.
- El software Bigelow presentó, en promedio, un menor tiempo de proceso debido a que en la estimación de la letalidad no subestima la etapa de enfriamiento, en contraparte de las herramientas PEvaluator y Excel.
- Las combinaciones óptimas de tiempo de proceso y temperatura de retorta obtenidas a través de las herramientas digitales para cada uno de los productos garantizan la inocuidad del producto, disminuyendo la degradación nutricional causada por el mismo.
- El producto que cumplió con las condiciones para el análisis de costos fue la sopa de quinua cuyos parámetros de proceso establecidos fueron a un nivel de letalidad  $F_0$  de 4 min a 121,1°C en una retorta.
- El costo de producción para el producto seleccionado (sopa de quinua), considerando un nivel de producción de 450 latas al día, fue de \$3,755. Cabe destacar que en el análisis del punto de equilibrio se ajusta dentro del aproximado de unidades producidas al mes, obteniendo un margen de contribución del 54,2%.

### 4.2. Recomendaciones

- Considerar un estudio de penetración de calor con otros formatos de tamaño de lata para cada uno de los productos estudiados. Esto permitiría analizar el efecto de reducir el cuerpo del envase en los tiempos de esterilización y su impacto en los costos de producción.
- Diseñar un estudio de mercado con fines sociales que utilice como base el desarrollo del presente proyecto.

- Desarrollar un estudio predictivo de la transferencia de calor a cada ingrediente de los productos aplicando herramientas digitales, es decir evaluando mediante la simulación los cambios de las características físicas, térmicas y reológicas.
- Establecer un estudio de tiempo de vida útil del producto con el proceso térmico del presente trabajo para determinar un tiempo de comercialización de dicho alimento.

# BIBLIOGRAFÍA

- Abakarov, A., & Nuñez, M. (2013). Thermal food processing optimization: Algorithms and software. *Journal of Food Engineering* 115, 428-442. doi:10.1016/j.jfoodeng.2012.02.013.
- Carvajal, G. (2001). *VALOR NUTRICIONAL DE LA CARNE DE : RES, CERDO Y POLLO*. CORPORACIÓN DE FOMENTO GANADERO.
- Casp Vanaclocha, A. (2014). *Tecnología de los alimentos de origen vegetal*. Madrid: Editorial Síntesis.
- Casp, A. (2005). *Diseño de Industrias Agroalimentarias*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Center for Food Safety and Applied Nutrition, U. (2012). *Bad Bug Book, Foodborne Pathogenic Microorganisms and Natural Toxins*. Washington D.C.: US Food and Drug Administration.
- Estrada, A. (2019). Uso de salvado de arroz (*Oryza sativa* L.) en la elaboración de fideos de arrocillo(tesis de pregrado). *Universidad Católica Santiago de Guayaquil*.
- FAO. (2018). Nuevas medidas para detener la propagación de las plagas de las plantas a nivel internacional. *FAO-Noticias*, Recuperado en: <http://www.fao.org/news/story/es/item/1118476/icode/>.
- Gibson, M. (2018). *Food Science and the Culinary Arts*. Londres: Elsevier.
- Holdsworth, S. D., & Simpson, R. (2016). *Thermal Processing of Packaged Foods*. Springer.
- Huss, H. (1997). Aseguramiento de la calidad en productos pesqueros. *FAO Documento Técnico de Pesca*, 187. Recuperado en <http://www.fao.org/3/t1768s/T1768S03.htm#ch3>.
- ICMSF. (1980). *Microbial Ecology of Foods: Food Commodities*. New York: Academic Press.
- Johnson, E. (2014). Clostridium botulinum. *Encyclopedia of Food Microbiology*, 458-462. doi: 10.1016/B978-0-12-384730-0.00072-0.
- Juneja, V., Yadav, A., Hwang, C., & Sheen, S. (2012). Kinetics of Thermal Destruction of Salmonella in Ground Chicken Containing trans-Cinnamaldehyde and Carvacrol. *Journal of Food Protection* (75), 289-296. doi:10.4315/0362-028X.JFP-11-307.
- Jung, H., Cho, S., Pan, C., & Yoon, W. (2018). Rheological and microstructural properties of noodle dough with purple-fleshed potato (*Solanum tuberosum* L.)

- flours: grinding kinetics and effects of particle size. *CYTA Journal of Food* 16(1), 165-171. doi: 10.1080/19476337.2017.1366950.
- Kowalski, R., Medina, G., Thapa, B., & Murphy, K. (2016). Extrusion processing characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) var. Cherry Vanilla. *Journal of Cereal Science*, 70, 91-98. doi: 10.1016/j.jcs.2016.05.024.
- Majumdar, R., Dhar, B., Saha, A., & Roy, D. (2016). Evaluation of textural quality as a parameter to optimize thermal process during retort pouch processing of boneless Rohu balls in curry medium. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41, 1-9 doi:10.1111/jfpp.12925.
- Microsoft. (2019). Tareas Básicas en Excel. *Support Microsoft*, Recuperado en: <https://support.microsoft.com/es-es/office/tareas-b%C3%A1sicas-en-excel-dc775dd1-fa52-430f-9c3c-d998d1735fca?ui=es-es&rs=es-es&ad=es>.
- Montanari, A., Barone, C., Barone, M., & Santangelo, A. (2018). *Thermal Treatments of Canned Foods*. Springer, Cham.
- Palacios, S. (2008). Formulación de una sopa concentrada y diseño del proceso de esterilización comercial (tesis de pregrado). *Escuela Superior Politécnica del Litoral*.
- Pitura, K., & Arntfield, S. (2018). Characteristics of Flavonol Glycosides in Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Seed Coats. *Food Chemistry*, 26-32. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.07.220.
- Serment-Moreno, M., & Welte-Channes, J. (2016). Sterilization of Foods. *Elsevier*, 175-180. doi: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00663-2.
- Simpson, R. (2009). *Engineering aspects of thermal food processing*. Boca Raton: CRC Press.
- Stumbo, C. (1973). *Thermobacteriology in Food Processing*. New York: Academic Press Inc.
- Toledo, R. (2007). *Fundamentals of Food Process Engineering*. Georgia : Springer.
- Van Hung, P., Mai Huong, N., Lan Phi, N., & Thanh Tien, N. (2017). Physicochemical Characteristics and in vitro Digestibility of Potato and Cassava Starches under Organic Acid and Heat-Moisture Treatments. *International Journal of Biological Macromolecules*, 299-305. doi:10.1016/j.ijbiomac.2016.11.074.
- Vilas, C., & Alonso, A. (2018). Real time optimization of the sterilization process in canning industry. *Jornadas de Automatica* .

# APÉNDICES

## APÉNDICE A.

Tabla comparativa de termorresistencia microbiana para alimentos enlatados. Basada en el cuadro de comparación de resistencia térmica por Stumbo, C. (1973). *Thermobacteriology in Food Processing*. New York: Academic Press Inc.

GRUPO ALIMENTOS EN FUNCIÓN AL PH / BACTERIAS	RANGO APROXIMADO DE TERMORESISTENCIA	
	D	Z
<b>Alimentos de baja acidez y semi-ácidos (pH sobre 4,5)</b>		
<b>Termófilos (esporas)</b>		
<i>D</i> <sub>250 °F</sub>		
Grupo agrías-planas <i>Bacillus stearothermophilus</i>	4.0 – 5.0	14 – 22
Grupo deterioro-gas <i>Clostridium thermosaccharolyticum</i>	3.0 – 4.0	16 – 22
Grupo Productoras-azufre <i>Clostridium nigrificans</i>	2.0 – 3.0	16 – 22
<b>Mesófilos (esporas)</b>		
Anaerobios de putrefacción		
<i>Clostridium botulinum</i> (tipo A y B)	0.10 – 0.20	14 – 18
<i>Clostridium sporogenes</i> (incluyen P.A.3679)	0.10 – 1.5	14 – 18
<b>Alimentos ácidos (pH 4.0 – 4.5)</b>		
<b>Termófilos (esporas)</b>		
Mesófilos facultativos		
<i>Bacillus coagulans</i>	0.01 – 0.07	14 – 18
<b>Mesófilos (esporas)</b>		
<i>D</i> <sub>212 °F</sub>		
<i>Bacillus polymyxa</i> y <i>Bacillus macerans</i>	0.10 – 0.50	12 – 16
Anaerobios butíricos ( <i>Clostridium pasteurianum</i> )	0.10 – 0.50	12 – 16
<b>Alimentos de alta acidez (pH debajo de 4.0)</b>		
Bacterias mesófilas y no formadoras de esporas		
<i>D</i> <sub>150 °F</sub>		
<i>Lactobacillus</i> spp., <i>Leuconostoc</i> spp., Mohos y levaduras	0.50 – 1.00	8 – 10

## APÉNDICE B.

Tabla de datos de penetración de calor ( $T_{alimento}$ ,  $T_{retorta}$ , tiempo) para cada producto evaluado

<b>Prueba de penetración de calor: Determinación del punto crítico</b>		
<b>Producto: Meloso</b>		
<b><u>Identificación del envase</u></b>		
<b>Tipo de envase</b>	<b>Dimensiones del envase</b>	
Hojalata-3piezas	ln: x	mm: -
<b>Espacio de cabeza:</b>	<b>Diam/largo</b>	<b>Altura/Ancho</b>
5 mm	6 <sup>3</sup> / <sub>16</sub>	6
<b>Método de procesamiento</b>		Esterilización
<b><u>Características de Proceso</u></b>		
CUT	23	Minutos
Tiempo de Retención	163	Minutos
Tiempo de Enfriamiento	20	Minutos
Temperatura de Retención	121	°C (grados Celsius)
<b><u>Identificación de la retorta</u></b>		
Tipo de retorta	Discontinua sin agitación	
Medio de calentamiento	Vapor saturado	
Posicionamiento del envase en la retorta	En el punto frío del equipo (parte superior)	
<b><u>Características del Producto</u></b>		
<b>Peso neto mínimo:</b>		<b>Peso neto máximo:</b>
2630 gr.		2660 gr.
<b>pH antes de iniciar el proceso:</b>		<b>pH después del proceso:</b>
5.52		5.6
<b><u>Sensores</u></b>		
Tipo de sensor	Data Trace Micropack I	Data Trace Micropack I
Número del sensor	2	2
Localización	En el eje axial, a 7,62 cm. desde la base	En el eje axial, a 5.08 cm. desde la base
F <sub>o</sub> mínimo	6	6

Tiempo	<u>Datos Sensor centro</u>		<u>Datos Sensor tercio</u>	
	Temperatura alimento	Temperatura retorta	Temperatura alimento	Temperatura retorta
0	59,37	66,11	51,13	66,11
1	59,19	68,33	51,13	68,33
2	59,03	70,56	51,00	70,56
3	58,86	72,78	50,90	72,78
4	58,75	76,67	50,81	76,67
5	58,66	80,56	50,74	80,56
6	58,63	84,44	50,72	84,44
7	58,63	87,50	50,73	87,50
8	58,71	91,11	50,81	91,11
9	58,86	93,89	50,94	93,89
10	59,09	96,94	51,14	96,94
11	59,41	100,56	51,40	100,56
12	59,83	103,33	51,77	103,33
13	60,22	105,00	52,26	105,00
14	60,59	109,17	52,93	109,17
15	60,96	111,11	53,72	111,11
16	61,27	112,78	54,64	112,78
17	61,59	114,44	55,62	114,44
18	61,95	115,56	56,61	115,56
19	62,34	116,67	57,60	116,67
20	62,81	117,50	58,57	117,50
21	63,31	118,33	59,46	118,33
22	63,92	119,44	60,38	119,44
23	64,64	121,1	61,14	121,1
24	65,20	121,1	61,87	121,1
25	66,40	121,1	62,58	121,1
26	67,38	121,1	63,26	121,1
27	68,38	121,1	63,91	121,1
28	69,39	121,1	64,54	121,1
29	70,39	121,1	65,15	121,1
30	71,40	121,1	65,77	121,1
31	72,41	121,1	66,38	121,1
32	73,36	121,1	67,01	121,1
33	74,28	121,1	67,62	121,1
34	75,16	121,1	68,25	121,1
35	76,01	121,1	68,88	121,1
36	76,81	121,1	69,55	121,1
37	77,55	121,1	70,25	121,1
38	78,25	121,1	70,95	121,1
39	78,92	121,1	71,65	121,1
40	79,54	121,1	72,37	121,1
41	80,19	121,1	73,07	121,1
42	80,81	121,1	73,75	121,1
43	81,43	121,1	74,43	121,1
44	82,02	121,1	75,08	121,1
45	82,61	121,1	75,73	121,1
46	83,12	121,1	76,36	121,1
47	83,66	121,1	76,97	121,1
48	84,15	121,1	77,60	121,1
49	84,65	121,1	78,18	121,1
50	85,10	121,1	78,78	121,1

	<u>Datos Sensor centro</u>		<u>Datos Sensor tercio</u>	
<b>Tiempo</b>	<b>Temperatura alimento</b>	<b>Temperatura retorta</b>	<b>Temperatura alimento</b>	<b>Temperatura retorta</b>
51	85,55	121,1	79,36	121,1
52	85,95	121,1	79,94	121,1
53	86,34	121,1	80,50	121,1
54	86,70	121,1	81,07	121,1
55	87,03	121,1	81,64	121,1
56	87,37	121,1	82,20	121,1
57	87,72	121,1	82,73	121,1
58	88,03	121,1	83,27	121,1
59	88,32	121,1	83,83	121,1
60	88,59	121,1	84,35	121,1
61	88,86	121,1	84,90	121,1
62	89,13	121,1	85,44	121,1
63	89,40	121,1	86,00	121,1
64	89,68	121,1	86,52	121,1
65	89,95	121,1	87,04	121,1
66	90,20	121,1	87,58	121,1
67	90,44	121,1	88,65	121,1
68	90,70	121,1	89,15	121,1
69	90,96	121,1	89,67	121,1
70	91,20	121,1	90,19	121,1
71	91,44	121,1	90,68	121,1
72	91,68	121,1	91,18	121,1
73	91,90	121,1	91,66	121,1
74	92,17	121,1	92,15	121,1
75	92,41	121,1	92,61	121,1
76	92,66	121,1	93,07	121,1
77	92,93	121,1	93,51	121,1
78	93,15	121,1	93,95	121,1
79	93,40	121,1	94,40	121,1
80	93,65	121,1	94,79	121,1
81	93,90	121,1	95,21	121,1
82	94,19	121,1	95,63	121,1
83	94,45	121,1	96,03	121,1
84	94,71	121,1	96,43	121,1
85	94,96	121,1	96,85	121,1
86	95,26	121,1	97,20	121,1
87	95,52	121,1	97,58	121,1
88	95,78	121,1	97,98	121,1
89	96,04	121,1	98,33	121,1
90	96,30	121,1	98,68	121,1
91	96,57	121,1	99,03	121,1
92	96,84	121,1	99,36	121,1
93	97,12	121,1	99,74	121,1
94	97,38	121,1	100,06	121,1
95	97,67	121,1	100,39	121,1
96	97,91	121,1	100,73	121,1
97	98,16	121,1	101,04	121,1
98	98,41	121,1	101,36	121,1
99	98,68	121,1	101,68	121,1
100	98,95	121,1	101,98	121,1

Tiempo	<u>Datos Sensor centro</u>		<u>Datos Sensor tercio</u>	
	Temperatura alimento	Temperatura retorta	Temperatura alimento	Temperatura retorta
101	99,21	121,1	102,27	121,1
102	99,46	121,1	102,58	121,1
103	99,69	121,1	102,88	121,1
104	99,95	121,1	103,18	121,1
105	100,22	121,1	103,44	121,1
106	100,47	121,1	103,73	121,1
107	100,71	121,1	103,98	121,1
108	100,96	121,1	104,26	121,1
109	101,20	121,1	104,53	121,1
110	101,45	121,1	104,80	121,1
111	101,69	121,1	105,05	121,1
112	101,94	121,1	105,31	121,1
113	102,19	121,1	105,56	121,1
114	102,41	121,1	105,79	121,1
115	102,63	121,1	106,05	121,1
116	102,88	121,1	106,28	121,1
117	103,14	121,1	106,49	121,1
118	103,36	121,1	106,72	121,1
119	103,58	121,1	106,96	121,1
120	103,81	121,1	107,18	121,1
121	104,00	121,1	107,40	121,1
122	104,24	121,1	107,62	121,1
123	104,47	121,1	107,83	121,1
124	104,66	121,1	108,04	121,1
125	104,89	121,1	108,23	121,1
126	105,12	121,1	108,46	121,1
127	105,31	121,1	108,66	121,1
128	105,52	121,1	108,86	121,1
129	105,70	121,1	109,00	121,1
130	105,92	121,1	109,23	121,1
131	106,11	121,1	109,41	121,1
132	106,33	121,1	109,59	121,1
133	106,51	121,1	109,74	121,1
134	106,70	121,1	109,93	121,1
135	106,89	121,1	110,11	121,1
136	107,09	121,1	110,29	121,1
137	107,27	121,1	110,45	121,1
138	107,46	121,1	110,64	121,1
139	107,64	121,1	110,80	121,1
140	107,82	121,1	110,98	121,1
141	108,01	121,1	111,13	121,1
142	108,19	121,1	111,28	121,1
143	108,36	121,1	111,41	121,1
144	108,53	121,1	111,57	121,1
145	108,71	121,1	111,72	121,1
146	108,86	121,1	111,88	121,1
147	109,02	121,1	112,02	121,1
148	109,21	121,1	112,17	121,1
149	109,36	121,1	112,28	121,1
150	109,52	121,1	112,42	121,1

Tiempo	Datos Sensor centro		Datos Sensor tercio	
	Temperatura alimento	Temperatura retorta	Temperatura alimento	Temperatura retorta
151	109,69	121,1	112,56	121,1
152	109,83	121,1	112,67	121,1
153	110,00	121,1	112,82	121,1
154	110,13	121,1	112,91	121,1
155	110,32	121,1	113,07	121,1
156	110,47	121,1	113,18	121,1
157	110,61	121,1	113,29	121,1
158	110,75	121,1	113,44	121,1
159	110,89	121,1	113,55	121,1
160	111,04	121,1	113,67	121,1
161	111,16	121,1	113,80	121,1
162	111,30	121,1	113,90	121,1
163	111,42	121,1	114,02	121,1
164	111,57	121,1	114,11	121,1
165	111,69	121,1	114,21	121,1
166	111,84	121,1	114,31	121,1
167	111,99	121,1	114,42	121,1
168	112,09	121,1	114,52	121,1
169	112,23	121,1	114,63	121,1
170	112,34	121,1	114,73	121,1
171	112,47	121,1	114,84	121,1
172	112,57	121,1	114,93	121,1
173	112,70	121,1	115,02	121,1
174	112,79	121,1	115,10	121,1
175	112,89	121,1	115,21	121,1
176	113,00	121,1	115,30	121,1
177	113,15	121,1	115,37	121,1
178	113,25	121,1	115,44	121,1
179	113,34	121,1	115,49	121,1
180	113,46	121,1	115,58	121,1
181	113,56	121,1	115,64	121,1
182	113,66	121,1	115,69	121,1
183	113,73	121,1	115,73	121,1
184	113,86	121,1	115,78	121,1
185	113,96	121,1	115,80	121,1
186	114,04	115,56	115,80	115,56
187	114,13	110,00	115,81	110,00
188	114,15	90,56	115,72	90,56
189	114,23	76,67	115,49	76,67
190	113,41	73,89	114,64	73,89
191	110,61	71,11	112,65	71,11
192	108,90	68,33	110,56	68,33
193	107,59	65,56	108,97	65,56
194	106,53	62,78	107,66	62,78
195	105,61	60,00	106,50	60,00
196	104,75	57,22	105,50	57,22
197	104,00	54,44	104,54	54,44
198	103,38	51,67	103,66	51,67
199	102,82	48,89	102,88	48,89
200	102,31	46,11	102,10	46,11

	<u>Datos Sensor centro</u>		<u>Datos Sensor tercio</u>	
<b>Tiempo</b>	<b>Temperatura alimento</b>	<b>Temperatura retorta</b>	<b>Temperatura alimento</b>	<b>Temperatura retorta</b>
201	101,89	43,33	101,37	43,33
202	101,52	40,56	100,71	40,56
203	101,23	37,78	100,05	37,78
204	101,02	35,00	99,35	35,00
205	100,84	32,22	98,72	32,22

<b>Prueba de penetración de calor: Determinación del punto crítico</b>		
<b>Producto: Menestrón de carne</b>		
<b><u>Identificación del envase</u></b>		
<b>Tipo de envase</b>	<b>Dimensiones del envase</b>	
Hojalata-3piezas	ln: x	mm: -
<b>Espacio de cabeza:</b>	<b>Diam/largo</b>	<b>Altura/Ancho</b>
5 mm	6 <sup>3</sup> / <sub>16</sub>	6
<b>Método de procesamiento</b>		Esterilización
<b><u>Características de Proceso</u></b>		
CUT	23	Minutos
Tiempo de Retención	171	Minutos
Tiempo de Enfriamiento	20	Minutos
Temperatura de Retención	121	°C (grados Celsius)
<b><u>Identificación de la retorta</u></b>		
Tipo de retorta	Discontinua sin agitación	
Medio de calentamiento	Vapor saturado	
Posicionamiento del envase en la retorta	En el punto frío del equipo (parte superior)	
<b><u>Características del Producto</u></b>		
<b>Peso neto mínimo:</b>		<b>Peso neto máximo:</b>
2630 gr.		2660 gr.
<b>pH antes de iniciar el proceso:</b>		<b>pH después del proceso:</b>
5.2		5.24
<b><u>Sensores</u></b>		
Tipo de sensor	Data Trace Micropack I	Data Trace Micropack I
Número del sensor	2	2
Localización	En el eje axial, a 7,62 cm. desde la base	En el eje axial, a 5.08 cm. desde la base
F <sub>0</sub> mínimo	6	6

Tiempo	<u>Datos Sensor centro</u>		<u>Datos Sensor tercio</u>	
	Temperatura alimento	Temperatura retorta	Temperatura alimento	Temperatura retorta
0	77,67	66,1	76,36	66,1
1	77,53	68,3	76,32	68,3
2	77,39	70,6	76,28	70,6
3	77,24	72,8	76,21	72,8
4	77,11	76,7	76,13	76,7
5	76,96	80,6	76,06	80,6
6	76,79	84,4	76,00	84,4
7	76,66	87,5	75,92	87,5
8	76,50	91,1	75,84	91,1
9	76,38	93,9	75,76	93,9
10	76,26	96,9	75,68	96,9
11	76,16	100,6	75,61	100,6
12	76,08	103,3	75,52	103,3
13	76,01	105,0	75,42	105,0
14	75,96	109,2	75,36	109,2
15	75,96	111,1	75,31	111,1
16	75,97	112,8	75,27	112,8
17	76,00	114,4	75,24	114,4
18	76,08	115,6	75,23	115,6
19	76,17	116,7	75,25	116,7
20	76,29	117,5	75,29	117,5
21	76,46	118,3	75,35	118,3
22	76,65	119,4	75,41	119,4
23	76,86	121,1	75,52	121,1
24	77,09	121,1	75,63	121,1
25	77,33	121,1	75,78	121,1
26	77,62	121,1	75,94	121,1
27	77,92	121,1	76,09	121,1
28	78,23	121,1	76,26	121,1
29	78,57	121,1	76,44	121,1
30	78,90	121,1	76,66	121,1
31	79,26	121,1	76,88	121,1
32	79,63	121,1	77,11	121,1
33	79,98	121,1	77,37	121,1
34	80,37	121,1	77,63	121,1
35	80,76	121,1	77,91	121,1
36	81,14	121,1	78,18	121,1
37	81,54	121,1	78,45	121,1
38	81,96	121,1	78,76	121,1
39	82,36	121,1	79,06	121,1
40	82,76	121,1	79,36	121,1
41	83,17	121,1	79,67	121,1
42	83,62	121,1	79,98	121,1
43	84,03	121,1	80,33	121,1
44	84,44	121,1	80,64	121,1
45	84,86	121,1	81,00	121,1
46	85,28	121,1	81,33	121,1
47	85,69	121,1	81,67	121,1
48	86,13	121,1	81,98	121,1
49	86,56	121,1	82,33	121,1
50	86,98	121,1	82,70	121,1

Tiempo	<u>Datos Sensor centro</u>		<u>Datos Sensor tercio</u>	
	Temperatura alimento	Temperatura retorta	Temperatura alimento	Temperatura retorta
51	87,38	121,1	83,02	121,1
52	87,78	121,1	83,38	121,1
53	88,22	121,1	83,73	121,1
54	88,60	121,1	84,10	121,1
55	89,02	121,1	84,47	121,1
56	89,39	121,1	84,84	121,1
57	89,81	121,1	85,18	121,1
58	90,21	121,1	85,53	121,1
59	90,60	121,1	85,90	121,1
60	90,98	121,1	86,27	121,1
61	91,37	121,1	86,61	121,1
62	91,74	121,1	86,97	121,1
63	92,13	121,1	87,34	121,1
64	92,52	121,1	87,71	121,1
65	92,88	121,1	88,08	121,1
66	93,24	121,1	88,42	121,1
67	93,62	121,1	88,79	121,1
68	93,97	121,1	89,16	121,1
69	94,33	121,1	89,51	121,1
70	94,70	121,1	89,89	121,1
71	95,06	121,1	90,26	121,1
72	95,38	121,1	90,60	121,1
73	95,74	121,1	90,94	121,1
74	96,08	121,1	91,32	121,1
75	96,41	121,1	91,66	121,1
76	96,74	121,1	92,01	121,1
77	97,09	121,1	92,35	121,1
78	97,41	121,1	92,71	121,1
79	97,72	121,1	93,02	121,1
80	98,03	121,1	93,35	121,1
81	98,34	121,1	93,71	121,1
82	98,66	121,1	94,01	121,1
83	98,97	121,1	94,37	121,1
84	99,27	121,1	94,71	121,1
85	99,58	121,1	95,02	121,1
86	99,86	121,1	95,32	121,1
87	100,14	121,1	95,66	121,1
88	100,46	121,1	95,95	121,1
89	100,73	121,1	96,28	121,1
90	101,01	121,1	96,59	121,1
91	101,27	121,1	96,90	121,1
92	101,57	121,1	97,21	121,1
93	101,84	121,1	97,51	121,1
94	102,11	121,1	97,79	121,1
95	102,38	121,1	98,11	121,1
96	102,61	121,1	98,38	121,1
97	102,89	121,1	98,71	121,1
98	103,14	121,1	98,99	121,1
99	103,39	121,1	99,27	121,1
100	103,61	121,1	99,55	121,1

Tiempo	Datos Sensor centro		Datos Sensor tercio	
	Temperatura alimento	Temperatura retorta	Temperatura alimento	Temperatura retorta
101	103,87	121,1	99,85	121,1
102	104,12	121,1	100,10	121,1
103	104,37	121,1	100,39	121,1
104	104,60	121,1	100,71	121,1
105	104,82	121,1	100,94	121,1
106	105,06	121,1	101,20	121,1
107	105,28	121,1	101,46	121,1
108	105,49	121,1	101,73	121,1
109	105,72	121,1	102,02	121,1
110	105,94	121,1	102,26	121,1
111	106,14	121,1	102,52	121,1
112	106,36	121,1	102,77	121,1
113	106,56	121,1	102,99	121,1
114	106,76	121,1	103,26	121,1
115	106,94	121,1	103,52	121,1
116	107,16	121,1	103,74	121,1
117	107,35	121,1	103,96	121,1
118	107,57	121,1	104,21	121,1
119	107,77	121,1	104,43	121,1
120	107,95	121,1	104,66	121,1
121	108,12	121,1	104,87	121,1
122	108,32	121,1	105,12	121,1
123	108,51	121,1	105,33	121,1
124	108,68	121,1	105,54	121,1
125	108,88	121,1	105,75	121,1
126	109,02	121,1	105,96	121,1
127	109,19	121,1	106,17	121,1
128	109,35	121,1	106,37	121,1
129	109,54	121,1	106,56	121,1
130	109,73	121,1	106,77	121,1
131	109,87	121,1	106,96	121,1
132	110,02	121,1	107,16	121,1
133	110,18	121,1	107,36	121,1
134	110,36	121,1	107,57	121,1
135	110,50	121,1	107,76	121,1
136	110,64	121,1	107,96	121,1
137	110,79	121,1	108,13	121,1
138	110,93	121,1	108,32	121,1
139	111,08	121,1	108,49	121,1
140	111,22	121,1	108,69	121,1
141	111,37	121,1	108,83	121,1
142	111,49	121,1	109,02	121,1
143	111,63	121,1	109,19	121,1
144	111,77	121,1	109,36	121,1
145	111,92	121,1	109,52	121,1
146	112,06	121,1	109,68	121,1
147	112,16	121,1	109,87	121,1
148	112,28	121,1	110,01	121,1
149	112,42	121,1	110,17	121,1
150	112,54	121,1	110,32	121,1

Tiempo	Datos Sensor centro		Datos Sensor tercio	
	Temperatura alimento	Temperatura retorta	Temperatura alimento	Temperatura retorta
151	112,67	121,1	110,46	121,1
152	112,80	121,1	110,65	121,1
153	112,87	121,1	110,79	121,1
154	113,03	121,1	110,94	121,1
155	113,16	121,1	111,08	121,1
156	113,27	121,1	111,23	121,1
157	113,36	121,1	111,36	121,1
158	113,48	121,1	111,48	121,1
159	113,59	121,1	111,63	121,1
160	113,69	121,1	111,78	121,1
161	113,82	121,1	111,92	121,1
162	113,90	121,1	112,03	121,1
163	114,03	121,1	112,18	121,1
164	114,11	121,1	112,29	121,1
165	114,21	121,1	112,43	121,1
166	114,33	121,1	112,54	121,1
167	114,43	121,1	112,66	121,1
168	114,52	121,1	112,79	121,1
169	114,63	121,1	112,89	121,1
170	114,71	121,1	113,03	121,1
171	114,80	121,1	113,14	121,1
172	114,89	121,1	113,25	121,1
173	114,96	121,1	113,36	121,1
174	115,05	121,1	113,46	121,1
175	115,16	121,1	113,60	121,1
176	115,26	121,1	113,68	121,1
177	115,36	121,1	113,82	121,1
178	115,41	121,1	113,89	121,1
179	115,49	121,1	114,03	121,1
180	115,58	121,1	114,12	121,1
181	115,65	121,1	114,23	121,1
182	115,74	121,1	114,34	121,1
183	115,91	121,1	114,49	121,1
184	115,98	121,1	114,64	121,1
185	116,03	121,1	115,02	121,1
186	116,12	121,1	114,92	121,1
187	116,17	121,1	114,90	121,1
188	116,23	121,1	115,06	121,1
189	116,28	121,1	115,43	121,1
190	116,34	121,1	115,50	121,1
191	116,34	121,1	115,69	121,1
192	116,37	121,1	115,56	121,1
193	116,39	121,1	115,97	121,1
194	116,34	115,6	115,43	115,6
195	115,16	110,0	115,21	110,0
196	114,96	90,6	115,24	90,6
197	114,93	76,7	115,24	76,7
198	114,73	73,9	115,24	73,9
199	114,52	71,1	115,17	71,1
200	114,16	68,3	115,09	68,3

	<u>Datos Sensor centro</u>		<u>Datos Sensor tercio</u>	
<b>Tiempo</b>	<b>Temperatura alimento</b>	<b>Temperatura retorta</b>	<b>Temperatura alimento</b>	<b>Temperatura retorta</b>
201	113,69	65,6	114,97	65,6
202	113,17	62,8	114,65	62,8
203	112,37	60,0	114,57	60,0
204	110,98	57,2	114,43	57,2
205	109,92	54,4	114,22	54,4
206	109,16	51,7	113,96	51,7
207	108,41	48,9	113,65	48,9
208	107,51	46,1	113,24	46,1
209	106,77	43,3	112,83	43,3
210	103,78	40,6	103,57	40,6
211	101,52	37,8	102,17	37,8
212	78,48	35,0	101,33	35,0
213	61,14	32,2	100,57	32,2

<b>Prueba de penetración de calor: Determinación del punto crítico</b>		
<b>Producto: Sopa de arveja</b>		
<b><u>Identificación del envase</u></b>		
<b>Tipo de envase</b>	<b>Dimensiones del envase</b>	
Hojalata-3piezas	ln: x	mm: -
<b>Espacio de cabeza:</b>	<b>Diam/largo</b>	<b>Altura/Ancho</b>
5 mm	6 <sup>3</sup> / <sub>16</sub>	6
<b>Método de procesamiento</b>		Esterilización
<b><u>Características de Proceso</u></b>		
CUT	23	Minutos
Tiempo de Retención	157	Minutos
Tiempo de Enfriamiento	20	Minutos
Temperatura de Retención	121	°C (grados Celsius)
<b><u>Identificación de la retorta</u></b>		
Tipo de retorta	Discontinua sin agitación	
Medio de calentamiento	Vapor saturado	
Posicionamiento del envase en la retorta	En el punto frío del equipo (parte superior)	
<b><u>Características del Producto</u></b>		
<b>Peso neto mínimo:</b>	<b>Peso neto máximo:</b>	
2630 gr.	2660 gr.	
<b>pH antes de iniciar el proceso:</b>	<b>pH después del proceso:</b>	
5.35	5.44	
<b><u>Sensores</u></b>		
Tipo de sensor	Data Trace Micropack I	Data Trace Micropack I
Número del sensor	2	2
Localización	En el eje axial, a 7,62 cm. desde la base	En el eje axial, a 5.08 cm. desde la base
F <sub>o</sub> mínimo	6	6

Tiempo	<u>Datos Sensor centro</u>		<u>Datos Sensor tercio</u>	
	Temperatura alimento	Temperatura retorta	Temperatura alimento	Temperatura retorta
0	68,568	66,11	64,874	66,11
1	68,476	68,33	64,733	68,33
2	68,369	70,56	64,577	70,56
3	68,276	72,78	64,428	72,78
4	68,205	76,67	64,279	76,67
5	68,112	80,56	64,159	80,56
6	68,027	84,44	64,024	84,44
7	67,934	87,50	63,911	87,50
8	67,878	91,11	63,826	91,11
9	67,799	93,89	63,755	93,89
10	67,735	96,94	63,728	96,94
11	67,685	100,56	63,741	100,56
12	67,614	103,33	63,798	103,33
13	67,572	105,00	63,911	105,00
14	67,536	109,17	64,067	109,17
15	67,479	111,11	64,294	111,11
16	67,458	112,78	64,633	112,78
17	67,444	114,44	65,065	114,44
18	67,422	115,56	65,533	115,56
19	67,422	116,67	66,122	116,67
20	67,451	117,50	66,753	117,50
21	67,451	118,33	67,443	118,33
22	67,479	119,44	68,568	119,44
23	67,486	121,1	68,939	121,1
24	67,550	121,1	69,705	121,1
25	67,600	121,1	70,458	121,1
26	67,678	121,1	71,220	121,1
27	67,749	121,1	71,978	121,1
28	67,835	121,1	72,724	121,1
29	67,934	121,1	73,445	121,1
30	68,048	121,1	74,175	121,1
31	68,162	121,1	74,872	121,1
32	68,312	121,1	75,550	121,1
33	68,461	121,1	76,232	121,1
34	68,618	121,1	76,909	121,1
35	68,797	121,1	77,560	121,1
36	68,975	121,1	78,207	121,1
37	69,182	121,1	78,872	121,1
38	69,382	121,1	79,518	121,1
39	69,618	121,1	80,153	121,1
40	69,840	121,1	80,799	121,1
41	70,091	121,1	81,426	121,1
42	70,334	121,1	82,025	121,1
43	70,614	121,1	82,644	121,1
44	70,909	121,1	83,235	121,1
45	71,175	121,1	83,807	121,1
46	71,485	121,1	84,397	121,1
47	71,773	121,1	84,96	121,1
48	72,106	121,1	85,51	121,1
49	72,432	121,1	86,047	121,1
50	72,758	121,1	86,579	121,1

Tiempo	Datos Sensor centro		Datos Sensor tercio	
	Temperatura alimento	Temperatura retorta	Temperatura alimento	Temperatura retorta
51	73,106	121,1	87,107	121,1
52	73,456	121,1	87,604	121,1
53	73,842	121,1	88,114	121,1
54	74,215	121,1	88,609	121,1
55	74,596	121,1	89,108	121,1
56	74,978	121,1	89,576	121,1
57	75,339	121,1	90,039	121,1
58	75,759	121,1	90,495	121,1
59	76,159	121,1	90,963	121,1
60	76,560	121,1	91,4	121,1
61	76,962	121,1	91,821	121,1
62	77,351	121,1	92,263	121,1
63	77,770	121,1	92,671	121,1
64	78,192	121,1	93,1	121,1
65	78,629	121,1	93,496	121,1
66	79,038	121,1	93,885	121,1
67	79,464	121,1	94,276	121,1
68	79,891	121,1	94,661	121,1
69	80,328	121,1	95,047	121,1
70	80,751	121,1	95,399	121,1
71	81,183	121,1	95,79	121,1
72	81,617	121,1	96,146	121,1
73	82,054	121,1	96,485	121,1
74	82,492	121,1	96,855	121,1
75	82,900	121,1	97,197	121,1
76	83,342	121,1	97,513	121,1
77	83,755	121,1	97,86	121,1
78	84,185	121,1	98,198	121,1
79	84,617	121,1	98,51	121,1
80	85,043	121,1	98,823	121,1
81	85,448	121,1	99,147	121,1
82	85,878	121,1	99,453	121,1
83	86,286	121,1	99,741	121,1
84	86,721	121,1	100,051	121,1
85	87,125	121,1	100,332	121,1
86	87,722	121,1	100,786	121,1
87	87,948	121,1	100,908	121,1
88	88,324	121,1	101,193	121,1
89	88,762	121,1	101,458	121,1
90	89,143	121,1	101,726	121,1
91	89,560	121,1	101,994	121,1
92	89,944	121,1	102,264	121,1
93	90,357	121,1	102,524	121,1
94	90,929	121,1	102,933	121,1
95	91,303	121,1	103,154	121,1
96	91,504	121,1	103,27	121,1
97	91,865	121,1	103,525	121,1
98	92,244	121,1	103,78	121,1
99	92,635	121,1	104,005	121,1
100	92,992	121,1	104,241	121,1

Tiempo	Datos Sensor centro		Datos Sensor tercio	
	Temperatura alimento	Temperatura retorta	Temperatura alimento	Temperatura retorta
101	93,324	121,1	104,479	121,1
102	93,694	121,1	104,695	121,1
103	94,084	121,1	104,913	121,1
104	94,421	121,1	105,164	121,1
105	94,770	121,1	105,35	121,1
106	95,111	121,1	105,592	121,1
107	95,453	121,1	105,78	121,1
108	95,798	121,1	105,991	121,1
109	96,154	121,1	106,202	121,1
110	96,455	121,1	106,404	121,1
111	96,796	121,1	106,583	121,1
112	97,119	121,1	106,808	121,1
113	97,444	121,1	106,989	121,1
114	97,761	121,1	107,17	121,1
115	98,080	121,1	107,364	121,1
116	98,381	121,1	107,558	121,1
117	98,684	121,1	107,764	121,1
118	98,997	121,1	107,937	121,1
119	99,283	121,1	108,11	121,1
120	99,580	121,1	108,272	121,1
121	99,869	121,1	108,458	121,1
122	100,189	121,1	108,597	121,1
123	100,441	121,1	108,784	121,1
124	100,713	121,1	108,972	121,1
125	100,977	121,1	109,148	121,1
126	101,262	121,1	109,302	121,1
127	101,539	121,1	109,444	121,1
128	101,817	121,1	109,598	121,1
129	102,065	121,1	109,765	121,1
130	102,335	121,1	109,92	121,1
131	102,596	121,1	110,076	121,1
132	102,837	121,1	110,208	121,1
133	103,100	121,1	110,377	121,1
134	103,333	121,1	110,498	121,1
135	103,587	121,1	110,68	121,1
136	103,833	121,1	110,801	121,1
137	104,047	121,1	110,935	121,1
138	104,294	121,1	111,082	121,1
139	104,521	121,1	111,229	121,1
140	104,738	121,1	111,339	121,1
141	104,978	121,1	111,475	121,1
142	105,218	121,1	111,623	121,1
143	105,394	121,1	111,747	121,1
144	105,625	121,1	111,871	121,10
145	105,847	121,1	111,995	121,10
146	106,058	121,1	112,12	121,10
147	106,281	121,1	112,257	121,10
148	106,460	121,1	112,358	121,10
149	106,651	121,1	112,471	121,10
150	106,831	121,1	112,571	121,10

Tiempo	Datos Sensor centro		Datos Sensor tercio	
	Temperatura alimento	Temperatura retorta	Temperatura alimento	Temperatura retorta
151	107,046	121,1	112,723	121,10
152	107,228	121,1	112,824	121,10
153	107,445	121,1	112,925	121,10
154	107,639	121,10	113,039	121,10
155	107,823	121,10	113,141	121,10
156	107,996	121,10	113,256	121,10
157	108,181	121,10	113,384	121,10
158	108,378	121,10	113,486	121,10
159	108,541	121,10	113,589	121,10
160	108,716	121,10	113,692	121,10
161	108,892	121,10	113,769	121,10
162	109,069	121,10	113,899	121,10
163	109,222	121,10	114,002	121,10
164	109,376	121,10	114,106	121,10
165	109,554	121,10	114,171	121,10
166	109,721	121,10	114,275	121,10
167	109,876	121,10	114,34	121,10
168	110,032	121,10	114,471	121,10
169	110,188	121,10	114,523	121,10
170	110,369	121,10	114,628	121,10
171	110,490	121,10	114,72	121,10
172	110,635	121,10	114,825	121,10
173	110,806	121,10	114,904	121,10
174	110,903	121,10	114,957	121,10
175	111,050	121,10	115,089	121,10
176	111,160	121,10	115,156	121,10
177	111,283	121,10	115,302	121,10
178	111,406	121,10	115,408	121,10
179	111,566	121,10	115,528	121,10
180	111,690	116	115,635	115,56
181	111,802	110	115,702	110,00
182	111,926	91	115,769	90,56
183	112,039	77	115,796	76,67
184	112,101	74	115,702	73,89
185	112,214	71	115,422	71,11
186	112,326	68	114,944	68,33
187	112,352	66	114,262	65,56
188	112,389	63	113,384	62,78
189	112,439	60	112,42	60,00
190	112,439	57	111,672	57,22
191	112,427	54	111,635	54,44
192	110,903	52	111,327	51,67
193	108,576	49	110,692	48,89
194	106,798	46	109,634	46,11
195	106,494	43	108,458	43,33
196	105,537	41	107,216	40,56
197	103,843	38	105,791	37,78
198	101,436	35	104,425	35,00
199	82,022	32	103,048	32,22
200	85,521	29	101,726	29,44

<b>Prueba de penetración de calor: Determinación del punto crítico</b>		
<b>Producto: Sopa de quinua</b>		
<b><u>Identificación del envase</u></b>		
<b>Tipo de envase</b>	<b>Dimensiones del envase</b>	
Hojalata-3piezas	ln: x	mm: -
<b>Espacio de cabeza:</b>	<b>Diam/largo</b>	<b>Altura/Ancho</b>
5 mm	6 <sup>3</sup> / <sub>16</sub>	6
<b>Método de procesamiento</b>		Esterilización
<b><u>Características de Proceso</u></b>		
CUT	23	Minutos
Tiempo de Retención	158	Minutos
Tiempo de Enfriamiento	20	Minutos
Temperatura de Retención	121	°C (grados Celsius)
<b><u>Identificación de la retorta</u></b>		
Tipo de retorta	Discontinua sin agitación	
Medio de calentamiento	Vapor saturado	
Posicionamiento del envase en la retorta	En el punto frío del equipo (parte superior)	
<b><u>Características del Producto</u></b>		
<b>Peso neto mínimo:</b>		<b>Peso neto máximo:</b>
2630 gr.		2660 gr.
<b>pH antes de iniciar el proceso:</b>		<b>pH después del proceso:</b>
5.1		5.17
<b><u>Sensores</u></b>		
Tipo de sensor	Data Trace Micropack I	Data Trace Micropack I
Número del sensor	2	2
Localización	En el eje axial, a 7,62 cm. desde la base	En el eje axial, a 5.08 cm. desde la base
F <sub>0</sub> mínimo	6	6

Tiempo	Datos Sensor centro		Datos Sensor tercio	
	Temperatura alimento	Temperatura retorta	Temperatura alimento	Temperatura retorta
0	57,59	66,1	45,93	66,1
1	57,51	68,3	46,05	68,3
2	57,44	70,6	46,15	70,6
3	57,42	72,8	46,29	72,8
4	57,44	76,7	46,49	76,7
5	57,49	80,6	46,74	80,6
6	57,58	84,4	47,04	84,4
7	57,71	87,5	47,36	87,5
8	57,86	91,1	47,76	91,1
9	58,02	93,9	48,22	93,9
10	58,22	96,9	48,72	96,9
11	58,39	100,6	49,24	100,6
12	58,55	103,3	49,79	103,3
13	58,70	105,0	50,35	105,0
14	58,84	109,2	50,90	109,2
15	58,99	111,1	51,46	111,1
16	59,10	112,8	52,05	112,8
17	59,33	114,4	52,71	114,4
18	59,53	115,6	53,44	115,6
19	59,76	116,7	54,24	116,7
20	59,98	117,5	55,09	117,5
21	60,23	118,3	55,99	118,3
22	60,49	119,4	56,90	119,4
23	60,78	121,1	57,85	121,1
24	61,14	121,1	58,82	121,1
25	61,52	121,1	59,77	121,1
26	61,98	121,1	60,72	121,1
27	62,48	121,1	61,66	121,1
28	63,02	121,1	62,58	121,1
29	63,62	121,1	63,47	121,1
30	64,29	121,1	64,34	121,1
31	65,05	121,1	65,20	121,1
32	65,93	121,1	66,03	121,1
33	66,89	121,1	66,86	121,1
34	67,97	121,1	67,66	121,1
35	69,08	121,1	68,48	121,1
36	70,14	121,1	69,26	121,1
37	71,33	121,1	70,05	121,1
38	72,51	121,1	70,83	121,1
39	73,73	121,1	71,50	121,1
40	74,94	121,1	72,07	121,1
41	76,06	121,1	72,59	121,1
42	77,07	121,1	73,09	121,1
43	78,05	121,1	73,63	121,1
44	78,94	121,1	74,19	121,1
45	79,79	121,1	74,76	121,1
46	80,62	121,1	75,37	121,1
47	81,45	121,1	75,96	121,1
48	82,31	121,1	76,61	121,1
49	83,06	121,1	77,27	121,1
50	83,84	121,1	77,98	121,1

Tiempo	Datos Sensor centro		Datos Sensor tercio	
	Temperatura alimento	Temperatura retorta	Temperatura alimento	Temperatura retorta
51	84,61	121,1	78,70	121,1
52	85,41	121,1	79,40	121,1
53	86,12	121,1	80,13	121,1
54	86,82	121,1	80,90	121,1
55	87,50	121,1	81,68	121,1
56	88,19	121,1	82,46	121,1
57	88,82	121,1	83,24	121,1
58	89,44	121,1	84,02	121,1
59	90,05	121,1	84,78	121,1
60	90,66	121,1	85,51	121,1
61	91,27	121,1	86,23	121,1
62	91,86	121,1	86,95	121,1
63	92,39	121,1	87,61	121,1
64	92,90	121,1	88,299	121,1
65	93,40	121,1	88,946	121,1
66	93,86	121,1	89,565	121,1
67	94,37	121,1	90,198	121,1
68	94,87	121,1	90,784	121,1
69	95,32	121,1	91,349	121,1
70	95,77	121,1	91,91	121,1
71	96,20	121,1	92,448	121,1
72	96,61	121,1	92,973	121,1
73	96,98	121,1	93,502	121,1
74	97,42	121,1	93,98	121,1
75	97,84	121,1	94,49	121,1
76	98,21	121,1	94,985	121,1
77	98,60	121,1	95,437	121,1
78	99,12	121,1	96,117	121,1
79	99,30	121,1	96,342	121,1
80	99,63	121,1	96,795	121,1
81	99,94	121,1	97,241	121,1
82	100,26	121,1	97,652	121,1
83	100,58	121,1	98,057	121,1
84	100,87	121,1	98,483	121,1
85	101,14	121,1	98,834	121,1
86	101,44	121,1	99,227	121,1
87	101,73	121,1	99,622	121,1
88	101,96	121,1	99,989	121,1
89	102,22	121,1	100,339	121,1
90	102,42	121,1	100,681	121,1
91	102,66	121,1	101,025	121,1
92	102,89	121,1	101,392	121,1
93	103,12	121,1	101,689	121,1
94	103,31	121,1	102,039	121,1
95	103,50	121,1	102,36	121,1
96	103,69	121,1	102,693	121,1
97	103,85	121,1	103,007	121,1
98	104,01	121,1	103,334	121,1
99	104,17	121,1	103,63	121,1
100	104,33	121,1	103,939	121,1

Tiempo	<u>Datos Sensor centro</u>		<u>Datos Sensor tercio</u>	
	Temperatura alimento	Temperatura retorta	Temperatura alimento	Temperatura retorta
101	104,51	121,1	104,228	121,1
102	104,67	121,1	104,497	121,1
103	104,77	121,1	104,789	121,1
104	104,95	121,1	105,061	121,1
105	105,11	121,1	105,334	121,1
106	105,26	121,1	105,609	121,1
107	105,43	121,1	105,862	121,1
108	105,56	121,1	106,117	121,1
109	105,74	121,1	106,384	121,1
110	105,87	121,1	106,642	121,1
111	106,00	121,1	106,855	121,1
112	106,18	121,1	107,104	121,1
113	106,31	121,1	107,353	121,1
114	106,46	121,1	107,581	121,1
115	106,60	121,1	107,833	121,1
116	106,72	121,1	108,051	121,1
117	106,86	121,1	108,27	121,1
118	107,01	121,1	108,479	121,1
119	107,16	121,1	108,665	121,1
120	107,30	121,1	108,863	121,1
121	107,45	121,1	109,039	121,1
122	107,61	121,1	109,274	121,1
123	107,77	121,1	109,463	121,1
124	107,91	121,1	109,653	121,1
125	108,07	121,1	109,855	121,1
126	108,18	121,1	110,034	121,1
127	108,32	121,1	110,226	121,1
128	108,47	121,1	110,418	121,1
129	108,65	121,1	110,599	121,1
130	108,79	121,1	110,805	121,1
131	108,93	121,1	110,951	121,1
132	109,06	121,1	111,146	121,1
133	109,21	121,1	111,305	121,1
134	109,33	121,1	111,477	121,1
135	109,50	121,1	111,637	121,1
136	109,67	121,1	111,785	121,1
137	109,81	121,1	111,946	121,1
138	109,94	121,1	112,108	121,1
139	110,07	121,1	112,257	121,1
140	110,23	121,1	112,42	121,1
141	110,36	121,1	112,533	121,1
142	110,49	121,1	112,709	121,1
143	110,64	121,1	112,835	121,1
144	110,80	121,1	112,936	121,1
145	110,92	121,1	113,088	121,1
146	111,04	121,1	113,228	121,1
147	111,19	121,1	113,343	121,1
148	111,33	121,1	113,483	121,1
149	111,43	121,1	113,624	121,1
150	111,59	121,1	113,752	121,1

Tiempo	Datos Sensor centro		Datos Sensor tercio	
	Temperatura alimento	Temperatura retorta	Temperatura alimento	Temperatura retorta
151	111,73	121,1	113,855	121,1
152	111,83	121,1	113,997	121,1
153	111,99	121,1	114,114	121,1
154	112,13	121,1	114,205	121,1
155	112,23	121,1	114,361	121,1
156	112,38	121,1	114,478	121,1
157	112,52	121,1	114,582	121,1
158	112,63	121,1	114,687	121,1
159	112,77	121,1	114,792	121,1
160	112,86	121,1	114,897	121,1
161	113,04	121,1	115,002	121,1
162	113,14	121,1	115,108	121,1
163	113,24	121,1	115,227	121,1
164	113,38	121,1	115,32	121,1
165	113,50	121,1	115,413	121,1
166	113,65	121,1	115,466	121,1
167	113,74	121,1	115,573	121,1
168	113,86	121,1	115,693	121,1
169	113,96	121,1	115,76	121,1
170	114,06	121,1	115,854	121,1
171	114,18	121,1	115,961	121,1
172	114,27	121,1	116,055	121,1
173	114,39	121,1	116,123	121,1
174	114,49	121,1	116,217	121,1
175	114,61	121,1	116,285	121,1
176	114,69	121,1	116,393	121,1
177	114,80	121,1	116,461	121,1
178	114,90	121,1	116,543	121,1
179	114,98	121,1	116,611	121,1
180	115,06	121,1	116,651	121,1
181	115,11	115,556	116,679	121,1
182	115,22	110,000	116,679	115,6
183	115,27	90,556	116,665	110,0
184	115,33	76,667	116,57	90,6
185	115,35	73,889	116,461	76,7
186	115,41	71,111	116,258	73,9
187	115,39	68,333	115,961	71,1
188	115,37	65,556	115,653	68,3
189	115,30	62,778	115,24	65,6
190	113,44	60,000	114,687	62,8
191	112,73	57,222	113,984	60,0
192	109,11	54,444	112,949	57,2
193	105,47	51,667	111,048	54,4
194	103,27	48,889	109,653	51,7
195	102,56	46,111	108,711	48,9
196	101,06	43,333	107,513	46,1
197	100,27	40,556	105,17	43,3
198	99,74	37,778	104,175	40,6
199	99,15	35,000	102,36	37,8
200	98,52	32,222	101,351	35,0

## APÉNDICE C.

### Bigelow

Para el uso del software Bigelow, la data de penetración de calor fue cargada en un archivo con extensión .xlsx, siguiendo el proceso descrito a continuación:

- Al cargar el fichero al programa, buscar en la pantalla (Figura 2.3) y se selecciona la hoja en la cual se encontraban los datos.
- Colocar en **Start Row** el número de fila en donde se comenzará a leer los datos, **Time Column** para la columna del tiempo, y las columnas que correspondan a la temperatura de la retorta en **Retort Temperature Column** y de la que marca la termocupla en el alimento en **Cold Spot Column**.
- Luego de colocar los números se elige la escala de temperatura ( $^{\circ}F$  o  $^{\circ}C$ ) y se presiona en el botón **Proceed with select data**.

Al finalizar la carga de los datos en el software, es posible obtener el perfil de temperatura del proceso y estimar los cálculos necesarios a forma de obtener los parámetros característicos del método General.

### PEvaluator

De los resultados del análisis de este software, es posible obtener los parámetros de  $f_h$  y  $j_h$  además del tiempo de procesamiento de Ball ( $t_p$ ) para un  $F_o$  objetivo y viceversa. La carga de datos fue realizada en un archivo con extensión .xls, tomando las siguientes etapas:

- El software abrirá el archivo de Excel para poder llenar las casillas en el menú principal (Figura 2.4) tales como: **Excel Sheet** (El número de la hoja de Excel donde están los datos), **Time column** (la columna de datos del tiempo), **Cold Spot Column** (la columna de los datos de la termocupla del punto frío del alimento), **Retort Temperature Column** (temperatura de la retorta), y **First Row** y **Last Row** (fila en donde se comenzará y terminará de leer los datos, respectivamente).
- Luego de colocar los números presionar el botón **Read**.

Una vez finalizada la lectura de datos, el software reflejará en la pantalla el perfil de temperatura de dicho proceso. Para la estimación de los parámetros de la curva de penetración de calor calentamiento, el software estimó los parámetros de  $f$  y  $j$  mediante el análisis de una sección de la curva que el propio usuario define previamente. La sección tomada para este caso fue en un punto anterior al tiempo de cierre de vapor, con el fin de focalizar las condiciones previas al final de la retención.

### **Excel**

La plantilla fue diseñada (como se muestra en la Figura 2.5) para que, por medio de fórmulas automáticamente actualizables, se registren las estimaciones de proceso en dos diferentes escenarios: el escenario de *Evaluación del proceso*, donde los cálculos apuntan a la estimación de  $F_o$  y el escenario de *Diseño del proceso*, donde el cálculo se enfoca hacia la determinación de  $t_p$ .

## APÉNDICE D.

Pasos para analizar un proceso de esterilización por el método General

En este caso, se estima de forma directa el tiempo de letalidad en cada intervalo de tiempo  $\Delta\theta$  (igual para todos los datos), el cual está definido por la ecuación C.1.

$$\bar{L} = [10]^{T_0 - T/z} \quad (C.1)$$

Donde  $\bar{L}$  es la letalidad en un punto en el tiempo  $t$ ,  $T_0$  es la temperatura en el punto frío del alimento en el tiempo  $t$ ,  $T$  es la temperatura de la retorta y  $Z$  la resistencia térmica respecto al microorganismo estudiado.

- A continuación, se calcula  $F_0$  por medio de la ecuación C.2, la sumatoria de todas las  $\bar{L}$  hasta el último intervalo de tiempo.

$$F_0 \text{ proceso} = \sum_{i=0}^n (\bar{L}_i * \Delta\theta) \quad (C.2)$$

Por otro lado, para analizar a nivel diseño requiere calcular un  $t_p$  nuevo, es necesario conocer  $F_0 \text{ proceso}$  del estudio preliminar de penetración de calor y compararse con el  $F_0 \text{ objetivo}$  a través de la ecuación C.2, lo cual es una limitante. Si  $F_0 \text{ objetivo} < F_0 \text{ proceso}$ , entonces a partir de los perfiles de temperatura de cada proceso, es posible contrastar gráficamente las letalidades obtenidas con el fin de disminuir el tiempo de proceso, siempre que la inercia para la etapa de enfriamiento sea la misma (así sólo se reduce la etapa de retención).

## APÉNDICE E.

Análisis de un proceso de esterilización a través del método de Ball

La ecuación de la recta semilogarítmica invertida se define por medio de la ecuación D.1.

$$\log(T_R - T_{ie}) = -\frac{t}{f_h} + \log j_c(T_R - T_i) \quad (\text{D.1})$$

Donde se utilizan como base los conceptos de  $f_h$  y  $j_h$  previamente definidas conceptualmente.  $j_h$  está definido en la ecuación D.2, y  $f_h$  se estima según la geometría del producto y el tipo de transferencia de calor (aunque se puede determinar gráficamente como el inverso de la pendiente de la recta);  $T_R$  la temperatura de la retorta,  $T_{ie}$  la temperatura del alimento en un punto determinado de tiempo,  $T_i$  su temperatura inicial,  $I_h$  como la diferencia entre  $T_R$  y  $T_i$  como se muestra en la ecuación D.3.

$$j_h = \frac{T_R - T_{ie}}{T_R - T_i} \quad (\text{D.2})$$

$$I_h = T_R - T_i \quad (\text{D.3})$$

Para obtener los parámetros de esterilización, el método de Ball incluye la ecuación D.4 como la linealizada de la curva de penetración de calor, apoyada por las siguientes fórmulas para obtener tiempo de proceso y letalidad:

$$t_b = t_r + 0,42 \text{ CUT} \quad (\text{D.4})$$

Al cual  $t_b$  se considera como el tiempo de Ball, y  $t_r$  el tiempo de retención (o tiempo al cual la autoclave llega a la temperatura de proceso hasta el cierre de vapor). A partir de ello, es posible evaluar el proceso térmico para hallar  $F_o$  por medio de la siguiente metodología (Holdsworth & Simpson, 2016):

- Conocidos los parámetros anteriormente descritos ( $j, t_b, f_h$ ), se estima la tasa letal definida por  $L$  en la ecuación D.5, y  $T_{ref}$  como la temperatura de referencia.

$$L = 10^{T_R - T_{ref}/z} \quad (D.5)$$

- Posterior a ello, se calcula  $\log g$  por medio de la siguiente ecuación para obtener  $f_h/U$  a través de la Tabla de Ball.

$$\log g = \log[j(T_R - T_i)] - \frac{t_b}{f_h} \quad (D.6)$$

- Finalmente, el valor  $F_o$  se obtiene de la siguiente forma:

$$F_o = (f_h * L) / (f_h/U) \quad (D.7)$$

Para la estimación de  $t_p$  como parte del análisis a nivel diseño, se requiere conocer todos los parámetros preliminares de penetración de calor tal como se obtienen para estimar el tiempo de letalidad, el cual tiene la siguiente vía:

- A partir de un  $F_o$  objetivo se estima  $\frac{f_h}{U}$  con la ecuación D.8.

$$\frac{f_h}{U} = (f_h * L) / F_o \quad (D.8)$$

- Utilizando la Tabla de Ball, del cálculo de  $\frac{f_h}{U}$  se interpola para obtener  $\log g$ , y estimar  $t_b$  mediante la ecuación D.9.

$$t_b = f_h \log\{[j(T_R - T_i)] - \log g\} \quad (D.9)$$

- Para finalizar, se estima  $t_p$  por medio de la siguiente ecuación

$$t_p = t_b + 0,58 \text{ CUT} \quad (D.10)$$

## APÉNDICE F.

Análisis de proceso por medio del método de Stumbo

El método considerado para Stumbo corrige a partir del método presentado por Ball para estimar el tiempo de letalidad, el cual radica a partir de una variable  $g$  como lo indica la ecuación E.1.

$$g = j_h I_h 10^{-\frac{tp-tpi}{f_h}} \quad (\text{E.1})$$

Donde  $tpi$  se considera a la sección del tiempo de levante con efecto letal (Toledo, 2007). Como para el análisis a nivel evaluación se propone estimar  $F_o$ , las etapas a seguir son:

- A partir del cálculo de  $g$ , es preciso estimar  $f_h/U$  por medio de la tabla Stumbo. Para corregir el valor de  $g$  para cuando  $j_c \neq 1$ , se utiliza la ecuación E.2.

$$g_{j_c} = g_{j_c-1} + (j_c - 1) \left[ \frac{\Delta g}{\Delta j} \right] \quad (\text{E.2})$$

- Una vez obtenido  $f_h/U$ , se despeja  $U$  con la ecuación E.3.

$$U = \frac{f_h}{\frac{f_h}{U}} \quad (\text{E.3})$$

- Para finalmente, despejar  $F_o$  con la ecuación E.4.

$$U = F_o F_i = F_o 10^{T_{ref} - T_R/Z} \quad (\text{E.4})$$

Por otro lado, si el producto resulta en una curva rota, se sigue el siguiente procedimiento:

- Para este caso,  $g$  se calcula por medio de la ecuación E.5. Para corregir el valor de  $g$  para cuando  $j_c \neq 1$ , se utiliza la ecuación E.1 planteada anteriormente.

$$g = 10^b \quad (\text{E.5})$$

Donde  $b$  se define por la ecuación E.6, usando los  $f_{h1}$  y  $f_{h2}$  de cada curva (antes y después del punto de gelatinización), y  $g_{bh}$  el punto de la recta donde ocurre la gelatinización.

$$b = \frac{(f_{h1} * \log j_h I_h - (f_{h1} - f_{h2}) \log g_{bh} - t)}{f_{h2}} \quad (\text{E.6})$$

- Se estiman dos  $\frac{f_h}{U}$  tanto para  $g_{bh}$  como para  $g$  por medio de las tablas Stumbo, y se determina  $U$  por medio de:

$$U = \frac{f_h}{\left(\frac{f_h}{U}\right)_g} + \frac{r (f_{h1} - f_{h2})}{\left(\frac{f_h}{U}\right)_{g_{bh}}} \quad (\text{E.7})$$

- Para finalmente, despejar  $F_o$  con la ecuación E.4.

El análisis a nivel diseño, el cual se enfoca en obtener  $t_p$ , se procede a través de la siguiente forma:

- Utiliza la ecuación E.4 para despejar  $U$  en función a un  $F_o$  objetivo (fijado para algún microorganismo o determinado nivel de letalidad).
- A través de la ecuación E.3, se despeja  $f_h/U$  para posteriormente calcular  $g$  a través de las tablas Stumbo. Se toma en cuenta la corrección de  $g$  por medio de la ecuación E.2.
- Se estima el tiempo con efecto letal  $Bb$ , el cual está definido por medio de la ecuación E.8.

$$Bb = f_h(\log(j_h I_h) - \log(g)) \quad (\text{E.8})$$

- Al cual finalmente, se estima  $t_p$  por medio de la ecuación

$$t_p = Bb + 0,6 CUT \quad (\text{E.9})$$

Tal como sucede en la parte de evaluación, si el producto resulta en una curva rota, se sigue el siguiente procedimiento:

- Utiliza la ecuación E.4 para despejar  $U$  en función a un  $F_o$  objetivo (fijado para algún microorganismo o determinado nivel de letalidad).
- Se estiman a partir de  $\frac{f_h}{U}$  de  $g_{bh}$  por medio de las tablas Stumbo, y se determina el  $\left(\frac{f_h}{U}\right)$  de  $g$  por medio de:

$$\left(\frac{f_h}{U}\right)_g = \frac{f_{h2}}{U - \frac{r(f_{h1} - f_{h2})}{\left(\frac{f_h}{U}\right)_{gbh}}} \quad (\text{E.10})$$

- Para luego obtener  $g$  por medio de Tablas Stumbo, y finalmente despejar  $t_p$  por medio de la ecuación

$$t_p = f_{h1}(\log(j_h I_h / gbh)) + f_{h2} \log(g / gbh) + 0,6CUT \quad (\text{E.11})$$

## APÉNDICE G.

Tabla  $\frac{f_h}{U}$  vs  $g$  para cuando  $z = 14, 18, \text{ y } 22$  y  $j_c = 1$  para el cálculo de parámetros del proceso térmico por el método de Stumbo. Basada en la tabla presentada en Toledo, R. (2007). *Fundamentals of Food Process Engineering*. Georgia; Springer.

$f_h/U$	$z=14$	$\Delta g/\Delta j$	$z=18$	$\Delta g/\Delta j$	$z=22$	$\Delta g/\Delta j$
0.2	0.000091	0.0000118	0.0000509	0.0000168	0.0000616	0.0000226
0.3	0.00175	0.00059	0.0024	0.00066	0.00282	0.00106
0.4	0.0122	0.0038	0.0162	0.0047	0.020	0.0067
0.5	0.0396	0.0111	0.0506	0.0159	0.065	0.0197
0.6	0.0876	0.0224	0.109	0.036	0.143	0.040
0.7	0.155	0.036	0.189	0.066	0.25	0.069
0.8	0.238	0.053	0.287	0.103	0.38	0.105
0.9	0.334	0.07	0.400	0.145	0.527	0.147
1.0	0.438	0.009	0.523	0.192	0.685	0.196
2.0	1.56	0.37	1.93	0.68	2.41	0.83
3.0	2.53	0.70	3.26	1.05	3.98	1.44
4.0	3.33	1.03	4.41	1.34	5.33	1.97
5.0	4.02	1.32	5.40	1.59	6.51	2.39
6.0	4.63	1.56	6.25	1.82	7.53	2.75
7.0	5.17	1.77	7.00	2.05	8.44	3.06
8.0	5.67	1.95	7.66	2.27	9.26	3.32
9.0	6.13	2.09	8.25	2.48	10.00	3.55
10	6.55	2.22	8.78	2.69	10.67	3.77
15	8.29	2.68	10.88	3.57	13.40	4.60
20	9.63	2.96	12.40	4.28	15.30	5.50
25	10.7	3.18	13.60	4.80	16.9	6.10
30	11.6	3.37	14.60	5.30	18.2	6.70
35	12.4	3.50	15.50	5.70	19.3	7.20
40	13.1	3.70	16.30	6.00	20.3	7.60
45	13.7	3.80	17.00	6.20	21.1	8.0
50	14.2	4.00	17.7	6.40	21.9	8.3
60	15.1	4.3	18.9	6.80	23.2	9.0
70	15.9	4.5	19.9	7.10	24.3	9.5
80	16.5	4.8	20.8	7.30	25.3	9.8
90	17.1	5.0	21.6	7.60	26.2	10.1
100	17.6	5.2	22.3	7.80	27.0	10.4
150	19.5	6.1	25.2	8.40	30.3	11.4
200	20.8	6.7	27.1	9.10	32.7	12.1

## APÉNDICE H.

Tablas de constantes de degradación de ciertos componentes alimenticios. Basada en la tabla presentada en Toledo, R. (2007). Fundamentals of Food Process Engineering. Georgia; Springer.

CONSTANTES CINÉTICAS DE REACCIONES EN ENLATADOS		RANGO APROXIMADO DE TERMORESISTENCIA	
		D (min) (a 121,1 °C)	Z (°C)
Reacción	Sustrato		
Degradación de Tiamina	Carne res	158	31
Degradación de Caroteno	Hígado (res)	43,6	25,5
Degradación del ácido ascórbico	Guisantes	246	50,5
Pardeamiento enzimático	Leche	12,5	26
Degradación de la clorofila	Guisantes	13,2	38,3

## APÉNDICE I.

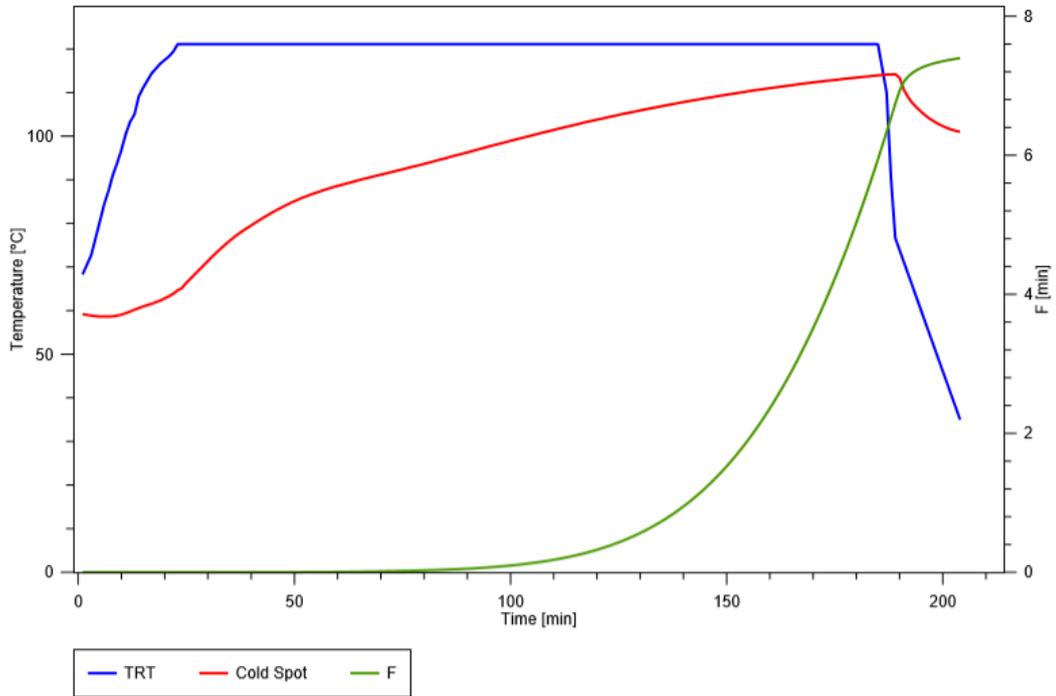
Tabla de criterios de evaluación y códigos de escalas de proximidad para el análisis relacional de actividades sugeridas por Muther. Basada en la tabla presentada por Casp, A. (2005). *Diseño de Industrias Agroalimentarias*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

<b>CRITERIOS DE EVALUACIÓN</b>		
<b>Motivos</b>		
1	Proximidad del proceso	
2	Higiene	
3	Inspección y control	
4	Calor	
5	Malos olores, ruido	
6	Seguridad del producto	
7	Utilización material común	
8	Accesibilidad	
<b>ESCALAS DE PROXIMIDAD DE ACTIVIDADES</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Proximidad</b>	<b>Color Asociado</b>
A	Absolutamente necesario	Rojo
E	Especialmente importante	Amarillo
I	Importante	Verde
O	Poco importante	Azul
U	Sin importancia	Negro
X	No deseable	Café

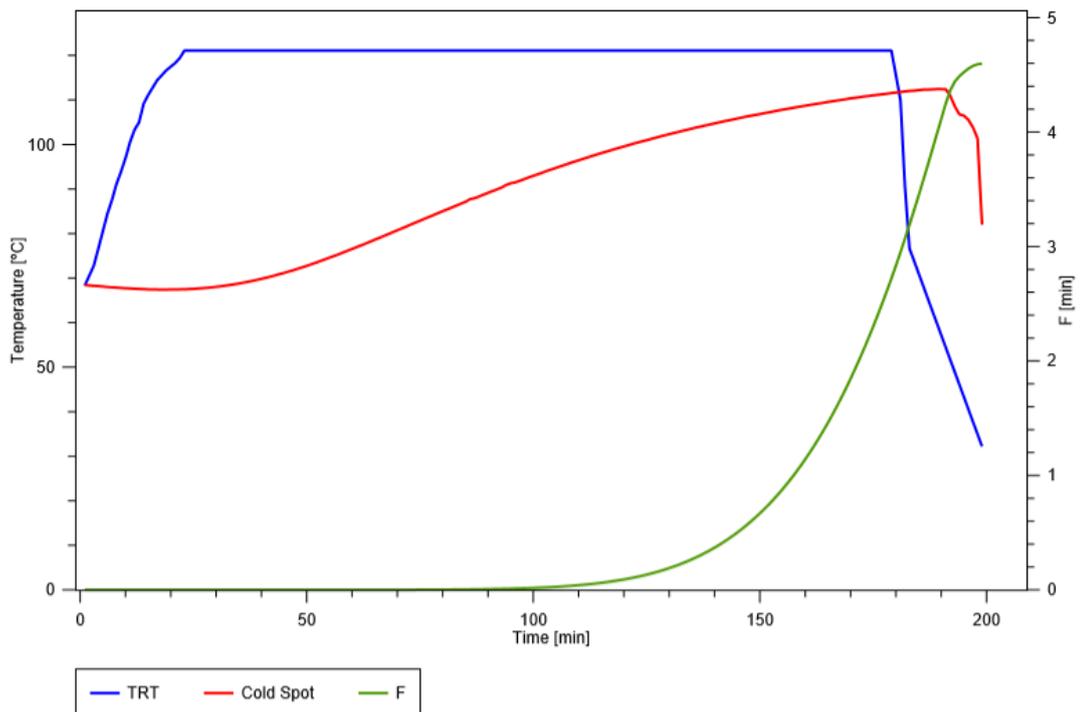
## APÉNDICE J-I.

Perfiles de temperatura elaboradas con la herramienta Bigelow para cada sopa en una ubicación de sensor.

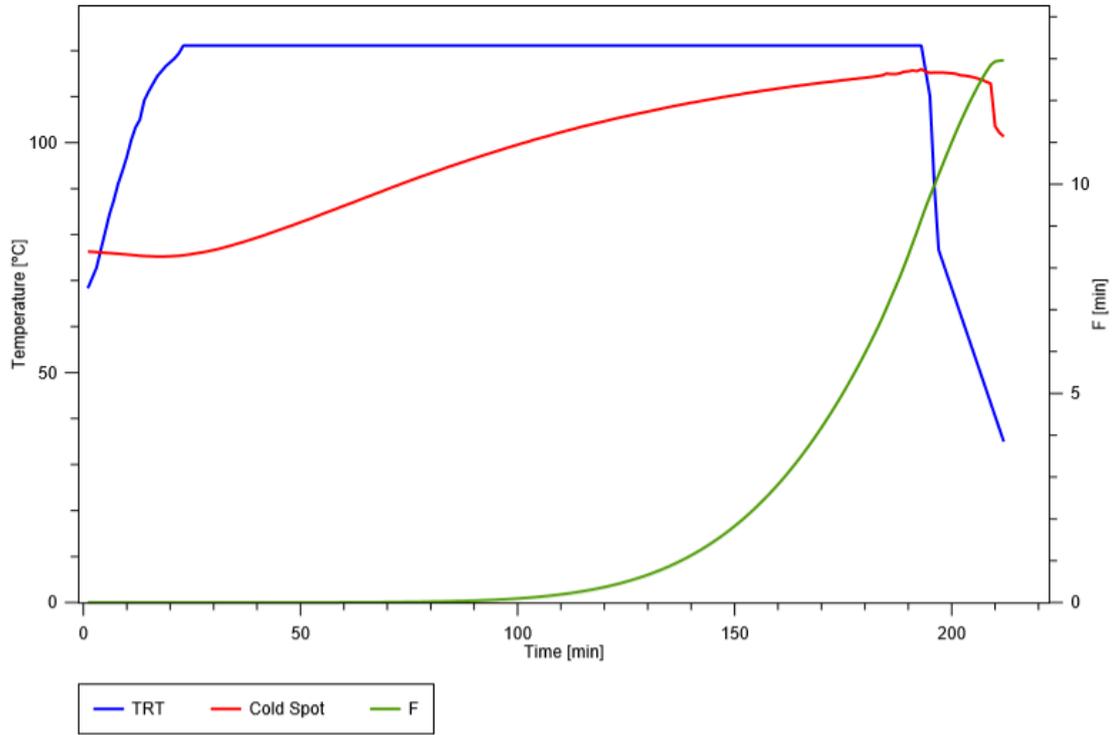
### Meloso de menudencia sensor mitad



### Sopa de arveja sensor mitad



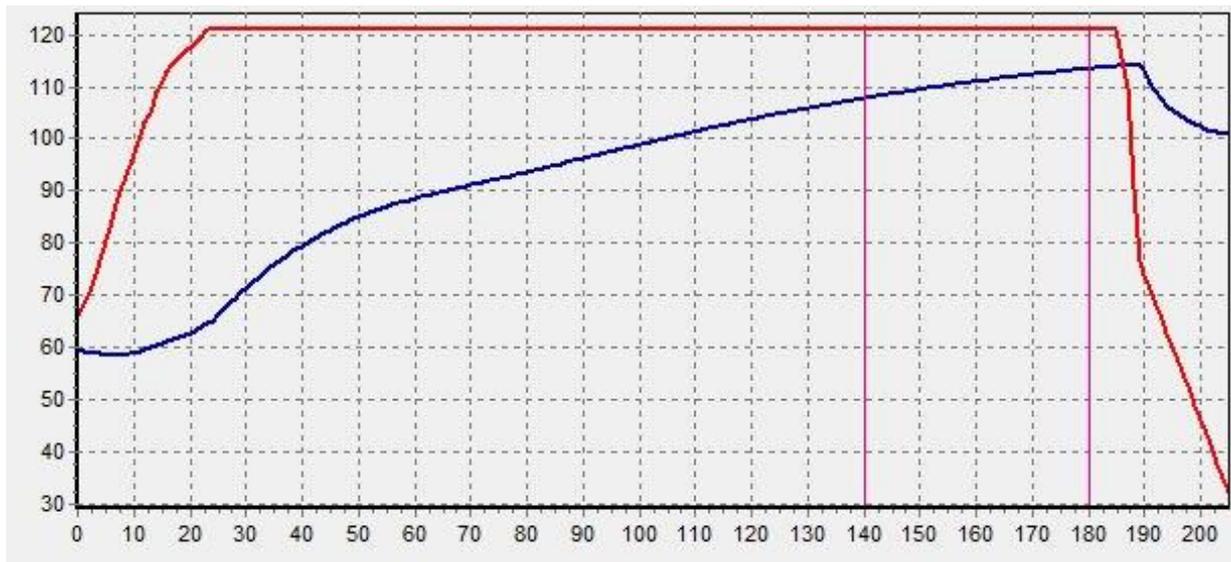
### Menestrón sensor un tercio



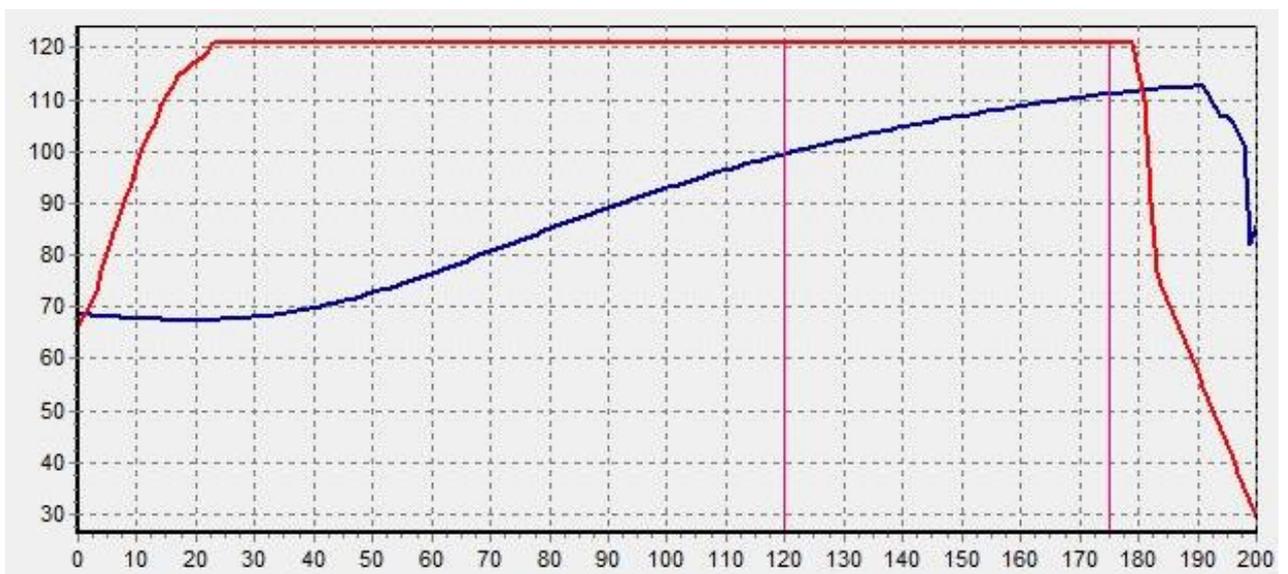
## APÉNDICE J-II.

Perfiles de temperatura elaboradas con la herramienta PEvaluator para cada sopa en una ubicación de sensor.

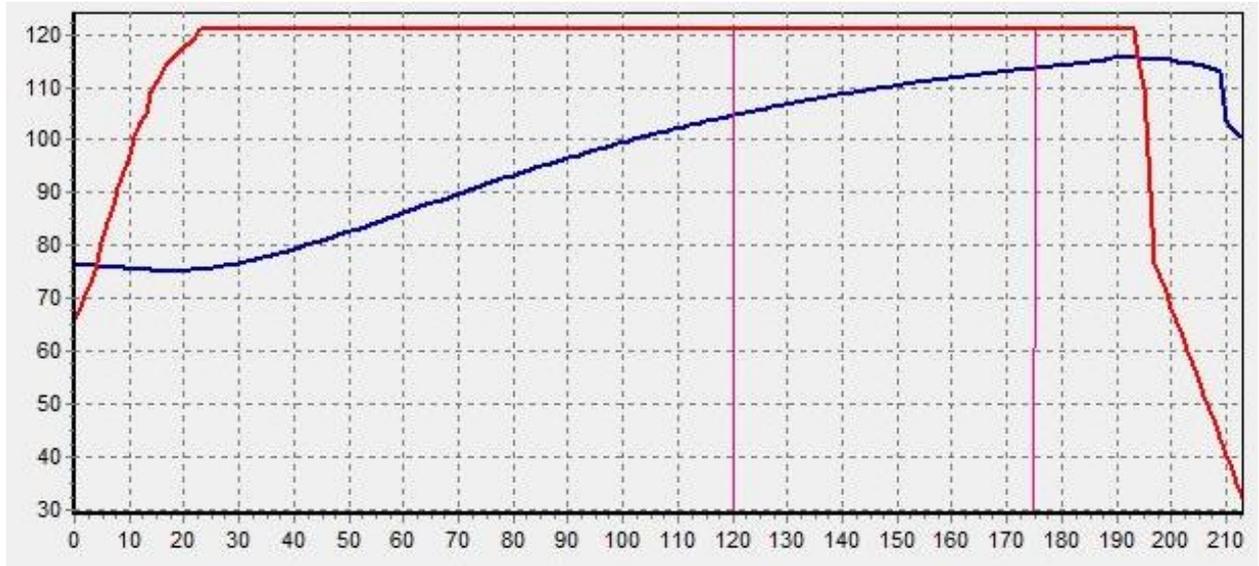
**Meloso de menudencia sensor mitad**



**Sopa de arveja sensor mitad**

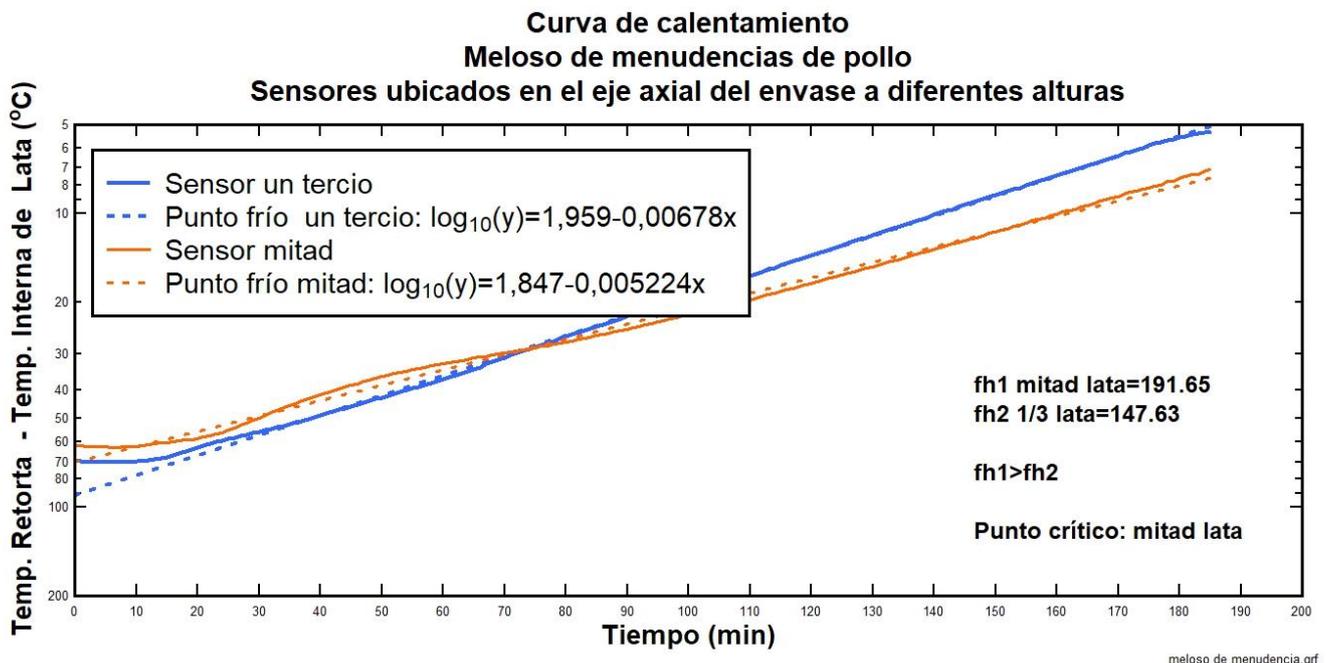
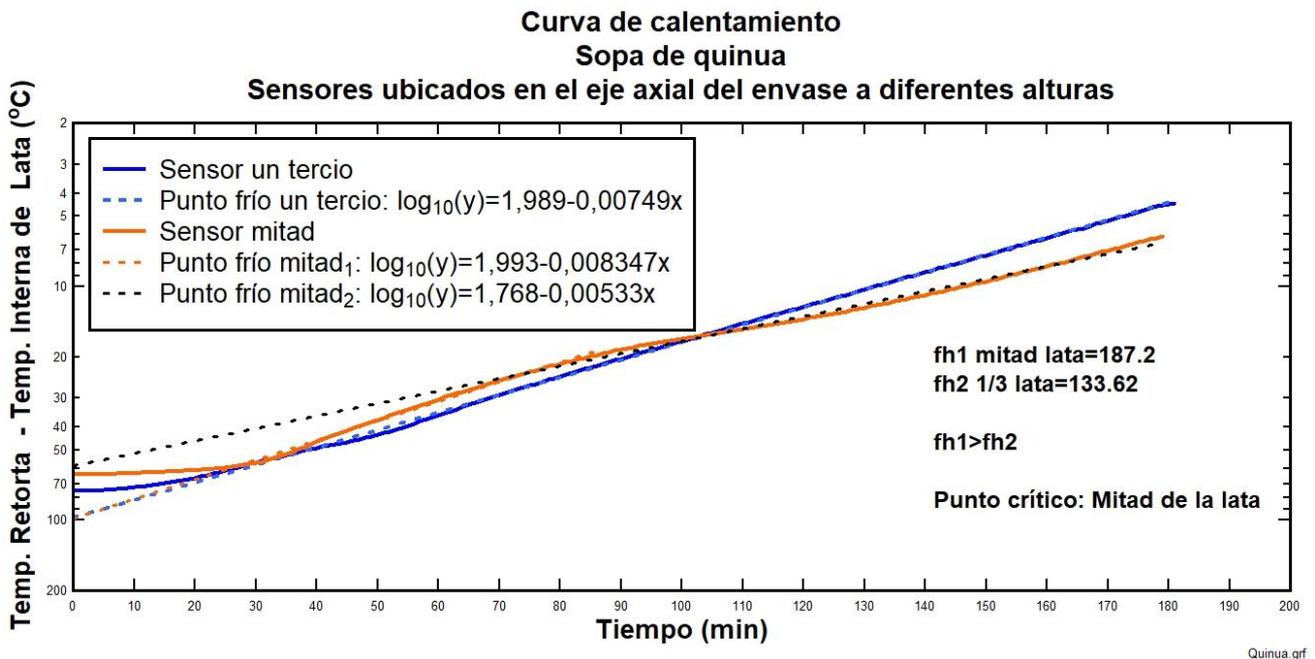


### Menestrón sensor un tercio



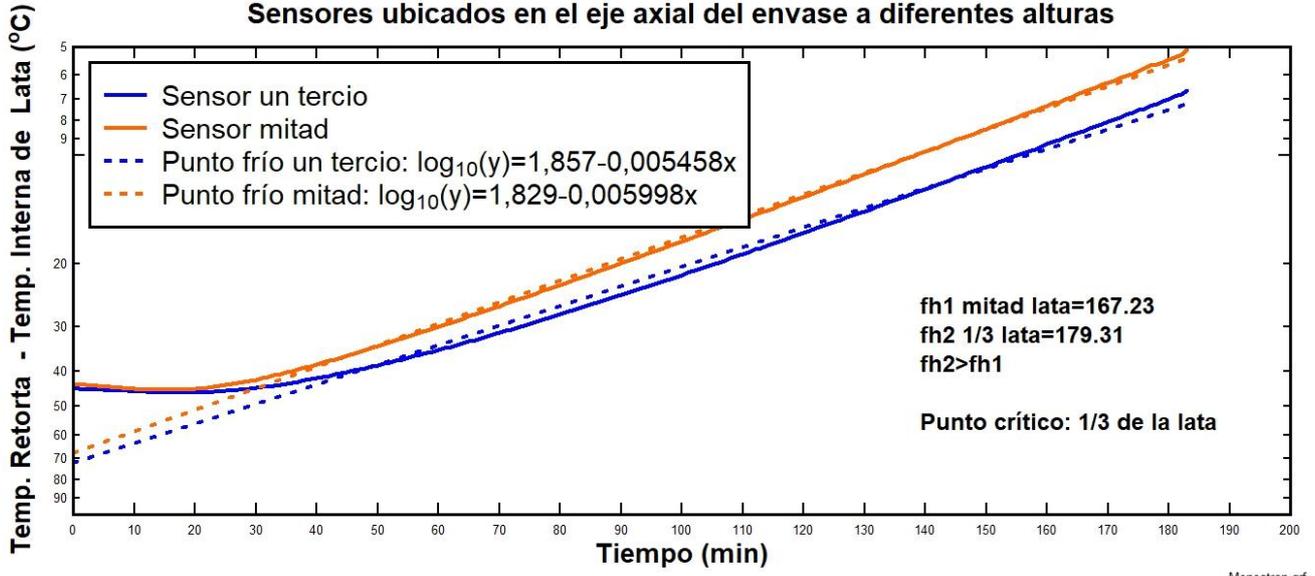
## APÉNDICE J-III.

Curvas de calentamiento elaboradas con la herramienta DPlot.



### Curva de calentamiento Menestron

Sensores ubicados en el eje axial del envase a diferentes alturas



## APÉNDICE K.

Resultados de tiempo de proceso  $t_p$  obtenidos bajo las condiciones presentadas en el apartado 2.5. Fuente: Elaboración propia

Productos		Sopa de Quinoa			Menestrón de carne			Sopa de polvo de arveja			Meloso de menudencia		
Parámetros		Bigelow	Stumbo	Pevaluator	Bigelow	Stumbo	Pevaluator	Bigelow	Stumbo	Pevaluator	Bigelow	Stumbo	Pevaluator
TRT (°C)	Fo (min)	TP (min)	TP (min)	TP (min)	TP (min)	TP (min)	TP (min)	TP (min)	TP (min)	TP (min)	TP (min)	TP (min)	TP (min)
121.1	4	115	136,9	142,29	124	163,23	149,31	141	185,87	168,9	133	164,63	153,97
121.1	6	126	149,15	153,09	135	175,09	160,68	160	198,68	180,5	144	177,3	165,09
121.1	8	135	158,46	161,71	143	184,16	169,68	182	208,26	189,64	168	186,73	174,73
118.3	4	130	156,59	157,05	137	182,4	163,39	176	206,4	183,91	148	184,85	169,59
118.3	6	143	171,04	170,48	150	196,28	177,39	191	221,35	198,17	177	199,57	183,85
118.3	8	174	188,13	181,34	174	208,14	188,67	202	233,68	209,64	189	211,74	195,35
115.6	4	167	180,79	176,09	153	205,93	181,61	196	231,2	203,21	183	203,32	189,57
115.6	6	187	198,75	193,34	184	223,43	199,53	214	249,65	221,4	202	227,49	207,32
115.6	8	203	214,5	207,64	199	238,95	214,32	229	265,51	236,4	217	243,54	222,82

## APÉNDICE L.

Resultados de la Tabla ANOVA, Gráfica de residuos y Diagrama de Pareto para el diseño factorial en Minitab. Fuente: Elaboración Propia

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Temperatura retorta	3	240; 245; 250
Fo	3	4; 6; 8
Métodos	3	Bigelow; Pevaluator; Stumbo
Alimentos	4	Sopa Quinua; Meloso; Menestron; Polvo arveja

### Análisis de Varianza

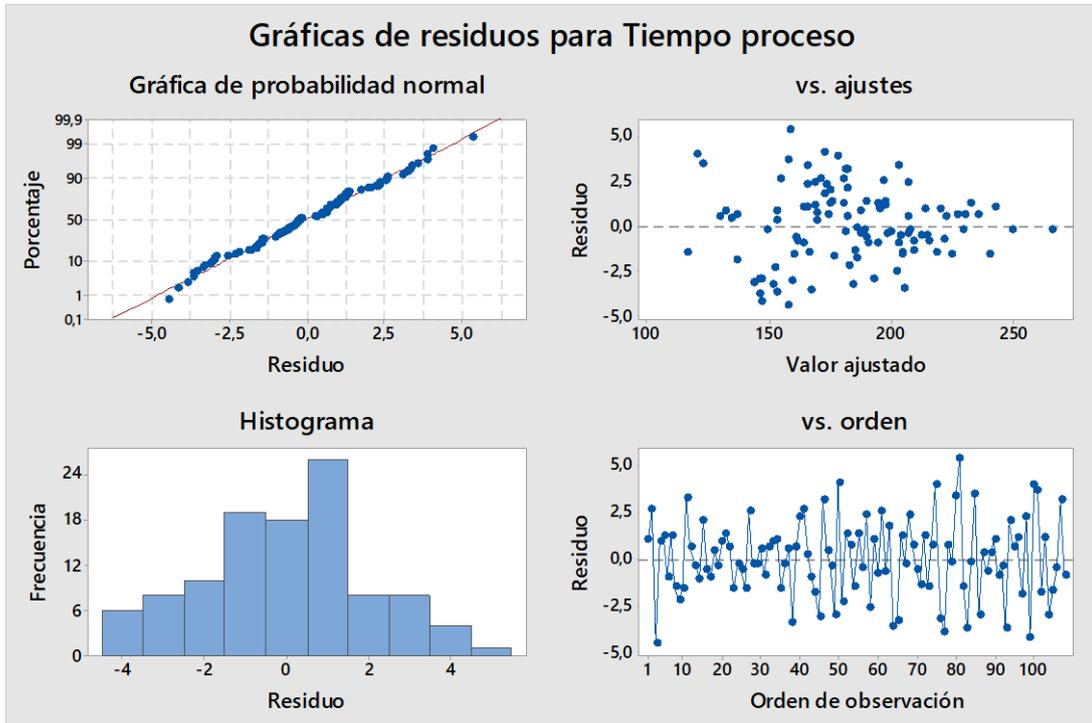
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	83	94987,6	1144,4	61,55	0,000
Lineal	9	91122,1	10124,7	544,49	0,000
Temperatura retorta	2	39351,8	19675,9	1058,13	0,000
Fo	2	14964,9	7482,4	402,39	0,000
Métodos	2	17664,1	8832,0	474,97	0,000
Alimentos	3	19141,3	6380,4	343,13	0,000
Interacciones de 2 términos	30	3099,4	103,3	5,56	0,000
Temperatura retorta*Fo	4	614,4	153,6	8,26	0,000
Temperatura retorta*Métodos	4	440,8	110,2	5,93	0,002
Temperatura retorta*Alimentos	6	94,7	15,8	0,85	0,545
Fo*Métodos	4	278,7	69,7	3,75	0,017
Fo*Alimentos	6	94,6	15,8	0,85	0,546
Métodos*Alimentos	6	1576,2	262,7	14,13	0,000
Interacciones de 3 términos	44	766,0	17,4	0,94	0,586
Temperatura retorta*Fo*Métodos	8	113,2	14,1	0,76	0,640
Temperatura retorta*Fo*Alimentos	12	294,1	24,5	1,32	0,272
Temperatura retorta*Métodos*Alimentos	12	291,8	24,3	1,31	0,277
Fo*Métodos*Alimentos	12	66,9	5,6	0,30	0,983
Error	24	446,3	18,6		
Total	107	95433,9			

### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
4,31219	99,53%	97,92%	90,53%

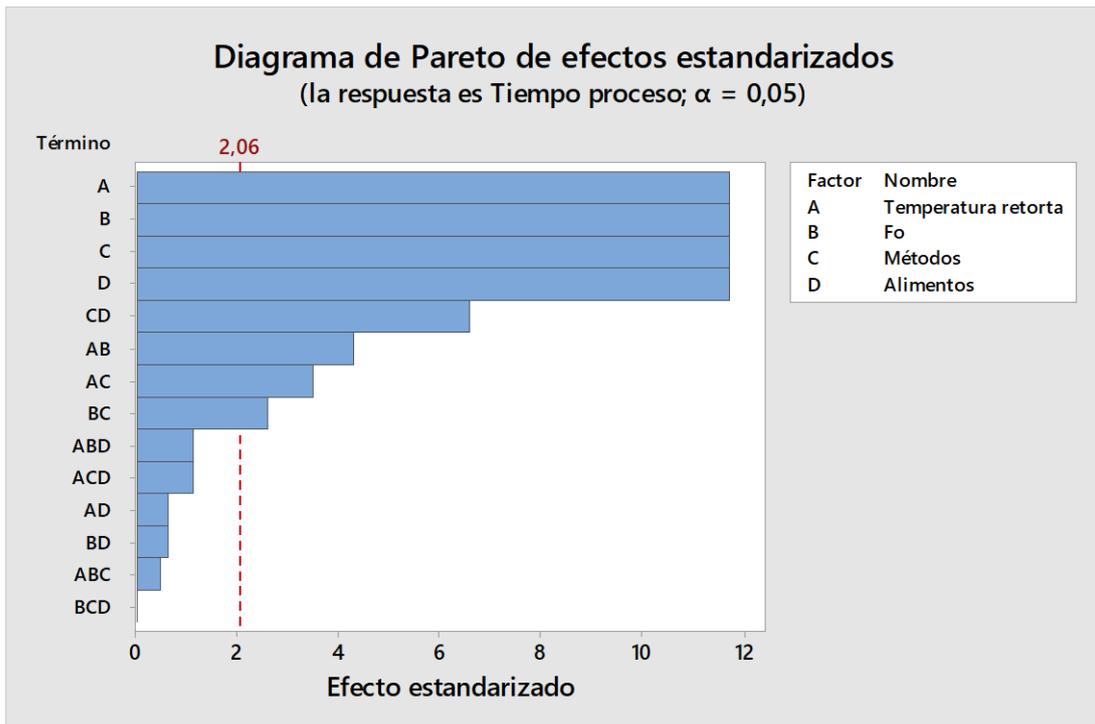
# APÉNDICE L-1.

Gráficas de residuos para el modelo factorial general



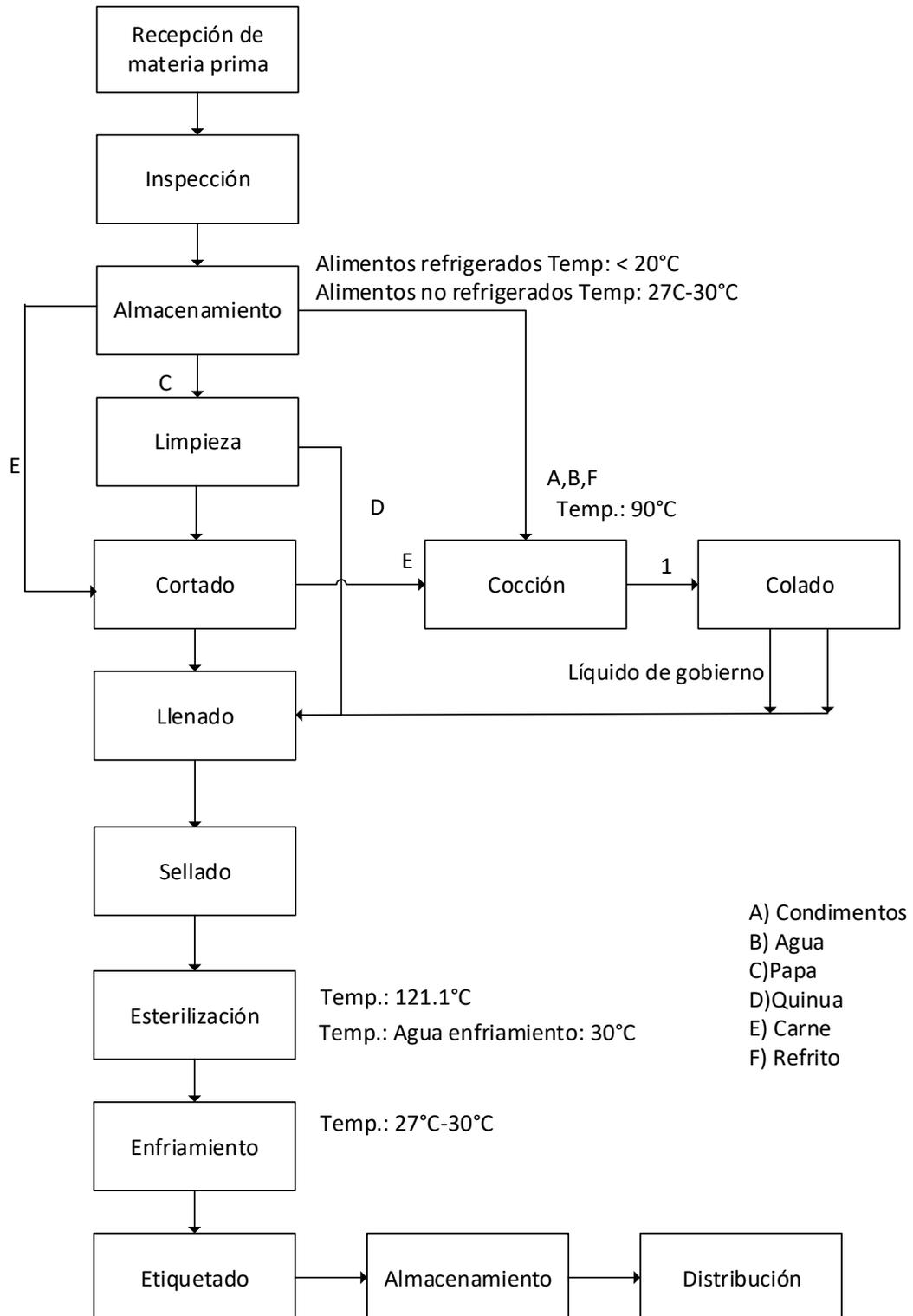
# APÉNDICE L-2.

Diagrama de Pareto



## APÉNDICE M.

Diagrama de flujo del proceso de esterilización para la elaboración de sopa de quinua enlatada. Fuente: Elaboración propia.



## **Descripción del proceso**

### **Recepción de materia prima**

Se recibe toda la materia prima al granel a temperatura ambiente: papa, quinua en saco, etc. La carne se recibe en transportes refrigerados. Se solicita certificado de calidad en cada recepción, además que los proveedores son certificados BPM. La recepción del empaque se las recibe en cartones, y se solicita los certificados de que el material cumple con estándares de inocuidad alimentaria y en el caso de la tinta de las etiquetas, que sea de grado alimentaria. Cada recepción se inspecciona el producto recibido mediante un muestreo basado en la ISO 2859-1:2012.

### **Almacenamiento**

La carne y la papa se almacenan en un cuarto refrigerado, controlado entre T°: 0-6 °C. El resto de materias primas se almacenan en una bodega seca a temperatura ambiente, siguiendo un control de PVPS (Primero Vence Primero Sale).

### **Limpieza**

La quinua se limpia manualmente en un colador rectangular grande, encima de lavabos para que fluyan las suciedades o materiales extraños, y se coloca en un cubículo grande donde visualmente se inspecciona restos extraños más grandes.

### **Cortado**

La papa y la carne se cortan en dos cortadoras de cuchillas de corte en cubos, ambas con capacidad de 250kg/h. La carne ya cortada pasa a la sección de cocción, mientras que la papa sale directamente al llenado.

### **Cocción – Colado**

La preparación del líquido de gobierno se realiza en una marmita enchaquetada, con capacidad de 50 L. En ella, se llena de agua y se colocan los condimentos, hasta llegar a 90°C cuando se coloca la carne sobre un colador circular, evitando que la carne se quede en el líquido y pueda ser retirado fácilmente. La cocción se realiza por 10 minutos. Finalizada esa tanda, se retira la carne y se vacía el líquido en un bowl de 50 L que se lleva a la sección de llenado.

### **Llenado**

Las latas se colocan en una cinta transportadora, en donde se va llenando con cada producto. Cada operario tiene un recipiente con la medida que corresponde de cada materia prima (una para papa, quinua, y carne).

## **Sellado**

La cinta transportadora conduce las latas hacia un exhauster, en donde a cada lata demora 1 minuto en su recorrido, con el fin de sacar todo el aire remanente posible. Posteriormente, son selladas manualmente con una selladora de pedal, y colocadas en una canasta, con capacidad de 150 latas.

## **Esterilización**

La canasta es llevada y subida hasta la zona de la autoclave donde se esterilizarán las latas. El tiempo de esterilización completo (desde el encendido hasta la el fin de la entrada de vapor) es de 130 minutos, a 121,1°C, para lo cual se monitorea continuamente por medio de un data logger. Posteriormente, se enciende el sistema de enfriamiento de la autoclave, con agua fría máximo a 30 °C.

## **Enfriamiento**

La canasta que salga de la autoclave es llevada a una zona de enfriamiento, donde se dejará en reposo durante al menos 2 horas. La canasta se etiqueta con el lote de producción para el posterior etiquetado.

## **Etiquetado**

El etiquetado de latas se realiza una vez todas las latas se hayan enfriado en su totalidad. En esta etapa se aprovecha para monitorear que no exista ninguna unidad inflada. Las etiquetas incluyen la fecha de proceso, fecha de caducidad y el lote.

## **Almacenamiento**

El producto final se reserva en bodega seca a temperatura ambiente hasta su respectiva distribución.

## **Distribución**

Los productos se envían a los puntos de venta o clientes a través de camiones secos a temperatura ambiente.

## APÉNDICE N

Costos de mano de obra directa estimados. Fuente: Elaboración propia

Etapas	Número de obreros por etapa	Costo mensual	Costo 13 <sup>er</sup> sueldo	Costo 14 <sup>to</sup> sueldo	Costo total de Aportaciones	Costo total anual	Costo mensual	Costo diario
Limpieza y esterilización	1	\$ 375,00	\$ 375,00	\$ 375,00	\$ 425,25	\$ 5.675,25	\$ 472,94	\$ 21,50
Cortado carne, papa y cocción	1	\$ 375,00	\$ 375,00	\$ 375,00	\$ 425,25	\$ 5.675,25	\$ 472,94	\$ 21,50
Llenado	2	\$ 750,00	\$ 750,00	\$ 750,00	\$ 850,50	\$ 11.350,50	\$ 945,88	\$ 42,99
Sellado	2	\$ 750,00	\$ 750,00	\$ 750,00	\$ 850,50	\$ 11.350,50	\$ 945,88	\$ 42,99
<b>Total</b>	<b>6</b>						<b>\$ 2.837,63</b>	<b>\$ 128,98</b>

## APÉNDICE O

Costos de producción de 450 latas diarias de sopa de quinua. Fuente: Elaboración propia

<b>Costos</b>					
<b>Materia Prima</b>	<b>Peso x envase (kg)</b>	<b>Costo x envase</b>	<b>Costo x día (450 und)</b>	<b>Costo x mes</b>	<b>Costo x envase</b>
Retazo pulpa de res	0,416	\$ 1,2560	\$ 565,2000	\$ 12.434,40	\$ 1,2560
Refrito	0,728	\$ 0,7540	\$ 339,3000	\$ 7.464,60	\$ 0,7540
Papa	0,598	\$ 0,4605	\$ 207,2250	\$ 4.558,95	\$ 0,4605
Quinua	0,286	\$ 0,1720	\$ 77,4000	\$ 1.702,80	\$ 0,1720
Condimento	0,078	\$ 0,1730	\$ 77,8500	\$ 1.712,70	\$ 0,1730
Agua	0,494	\$ 0,0020	\$ 0,9000	\$ 19,80	\$ 0,0020
<b>Material de empaque</b>	<b>Unidades x envase</b>				
Latas	1	\$ 0,50	\$ 225,0000	\$ 4.950,0000	\$ 0,50
Etiquetas	1	\$ 0,06	\$ 27,0000	\$ 594,0000	\$ 0,06
<b>TOTAL MP Y EMPAQUE</b>			<b>\$ 1.519,8750</b>	<b>\$ 33.437,2500</b>	<b>\$ 3,3775</b>
<b>Mano de obra</b>	<b>Cantidad operarios</b>				
Operarios	6	\$ 472,94	\$ 128,98	\$ 2.837,63	\$ 0,2866
<b>Servicios básicos</b>	<b>Consumo mes</b>	<b>Precio consumo</b>	<b>Costo x día (450 und)</b>	<b>Costo x mes</b>	<b>Costo x envase</b>
Servicio de agua	15	\$ 1,89	\$ 1,29	\$ 28,35	\$ 0,0029
Servicio eléctrico	3390,81	\$ 0,09	\$ 13,87	\$ 305,17	\$ 0,0308
Consumo combustible	546,14	\$ 1,04	\$ 25,74	\$ 566,35	\$ 0,0572
<b>TOTAL SERVICIOS BÁSICOS</b>			<b>\$ 40,90</b>	<b>\$ 899,87</b>	<b>\$ 0,09</b>
<b>COSTOS PRODUCCIÓN</b>			<b>\$ 1.689,7611</b>	<b>\$ 37.174,7451</b>	<b>\$ 3,7550</b>