

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



TITULACIÓN POR EXAMEN PROFESIONAL

Trabajo Monográfico:

“TRATAMIENTO TÉRMICO DE ESPÁRRAGOS”

Presentado por:

DANLYS EDUARDO CASTAÑEDA MAURICIO

Lima – Perú

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

“TRATAMIENTO TÉRMICO DE ESPÁRRAGOS”

Presentado por:

DANLYS EDUARDO CASTAÑEDA MAURICIO

**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Mg.Sc. Walter F. Salas Valerio

PRESIDENTE

Mg.Sc. Fanny Ludeña Urquiza

MIEMBRO

Dra. Ana Aguilar Galvez

MIEMBRO

Mg.Sc Carlos Elías Peñafiel

TUTOR

Lima - Perú

2018

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
2.1	TRATAMIENTO TÉRMICO	2
2.1.1	TIPOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO.....	3
2.1.2	VALORES D Y Z	4
2.1.3	TERMORESISTENCIA MICROBIANA.....	6
2.1.4	ESTERILIDAD COMERCIAL Y EVALUACION DE F_0	7
2.1.5	VALOR DE ESTERILIZACIÓN (VE) Y LETALIDAD F_0	8
2.1.6	CÁLCULO DE LA LETALIDAD (F_0) DEL TRATAMIENTO TÉRMICO	10
2.2	ESPÁRRAGO	16
2.2.1	TIPOS DE ESPÁRRAGOS	18
2.2.2	PROCESO DE CONSERVA DE ESPÁRRAGOS.....	19
III.	DESARROLLO DEL TEMA.....	24
3.1	LUGAR DE REALIZACIÓN	24
3.2	MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.2.1	MATERIA PRIMA E INSUMOS.....	24
3.2.2	MATERIALES Y EQUIPOS	24
3.2.3	METODOLOGÍA	25
3.3	RESULTADOS Y DISCUSIONES	26
3.3.1	DETERMINACIÓN DE PERFIL DE LA TEMPERATURAS DEL PUNTO MÁS FRÍO DE LA CONSERVA DE ESPÁRRAGO Y TEMPERATURA DE RETORTA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.....	26
3.3.2	DETERMINACIÓN DE LA LETALIDAD UTILIZANDO EL MÉTODO GENERAL	29
IV.	CONCLUSIONES.....	34
V.	RECOMENDACIONES.....	35
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1:	Valores Fo para algunos procesos comerciales	9
Cuadro 2:	Parámetros de escaldado de espárragos verdes	21
Cuadro 3:	Características de la autoclave utilizada.....	25
Cuadro 4:	Parámetros utilizados para el tratamiento térmico	26
Cuadro 5:	Datos de temperatura obtenidos de la lectura del <i>Data Trace</i>	27
Cuadro 6:	Tiempos utilizados para el Tratamiento Térmico.....	28
Cuadro 7:	Resultados del cálculo obtenido por el Método de General	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Valores «D» y «Z»	6
Figura 2:	Cuando la Velocidad Letal (L) está en función del tiempo (t) el área bajo la curva es la Letalidad (Fo) y se halla por las sumas de las áreas parciales.....	11
Figura 3:	Gráfica de Velocidad Letal (L) en función del tiempo (Método del Rectángulo)	12
Figura 4:	Gráfica de Velocidad Letal en función del tiempo (Método de Patashnick).....	13
Figura 5:	El tiempo de levante del proceso y tiempo de Ball	15
Figura 6:	Términos usados en el cálculo del tiempo de Ball	16
Figura 7:	Morfología general de la planta de espárrago	17
Figura 8:	Perfiles de la temperatura de la retorta y temperatura del producto en el punto más frío en enlatado de espárragos en función del tiempo.	29
Figura 9:	Velocidad Letal en función del tiempo	32
Figura 10:	Gráfica de Fo Acumulado en función del tiempo.....	33
Figura 11:	Conserva de espárrago enlatado	33

RESUMEN

El presente trabajo se enfocó en calcular la letalidad del tratamiento térmico de esterilización en la conserva de espárrago enlatado utilizando el Método General. La etapa experimental del trabajo se llevó a cabo en las instalaciones de la Fábrica Recursos Integrados S.A.C. ubicado en Calle Las Mimosas N° 121-Urbanización La Capitana Santa María de Huachipa, distrito de Lurigancho. Se prepararon muestras de espárrago enlatado en salmuera utilizando envases de hojalata 15 oz *Picnic*. Luego se realizó el proceso térmico de esterilización con los parámetros utilizados por la empresa Recursos Integrados S.A.C. (118 °C a 13 minutos). Con el uso de sensores y el *software Data Trace* se obtuvo los datos de tiempo y temperatura a cada minuto transcurrido. A partir de los datos obtenidos se calculó la letalidad (F_0) del tratamiento térmico utilizando el Método General. La letalidad es representada por el área generada debajo de la curva procedente de intersección de los puntos al graficar la velocidad letal versus tiempo. Con el uso del Método de Patashnick se obtiene el área total correspondiente a la letalidad del tratamiento térmico desde el calentamiento hasta el enfriamiento en la esterilización de la conserva de espárrago. La letalidad obtenida por el método General fue de 3,3. Se obtuvo la gráfica de perfil de temperatura de retorta y temperatura del producto que permitió observar la variación de temperatura del enlatado y retorta hasta llegar a 118 °C, y su posterior enfriado. Igualmente, la gráfica de velocidad letal en función del tiempo mostró el valor de letalidad gráficamente. La gráfica F_0 Acumulado en función del tiempo demostró los valores de F_0 Acumulados desde el comienzo del tratamiento térmico hasta su posterior enfriado, obteniéndose al final un valor de F_0 Acumulado de 3,3.

Palabras clave: Espárrago, Tratamiento Térmico, Letalidad, Método General.

ABSTRACT

The present work was focused in calculating the lethality of the heat treatment of sterilization in canned asparagus canning using the General Method. The experimental stage of the work was carried out in the facilities of Integrated Resources Factory S.A.C. company, located at Calle Las Mimosas N ° 121-Urbanization La Capitana Santa María de Huachipa, district of Lurigancho. Canned asparagus samples were prepared in brine using 15 oz Picnic tin cans. Then the thermal sterilization process was performed with the parameters used by the company Recursos Integrados S.A.C. (118 ° C for 13 minutes). With the use of sensors and the Data Trace software, the time and temperature data were obtained every minute that elapsed. From the data obtained, the lethality (F_0) of the thermal treatment was calculated using the General Method. The lethality is represented by the area generated below the curve coming from the intersection of the points when plotting lethal velocity versus time. With the use of the Patashnick Method, the total area corresponding to the lethality of the thermal treatment is obtained from the heating up to the cooling in the sterilization of the preserved asparagus. The lethality obtained by the General method was 3,3. The temperature profile of the retort and temperature of the product was obtained, which allowed observing the temperature variation of canning and retorting up to 118 °C, and its subsequent cooling. Likewise, the graph of lethal velocity as a function of time showed the lethality value graphically. The accumulated F_0 graph as a function of time showed the Accumulated F_0 values from the beginning of the thermal treatment until its subsequent cooling, obtaining at the end a value of Accumulative F_0 of 3,3.

Keywords: Asparagus, Heat Treatment, Lethality, General Method.

I. INTRODUCCIÓN

El deterioro de los alimentos provoca grandes problemas por las características negativas que generan tales como apariencia, pérdida de valor nutricional, pérdida de inocuidad y malas características sensoriales.

La aplicación de tratamiento térmico en un alimento ha servido como método de conservación. La finalidad de éste es la destrucción de la carga microbiana que ocasione el deterioro en su calidad física, química o biológica, o que origine algún tipo de perjuicio en la salud del consumidor.

La esterilización es un tratamiento térmico severo aplicado generalmente a productos poco ácidos ($\text{pH} > 4,6$) en los que pueden desarrollarse bacterias esporuladas, y cuyo fin es eliminar los riesgos para la salud pública y que el producto tenga un largo tiempo de vida en anaquel a temperatura ambiente.

En los tratamientos térmicos aplicados a las conservas enlatadas se utilizan procedimientos para evaluar la eficiencia del tratamiento entre estas tenemos la curva de supervivencia térmica, el cual se realiza para obtener un parámetro conocido como valor «D» o tiempo de reducción decimal. Otro parámetro de importancia es «Z», obtenido mediante la representación de las curvas de destrucción térmicas. Para determinar la idoneidad del tratamiento térmico es necesario calcular su Letalidad (F_0) que se halla mediante el método General, Ball, Stumbo o Hayakawa. La letalidad nos permite averiguar el tiempo total de calentamiento a una determinada temperatura para alcanzar un valor de esterilización deseado.

El presente trabajo tuvo como objetivo el calcular la letalidad del tratamiento térmico de esterilización en la conserva de espárrago enlatado utilizando el Método General.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 TRATAMIENTO TÉRMICO

Uno de los procedimientos más empleados en la actualidad para la conservación de alimentos es la aplicación de calor. En todo tratamiento térmico se busca alcanzar al máximo unos efectos positivos, como son la destrucción de microorganismos y la inactivación de enzimas y reducir también lo más posible los efectos negativos, como son la destrucción de nutrientes termolábiles y la aceleración de reacciones químicas. Ello se consigue optimizando el proceso, es decir, ajustado la relación temperatura y tiempo de aplicación para evitar los efectos indeseables sobre el alimento, pero garantizando las condiciones higiénico-sanitarias (Hernández y Sastre 1999).

De acuerdo a Bedolla *et al.* (2004), el objetivo de la aplicación del tratamiento térmico es liberar al alimento de los microorganismos que pueden causar daño a la salud de los consumidores o causar deterioro del alimento.

La mayoría de los alimentos enlatados se tratan térmicamente de manera para prevenir el deterioro microbiológico y enzimático (Bedolla *et al.* 2004).

Bedolla *et al.* (2004) menciona que las formas vegetativas de las células bacterianas se destruyen a temperaturas ligeramente arriba de la temperatura máxima con la cual ellas puedan multiplicarse; sin embargo, en general las esporas sobreviven a temperaturas mucho más altas, por ejemplo, las esporas de *Clostridium botulinum* pueden sobrevivir 3 00 minutos a 100 °C. Desde el enfoque microbiológico, la muerte de loa microorganismos sucede cuando estos han perdido su capacidad de reproducción. Los principales métodos para procesar térmicamente los alimentos son:

- Llenado en caliente y cerrado
- Calentamiento en baño de agua a ebullición

- Calentamiento a presión con vapor.
- Calentamiento en agua supercalentada
- Envasado aséptico.

Uno de los factores de mayor importancia que nos define el tipo de proceso requerido para un alimento es pH ya que la resistencia térmica de las esporas está íntimamente ligada con la acidez del medio en que se desarrollan. El pH tiene suma importancia en la elección de las condiciones del proceso debido a que algunas cepas del *Clostridium botulinum* pueden crecer y producir toxinas a pH tan bajos como 4,6 (Bedolla *et al.* 2004).

De acuerdo a Bedolla *et al.* (2004), a los alimentos que tienen pH inferior a 4,5 basta con someterlos a proceso de pasteurización como método de conservación y los alimentos con pH superiores a 4,5 requieren de un proceso más severo como la esterilización comercial donde el valor equivalente del proceso térmico expresado en minutos es 121 °C (250 °F).

2.1.1 TIPOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO

Hernández y Sastre (1999) mencionan que se distinguen dos tipos de tratamiento térmico, en función de la temperatura y del tiempo de aplicación, los cuales se detallan a continuación.

a. Pasteurización

En la pasteurización se aplican temperaturas relativamente suaves (inferiores a 100 °C), normalmente entre 65 °C y 70 °C. El objetivo principal es eliminar los microorganismos patógenos, reducir la cantidad de otros microorganismos viables e inactivar enzimas.

El pH del alimento es un factor intrínseco del mismo que determina en parte la intensidad del tratamiento térmico y el grado de prolongación de la vida útil. Esta técnica se puede aplicar a alimentos de baja acidez (pH > 4,5) como la leche y el huevo líquido, en los que se busca una destrucción de microorganismos patógenos, y a alimentos ácidos (pH < 4,5), en los que se persigue la destrucción de todos los microorganismos causantes de su alteración y la inactivación de enzimas, no siendo necesario un tratamiento térmico más energético en este último caso, debido al efecto conservador que por sí mismo ejerce el pH ácido. Los productos pasteurizados tienen un tiempo de conservación inferior a los esterilizados, requiriendo unas condiciones de mantenimiento determinadas (generalmente refrigeración), pero presentan

unos caracteres sensoriales y nutritivos mejores que los esterilizados, debido a que los componentes están menos afectados por la temperatura (Hernández y Sastre 1999).

b. Esterilización

En la esterilización se aplican temperaturas superiores a 100 °C con la finalidad de eliminar prácticamente toda actividad microbiana y enzimática. Los alimentos estabilizados por este sistema presentan, en general, una vida útil superior a seis meses (Hernández y Sastre 1999).

Es un método de conservación de alimento que hace referencia a tratamientos industriales de esterilización térmica, en los que una adecuada combinación del binomio temperatura-tiempo permite la destrucción de los microorganismos patógenos y de todos aquellos que producen toxina, así como algunos otros alterantes que podrían ocasionar problemas de estabilidad bajo condiciones normales de calidad higiénica del alimentos y permite un almacenado a largo plazo, la mayoría de las veces los alimentos y permite un almacenado a largo plazo, la mayoría de la veces los alimentos tratados de este modo pueden contener un cierto número de esporas bacterianas termoresistentes, aunque lo normal es que no se puedan desarrollar en el alimentos durante la vida comercial estipulada (Gutiérrez 2000).

2.1.2 VALORES D Y Z

La inactivación térmica de las esporas termoresistentes normalmente sigue una cinética de reacción de primer orden, esto es, la tasa de destrucción a temperatura constante es directamente proporcional al número de esporas supervivientes presentes (Lewis 1993).

De acuerdo a Lewis (1993), la figura 1 (a) muestra cómo cambia la población con el tiempo, obteniéndose una relación lineal cuando los datos representados sobre las coordenadas logarítmicas. La resistencia térmica de los microorganismos o esporas, a temperatura constante, viene medida por el tiempo de reducción decimal «Dt», definido como: el tiempo necesario para reducir la población de esporas se calienta a temperatura constante T durante un tiempo t el número N de esporas supervivientes, y viene dado por la ecuación 1.

$$\log_{10} \left(\frac{N_0}{N} \right) = \frac{t}{D} \quad (1)$$

Donde:

No: población inicial

N: población final

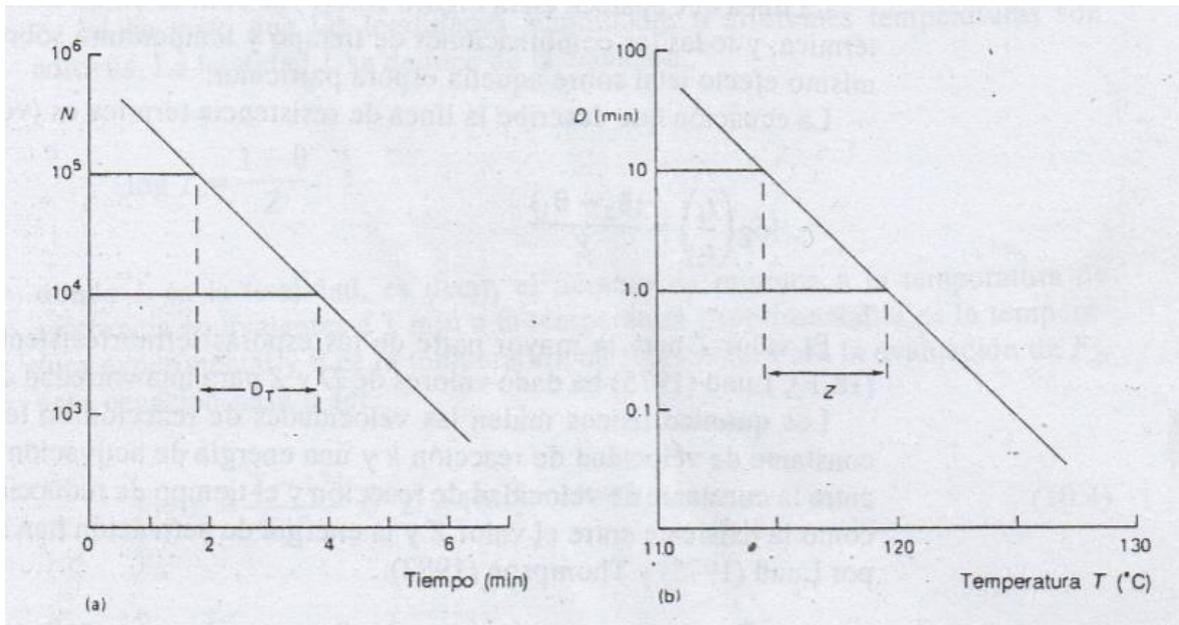
t: tiempo de calentamiento en minutos

D: tiempo de reducción decimal en minutos

Los valores de $D_{121^\circ\text{C}}$ para *Clostridium botulinum* y *Bacillus stearothermophilus* son 0,21 minutos y 4,0 minutos; respectivamente. *Bacillus stearothermophilus* forma una de las esporas más termoresistentes encontrados en los alimentos (Lewis 1993).

En situaciones prácticas, la mayoría de los alimentos no se calientan a temperatura constante, sino que están sometidos a un cambio en la temperatura. Conforme la temperatura aumenta lo hace también la tasa de inactivación, con lo que se reduce el tiempo de reducción decimal. Para la mayoría de los organismos vegetativos y esporas hay una relación razonablemente lineal entre el logaritmo del tiempo de reducción decimal y la temperatura (Lewis 1993).

La figura 1 muestra la relación para un tipo de esporas. A partir de esto se puede definir un nuevo parámetro para la espora, conocido como valor Z. Lewis (1993) describe al valor Z como: el cambio de temperatura que ocasiona un cambio de diez veces en el tiempo de reducción decimal.



(a): Relación entre la población de organismos y el tiempo a temperatura de calentamiento constante; (b): Relación entre la temperatura de calentamiento y el tiempo para alcanzar el mismo efecto letal.

Figura 1: Valores «D» y «Z».

FUENTE: Tomado de Lewis 1993

La línea que aparece en la figura 1 se conoce como línea de resistencia térmica, y todas las combinaciones de tiempo y temperatura sobre ella tienen el mismo efecto letal sobre aquella espora particular (Lewis 1993).

2.1.3 TERMORESISTENCIA MICROBIANA

Para determinar el tiempo de tratamiento de un alimento es necesario conocer la termoresistencia tanto de los microorganismos, como de los enzimas presentes en el mismo, así como la velocidad de penetración de calor (Fellows 1994).

De acuerdo a Fellows (1994), de entre los microorganismos patógenos esporulados eventualmente presentes en los alimentos de baja acidez ($\text{pH} > 4,5$) el *Clostridium botulinum* es el más peligroso. Este microorganismo, que es capaz de crecer en condiciones de anaerobiosis en envases cerrados, elimina al medio una exotoxina muy potente, Por ello, los procesos de esterilización se diseñan para que, como mínimos, sería capaces de su destrucción.

En los alimentos moderadamente ácidos (pH 4,5 -3,7), para calcular los tiempos y temperaturas de tratamiento se emplean otros microorganismos (por ejemplo; moho y levaduras) o enzimas termoresistentes (Fellows 1994).

La probabilidad de supervivencia se halla determinada por el tipo de microorganismo eventualmente presente en la materia prima. Aquellos alimentos en los que existe riesgo de contaminación por *C. botulinum* se someten a procesos de esterilización equivalentes a 12D, pero estos procesos, aplicados a alimentos que contuvieran microorganismos más termoresistentes resultarían excesivos y provocarían una pérdida de calidad innecesaria. Por ello, con objeto de compaginar el número de envases alterados y la calidad nutritiva y organoléptica del alimento, en la práctica, se aplican procesos equivalentes a 5D-8D, con los que dada la inferior termoresistencia de *C. botulinum*, su probabilidad de supervivencia es semejante a la que se obtendría con procesos equivalentes a 12D. Para que estos procesos produzcan los efectos esperados, la carga microbiana inicial del producto debe mantenerse lo más baja posible, mediante adecuadas medidas de higiene durante su manejo y preparación, y en algunos alimentos escaldados. Cualquier fallo en estos procesos incrementaría la tasa de contaminación inicial y como la destrucción es logarítmica aumentaría el número de envases alterados (Fellows 1994).

Según Fellows (1994), en las conservas, antes de mandar el producto al mercado una determinada proporción de ellos se selecciona al azar y se incuba, para comprobar que el riesgo de alteración admitido no se supera.

2.1.4 ESTERILIDAD COMERCIAL Y EVALUACION DE Fo

La esterilidad comercial describe la situación en la que pueden encontrarse microorganismos viables en el producto, pero las condiciones no son favorables para el crecimiento y los microorganismos presentes no causarían toxicidad o enfermedades ni tendrían efecto alguno en detrimento de la calidad del producto durante su duración constatada (Lewis 1993).

Para los alimentos no ácidos (pH>5,3) el criterio aceptado es el que utiliza como microorganismo indicador al *Clostridium botulinum* que deberá ver reducida por el calor su población inicial has 10^{13} veces; esto corresponde a un tiempo igual a 12D. Algunos autores

llaman a este valor Tiempo de Muerte Térmica (TMT), otros lo llaman el valor «F» de cierta temperatura (Orrego 2003).

De acuerdo a Rees y Bettison (1994), el tratamiento térmico de los alimentos suele denominarse erróneamente esterilización. Es importante reconocer que un producto que ha sido sometido a «esterilización» térmica puede no ser estéril. Si se asume que la destrucción microbiana por el calor sigue un curso logarítmico, la esterilidad absoluta es inalcanzable.

Un alimento «estéril comercialmente» puede definirse como un producto que ha sido sometido a un tratamiento térmico tal que, no se altera en condiciones normales de almacenamiento, ni supondrá un peligro para la salud del consumidor (Rees y Bettison 1994).

2.1.5 VALOR DE ESTERILIZACIÓN (VE) Y LETALIDAD F_0

Elías *et al.* (2014) mencionan que el valor de esterilización está dado por la ecuación 2.

$$VE = \text{Log} \frac{N_0}{N} = \frac{t}{D} \quad (2)$$

Donde

VE = Valor de Esterilización

N_0 = Número de Células Iniciales (UFC/ml)

N = Número de Células sobrevivientes (UFC/ml)

t = Tiempo (min)

D = Tiempo de Reducción Decimal

La letalidad «F» se define como el tiempo total de calentamiento a una determinada temperatura para alcanzar un valor de esterilización deseado. También se le define como tiempo de muerte térmica y está expresado en minutos (Elías *et al.* 2014).

$$F_t = (VE)D \quad \text{o} \quad F_t = (\log N_0 - \log N)D \quad (3)$$

Donde:

VE = Valor de Esterilización

N_0 = Número de Células Iniciales (UFC/ml)

N = Número de Células sobrevivientes (UFC/ml)

t = Tiempo (min)

D = Tiempo de Reducción Decimal

Los valores de F_0 de algunos procesos comerciales se detallan en el cuadro 1.

Cuadro 1: Valores F_0 para algunos procesos comerciales

PRODUCTO	TAMAÑO DE LATA	F_0 (MIN)
Espárrago	Todos	2 - 4
Vainitas en salmuera	603x700 (153 x 178 mm)	6
Pollo deshuesado	Todos	6 - 8
Granos de Maíz entero en salmuera	307x409 (83 x 116 mm)	9
Granos de Maíz entero en salmuera	603x700 (153 x 178 mm)	15
Crema de Maíz	307x409 (83 x 116 mm)	5 - 6
Comida de Perro	307x409 (83 x 116 mm)	12
Comida de Perro	603x700 (153 x 178 mm)	6
Pastel de carne	307x409 (83 x 116 mm)	6
Arvejas en salmuera	307x409 (83 x 116 mm)	7
Arvejas en salmuera	603x700 (153 x 178 mm)	11
Salchicha de Viena en Salmuera	Varios	5
Chili con carne (plato)	Varios	6

FUENTE: Adaptado de Alstrand y Ecklund, citados por Toledo 1999

2.1.6 CÁLCULO DE LA LETALIDAD (F_0) DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

A continuación se detallan los métodos para el cálculo de la letalidad (F_0) del tratamiento térmico.

a. Método General

El método es esencialmente un método gráfico que integra los efectos letales de varios puntos de relación tiempo-temperatura existentes en algún punto del alimento que está siendo sometido a tratamiento térmico. Generalmente este punto donde se miden los efectos letales es el punto de calentamiento más lento (centro geométrico). De los valores obtenidos por la termocupla, las curvas de calentamiento y enfriamiento son construidas para representar las temperaturas existentes durante el proceso. En cada temperatura representada por un punto en las curvas, se considera que esa posee un valor esterilizante o letal (Stumbo 1973).

Según Stumbo (1973), de las relaciones tiempo-temperatura representado por la curva de destrucción térmica, es posible asignar un valor de velocidad letal para cada temperatura representada por un punto en las curvas de calentamiento y enfriamiento de un producto durante el proceso. El valor de velocidad letal asignado para cada temperatura es numéricamente igual al recíproco del número de minutos requeridos para destruir algún porcentaje de esporas a esa temperatura (el porcentaje de destrucción es representado por todos los puntos en la curva de destrucción térmica). Por lo tanto el tiempo de destrucción correspondiente a cada temperatura dada es tomado de la curva de destrucción térmica del organismo para el cual el proceso está siendo diseñado.

En el método general original, el tiempo representado era trazado en contra de sus correspondientes velocidades letales para obtener la curva de letalidad. La velocidad letal era representada en las ordenadas y el tiempo en las abscisas (debido a que el producto de la velocidad letal y el tiempo era igual a la letalidad, el área debajo de la curva podía ser expresado como letalidad) (Stumbo 1973).

Este es un procedimiento de prueba y error y muchas veces fue llamado «método de prueba y error» (Stumbo 1973). Contribuciones de Ball y Schultz y Olson, citados por Stumbo (1973), resultaron en un método general mejorado. Quizás la mayor contribución fue la

construcción de una curva de destrucción térmica hipotética que pasa 01 minuto a 250 °F.

Elías *et al.* (2014) mencionan que en el cálculo de la letalidad por el Método General presenta las siguientes características:

- Solo se necesita monitorear la temperatura del producto (en el punto más frío, pmf) en función del tiempo (t)
- No se necesita monitorear la temperatura de la retorta (TR)
- La integración se puede considerar como el área bajo la curva
- La suma de las áreas parciales nos dará el área total bajo la curva
- Para hallar la Letalidad del proceso (Fo), se suman las áreas parciales (figura 2).

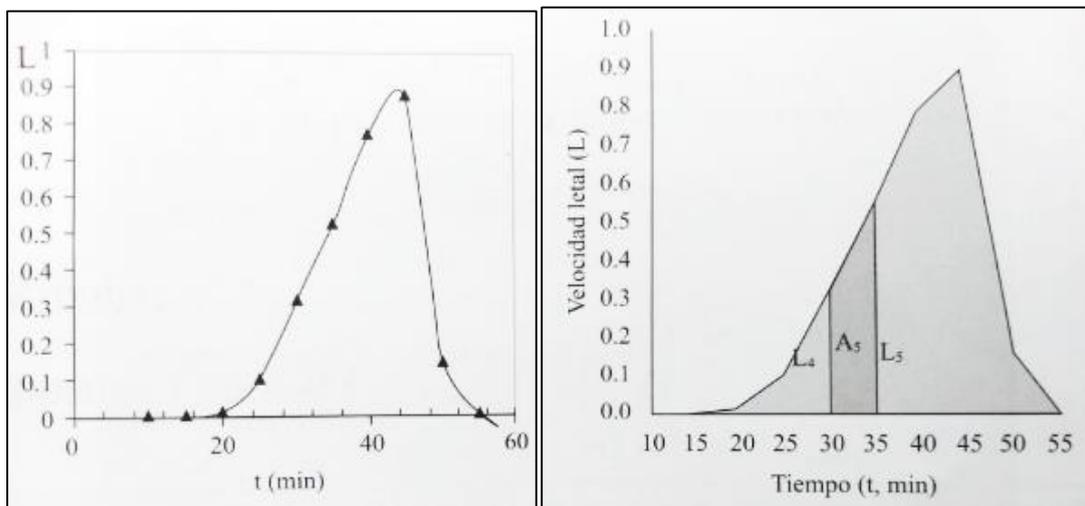


Figura 2: Cuando la Velocidad Letal (L) está en función del tiempo (t) el área bajo la curva es la Letalidad (Fo) y se halla por las sumas de las áreas parciales.

FUENTE: Tomado de Elías *et al.* 2014

Elías *et al.* (2014) mencionan que para hallar el área bajo la curva existen varios métodos, entre los que se mencionan:

- El Método del rectángulo
- El Método de Patashnik
- El Método de Simpson
- Planímetro
- Por pesada
- Cuenta de cuadrados

- **Método del Rectángulo**

Elías *et al.* (2014) mencionan que el área del rectángulo representa el efecto térmico parcial y se representa por las ecuaciones 4 y 5:

$$Fo = (\Delta t) \times (L) \quad (4)$$

$$Fo = F \times 10^{(1/z)(t-t_0)} \quad (5)$$

Donde:

Fo = Letalidad

Δt = Variación de tiempo (F)

L = Velocidad Letal

z = Constante de resistencia térmica

t = Temperatura

En la figura 3 se puede observar el área parcial bajo la curva representada por un rectángulo. Obsérvese que el exceso de área del rectángulo de la izquierda se compensa con el defecto del área bajo la curva que no se considera (Elías *et al.* 2014).

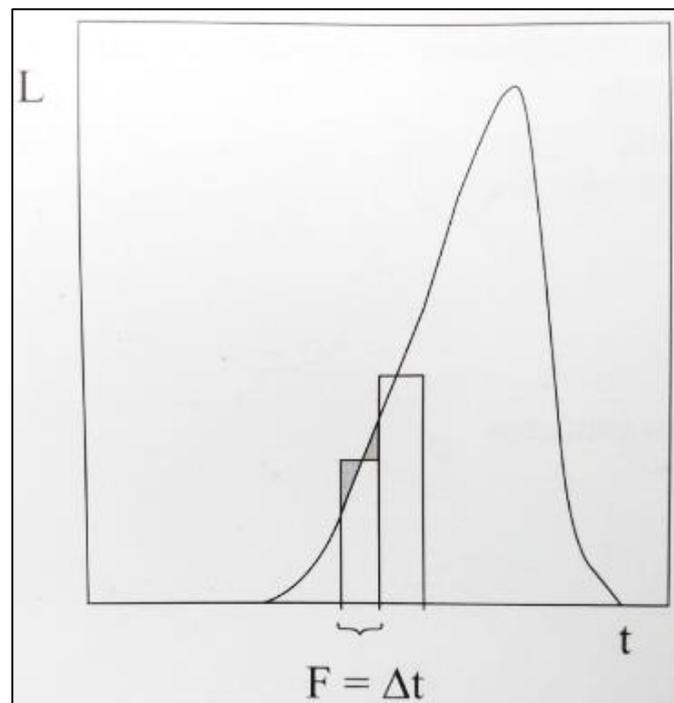


Figura 3: Gráfica de Velocidad Letal (L) en función del tiempo (Método del Rectángulo).

FUENTE: Tomado de Elías *et al.* 2014

- **Método de Patashnick**

Según Elías *et al.* (2014), se considera las áreas parciales como un trapecio. El método de Patashnick es una adaptación de la regla trapezoidal (figura 4), expresada en la forma de la ecuación 6.

$$A = b((h_1 + h_2)/2) \quad (6)$$

Donde:

A= Área

b= base

h= altura

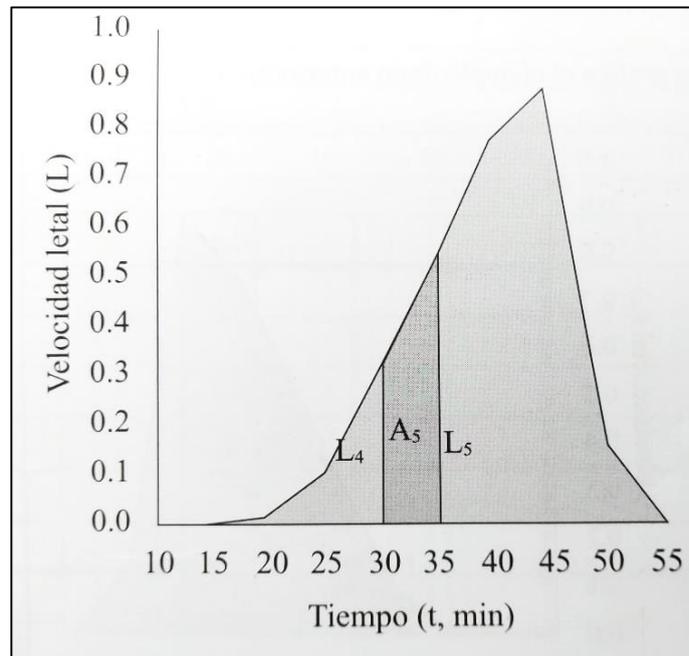


Figura 4: Gráfica de Velocidad Letal en función del tiempo (Método de Patashnick).

FUENTE: Tomado de Elías *et al.* 2014

Elías *et al.* (2014) mencionan que según el gráfico, el área parcial «A5» sería:

$$A_5 = (\Delta t)(L_4 + L_5)/2 \quad (6)$$

Elías *et al.* (2014) exponen que está arreglada de modo que sea fácil calcular los valores de Fo mientras la autoclave ésta funcionando. Esto hace posible apagar la llave de vapor del proceso cuando se calcula alcanzar el Fo deseado. Es el método usado en los cálculos

computacionales. El F_0 se determina con el proceso de calentamiento más el proceso de enfriamiento.

b. Métodos Matemáticos

Consiste en utilizar los parámetros de penetración de calor para diseñar o evaluar un proceso. El diseño implica determinar el tiempo que se necesita para alcanzar cierta letalidad. La evaluación incluye determinar la letalidad alcanzada por el proceso. El problema con el método general, mencionado antes, es que para cada nueva situación se necesitan datos experimentales. Si se utiliza una autoclave nueva, cambia la temperatura inicial del producto o bien cambia el tamaño de la lata, se necesita una nueva serie de datos experimentales (Sharma 2003).

- Método de Ball

Ball ha propuesto una fórmula para calcular la letalidad en una nueva situación utilizando los valores de « f » (velocidad de penetración de calor durante el calentamiento y enfriamiento) y « j » (tiempo que transcurre antes que la velocidad de penetración de calor alcance f), obtenidos experimentalmente para un producto en particular. Este método implica utilizar la misma serie de valores f y j , los cuales pueden utilizarse con distintas temperaturas iniciales y temperaturas del medio de calentamiento sin necesidad de experimentación adicional. Además, se cuenta con fórmulas para convertir valores f a fin de que se ajusten a diferentes tamaños de lata (Sharma 2003).

Ball propuso la siguiente simplificación: la curva de temperatura de la autoclave empieza a ascender el tiempo cero hasta el tiempo en que se alcanza la temperatura de procesamiento, como se representa en la figura 5 (a). Durante este tiempo t_c «de levante», la velocidad letal está cambiando constantemente. Ball propuso reemplazar esta curva por otra que permanece a la temperatura inicial durante 58 por ciento del tiempo de levante, luego cambia instantáneamente a la temperatura de procesamiento total, como se indica en la figura 5 (b). La experiencia demuestra que esta simplificación da resultados confiables (Sharma 2003).

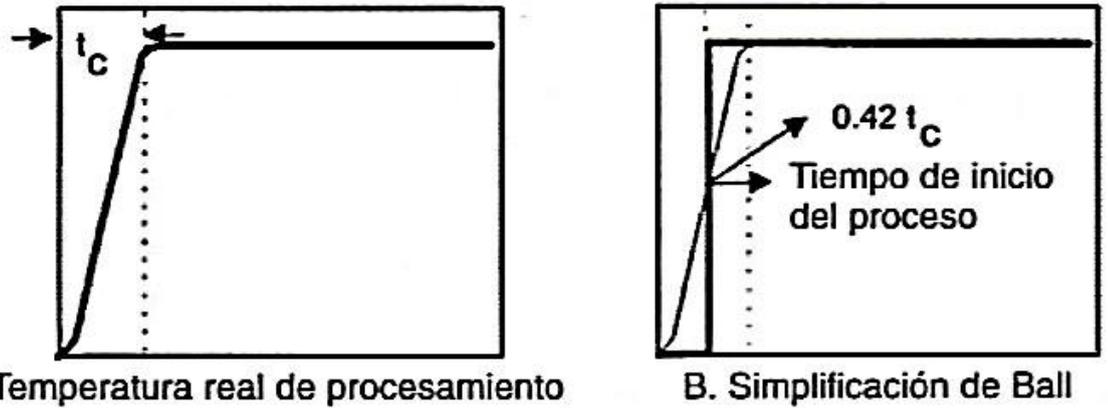


Figura 5: El tiempo de levante del proceso y tiempo de Ball.

FUENTE: Tomado de Sharma 2003

En el método de Ball se definen los términos que aparecen en la figura 6:

- t_c = tiempo de levante: tiempo que se requiere para que la cámara de la autoclave alcance la temperatura de procesamiento.
- t_p = tiempo de procesamiento: tiempo durante el cual la autoclave mantiene la temperatura de procesamiento.
- t_h = tiempo total de calentamiento = $t_c + t_p$.
- t_B = tiempo de *procesamiento* de Ball es decir $t_B = 0,42t_c + t_p$.

Sharma (2003) menciona que en el método de la fórmula de Ball, se hace la suposición de que la autoclave se halla a la temperatura de procesamiento durante todo el procesamiento de Ball, pero que no hay ningún tratamiento térmico antes de que comience el procesamiento de Ball.

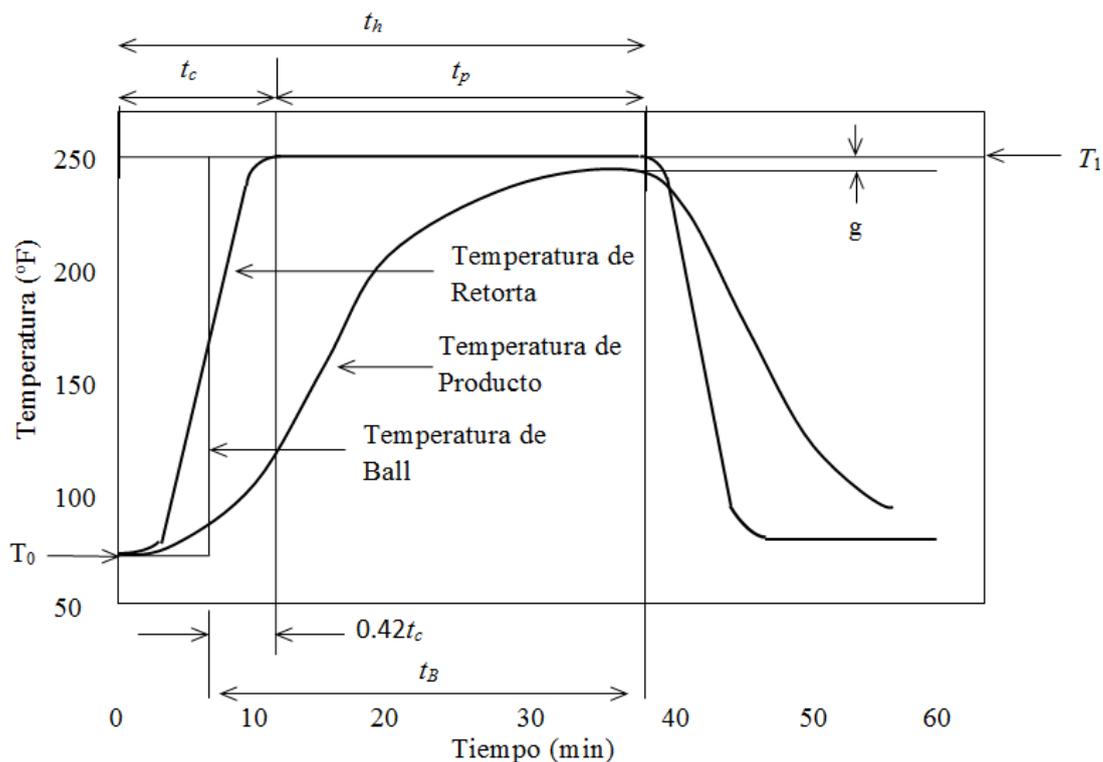


Figura 6: Términos usados en el cálculo del tiempo de Ball.

FUENTE: Tomado de Sharma 2003

2.2 ESPÁRRAGO

El espárrago pertenece a la especie *Asparagus officinalis* L. Es una planta de la familia de las Liliaceas, originaria de la flora de las regiones de la Cuenca del Mediterráneo, cuya parte comestible son los tallos jóvenes, carnosos y tiernos, llamados turiones. Aunque es perenne, su fase de aprovechamiento comercial es de 10 a 15 años (Fuentes 2009).

De acuerdo a Fuentes (2009), la planta del espárrago está formada por los tallos aéreos ramificados y una parte subterránea constituida por raíces y yemas, que es lo que se denomina comúnmente «garra» o zarpa. El sistema radical del espárrago es muy potente. Las raíces principales son cilíndricas, gruesas y carnosas, y tienen la facultad de acumular reservas que permiten su próxima producción de turiones. De estas raíces principales nacen las raicillas o pelos absorbentes que son las encargadas de absorber el agua y las sales minerales.

El tallo está formado por un disco o cepa, sobre el que se forman las yemas que darán lugar a los turiones o espárragos, que es la parte comestible y comercializable de este producto (Fuentes 2009).

La corona de la planta es una rizoma o tallo modificado subterráneo, el cual posee yemas que al desarrollarse forman los tallos aéreos (Moreira y González 2002).

Según (Moreira y González (2002), del rizoma se diferencian dos tipos de raíces: las de almacenamiento, que son gruesas y carnosas, y las de absorción de agua y nutrimentos, que son delgadas y fibrosas, Este sistema subterráneo se denomina corona o garra y puede alcanzar grandes dimensiones (figura 7).

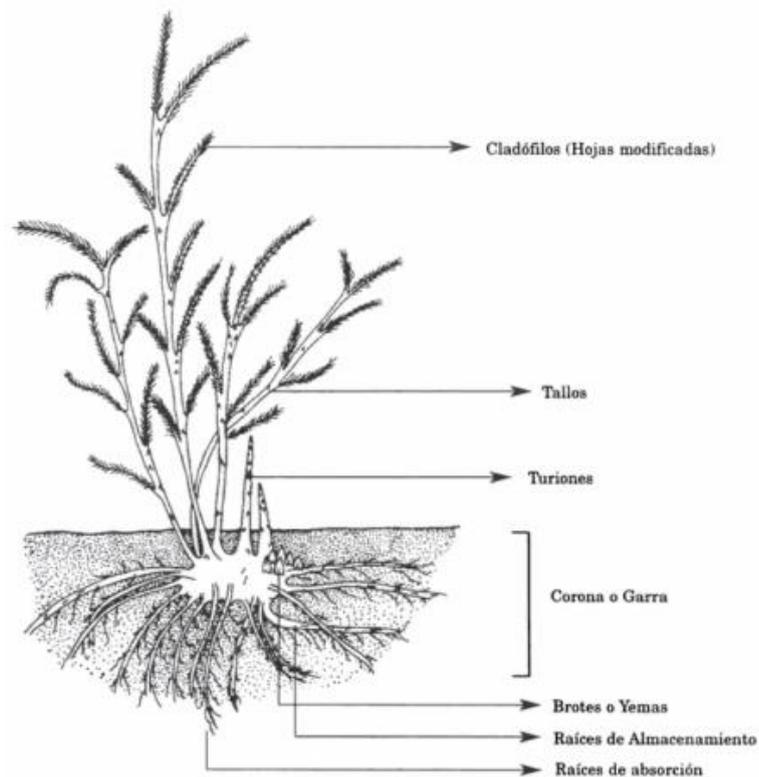


Figura 7: Morfología general de la planta de espárrago.

FUENTE: Tomado de Moreira y González 2002

Los cladófilos u hojas modificadas, similares a agujas realizan la fotosíntesis y producen los carbohidratos que se almacenan en las raíces carnosas. Después de que el follaje llega a su madurez fisiológica, los cladófilos se tornan de un color dorado, para luego secarse, producto de la senescencia parcial de la planta. Esto indica, que la planta ha almacenado suficientes

carbohidratos en el rizoma y las raíces carnosas; los rizomas presentan múltiples yemas maduras y la planta está en condiciones de ser estimulada a producir turiones, que son la parte comestible (Moreira y González 2002).

El estímulo consiste en cortar la parte aérea, lo que trae como consecuencia, la traslocación de las reservas de las raíces carnosas hacia los brotes o yemas. Las yemas comienzan a desarrollar tallos, que antes de abrirse y formar sus cladófilos, constituyen los turiones o espárragos propiamente dichos que es la parte utilizable (Moreira y González 2002).

2.2.1 TIPOS DE ESPÁRRAGOS

El espárrago se divide en dos grupos principales: el espárrago verde y el espárrago blanco.

De acuerdo a Fuentes (2009), desde el punto de vista botánico, el espárrago blanco y verde constituyen la misma planta. La diferencia entre uno y otro surge de la forma en que ha crecido el brote. Mientras los brotes jóvenes de los espárragos están creciendo dentro de la tierra, son de color blanquecino, pero cuando emergen del suelo y se exponen a la luz, adquieren una coloración verde debido a que la misma activa la función clorofílica.

El espárrago blanco, por tanto, se recolecta tan pronto como emerge de la tierra, mientras que los verdes se espera a cortarlos cuando alcanzan una altura sobre el suelo de unos 20 cm (Fuentes 2009).

La cosecha se realiza de manera que se aprovechen, en forma eficiente, los carbohidratos acumulados durante la fase de follaje anterior. El ciclo de cultivo es de ocho a doce años si se mantiene un adecuado balance entre el periodo de follaje y el de la cosecha; mientras que, si se sobrecosecha en varios ciclos sucesivos, puede inducirse el agotamiento temprano de la corona (Moreira y González 2002).

Desde el punto de vista agrícola, el espárrago verde tiene una mejor adaptación a diferentes tipos de suelos y condiciones geográficas, es más fácil su mecanización, son necesarias menos labores de cultivo y sus costos de producción son menores, existiendo una menor exigencia de mano de obra y una mayor elasticidad en las fechas de la recolección (Fuentes 2009).

Las características organolépticas y los usos culinarios de cada tipo de espárrago son diferentes. El verde se caracteriza por tener mayor valor nutritivo, textura carnosa y firme, aroma más intenso y sabor ligeramente más dulce, mientras el blanco tiene un mayor contenido en azúcares y más fibra (Fuentes 2009).

Para Fuentes (2009), ambos tipos de espárragos son cultivados a nivel mundial, aunque tradicionalmente el tipo blanco se ha cultivado en China y Europa, mientras que el tipo verde en Estados Unidos y, dentro de Europa, el sur de la Península Ibérica.

En España y otros países mediterráneos se consumen también otro tipo, los espárragos silvestres (espárragos trigueros) que proceden de diferentes especies de plantas del género *Asparagus*. Entre ellas, además de la especie anteriormente citada *Asparagus officinalis* L., nos encontramos: *A. acutifolius* L., *A. albus* L., *A. aphyllus* L., *A. maritimus* L. y *A. horridus* L. Estas especies forman parte de la vegetación silvestre de regiones mediterráneas como la andaluza. Los espárragos trigueros son muy apreciados en Andalucía, hasta el punto que ya forman parte de la tradición gastronómica regional. Se diferencian de los espárragos verdes cultivados en que los espárragos trigueros son más delgados, presentan púas o espolones debajo de las escamas, los tallos tienen colores más oscuros (bronce y morado), y a nivel organoléptico se caracterizan por un sabor más amargo, un fuerte aroma y una textura flexible y carnosa (Fuentes 2009).

2.2.2 PROCESO DE CONSERVA DE ESPÁRRAGOS

A continuación se detalla el proceso de elaboración de espárragos en conserva (Recursos Integrados S.A.C. 2014).

a. Recepción de materia prima e insumos

El Espárrago es recibido y descargado en la zona de recepción de la planta. En esta etapa, se debe comprobar la procedencia del espárrago, con la finalidad de asegurar que el producto provenga de campos certificados «Global Gap», comprobado esto, se inspecciona la higiene del transporte y el buen estado del producto recepcionado.

b. Pesado

El espárrago, durante la descarga, es dispuesto sobre parihuelas, y transportados a la balanza de plataforma de recepción donde se calcula el peso neto del producto ingresado a planta.

c. Lavado manual

EL espárrago que proviene de los campos de cultivo es sumergido en jabas con los espárragos, en una tina de acero inoxidable, que contiene agua clorada entre 50 y 100 ppm.

d. Almacenamiento en refrigeración

En esta etapa la materia prima es almacenada en refrigeración a temperaturas de 6 a 12 °C. Esta etapa puede ser opcional. Si el proceso es rápido, la materia prima podrá pasar directamente al proceso.

e. Desinfección

Esta operación se realiza con un equipo de lavado continuo, que consta de dos etapas. En la primera etapa, por inmersión, el producto es llevado por la faja, a través de la tina que contiene agua clorada entre 20 y 50 ppm, y en la segunda etapa, la faja transportadora, la materia prima es lavado por sistema de duchas de agua a presión, con una concentración de cloro entre 1 y 3 ppm.

f. Corte

El corte se realiza de forma manual de acuerdo a la medida solicitada por el cliente, igualmente el producto es clasificado acorde a la medida de diámetro que presenta luego estos serán acumulados en jabas.

g. Escaldado

La jaba de producto cortado es sometida a un tratamiento térmico de inmersión en la tina de escaldado a una temperatura de 80 a 85 °C a un tiempo determinado. En el cuadro 2 se aprecia el tiempo requerido para cada rango de diámetro que presenta la jaba de espárrago.

El tiempo de escaldado variará en función del tipo de espárrago (blanco o verde).

Cuadro 2: Parámetros de escaldado de espárragos verdes

DIÁMETROS (MM)	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO
4 -7	85 – 90	15 segundos
8 – 9	85 – 90	30 segundos
10 – 13	85 – 90	40 segundos
14 – 16	85 – 90	1 minuto 20 segundos
17 – 20	85 – 90	1 minuto 40 segundos
†20	85 – 90	2 minutos

FUENTE: Tomado de Recursos Integrados S.A.C 2017

h. Enfriado

Inmediatamente, luego del escaldado, las jabas con el espárrago, es sumergido en una tina de agua fría, en esta operación se busca detener la cocción del producto y la posible proliferación de microorganismos termófilos. El agua de enfriado presenta una concentración de 1 a 3 ppm de Cloro Libre Residual (CLR).

i. Envasado

El envasado se realiza en forma manual en envases de vidrio u hojalata. Se acomoda los turiones de espárrago, dentro de los envases previamente lavados para luego pasar a la faja transportadora, que los lleva a la etapa de pesado.

j. Pesado

Es esta etapa, con el uso de una balanza se verifica el peso escurrido del producto que debe contener el envasado. El encargado de pesado, ajusta el peso del envase de ser necesario.

k. Adición de líquido de gobierno

En esta etapa se realiza la adición de líquido de cobertura a los diferentes formatos. El líquido de gobierno es una salmuera que tiene sal de concentración comprendida entre 1 a 3 por ciento y ácido cítrico entre 0,05 - 0,1 por ciento. La temperatura del líquido de gobierno es 85 °C.

l. *Exhausting* (inyección de vapor)

Los envases son ingresados al exhauster que se encuentra a una temperatura de 85 - 90°C.

El objetivo de esta etapa es desalojar el aire presente en la superficie del envase para generar posteriormente el vacío.

m. Cerrado

En esta operación se genera un sellado hermético en los envases para garantizar la inocuidad del producto y mantener la esterilidad comercial. El cerrado de envases de vidrio se realiza de manera manual, y para el caso de envases de hojalata se realiza con máquinas semiautomáticas.

n. Enjaule

El enjaule consiste en colocar los envases cerrados en jaulas cilíndricas. El tiempo máximo de espera de los envases sellados en esta zona antes de ser esterilizado no puede ser exceder a los 90 minutos.

o. Tratamiento Térmico

En el tratamiento térmico se da la aplicación homogénea de calor a los envases sellados durante un tiempo y temperatura en la autoclave. La aplicación del tiempo y temperatura del tratamiento térmico son calculados en función a estudios de distribución y penetración de calor.

Los parámetros de esterilización se han considerado en base a la destrucción del *Clostridium botulinum* con el objeto de eliminar toda carga microbiana patógena. Para establecer los parámetros de tratamientos térmicos se ha realizado un estudio de distribución de calor para determinar el punto más frío dentro de la autoclave seguida de pruebas de penetración de calor que garantice un $F_0 > 3,0$. Mediante análisis microbiológico se comprueba la efectividad del proceso.

El tratamiento térmico se realiza en autoclaves verticales con vapor saturado o inundación de funcionamiento semiautomático. Las autoclaves están provistas de instrumentos de medición necesarios como son: termómetros, manómetros y termoregistradores.

El proceso térmico concluye con un enfriamiento rápido con agua clorada de 1-3 ppm.

p. Enfriado

Culminado el tratamiento térmico, las jaulas se dejan enfriar, esto se realiza, colocando las jaulas en reposo a temperatura ambiente, hasta que los envases sellados estén a una temperatura ambiente.

q. Secado y codificado

Posteriormente los envases se secan y codifican. El codificado se realiza, con un equipo de inyección de tinta. Todos los lotes de producción son correctamente codificados para llevar una adecuada trazabilidad del producto.

r. Revisión visual

Luego del codificado, los envases, son transportados por la faja del equipo de codificador, hacia la zona de almacén para ser revisados. La revisión consiste, en una verificación visual del envase para asegurar que los envases no presenten ningún defecto de calidad e inocuidad.

s. Paletizado

Los envases son acomodados en pallets de forma ordenada. Si los lotes codificados están listos para su etiquetado será enviado a la zona de etiquetado en caso contrario pasan al almacén de productos terminados.

t. Etiquetado y encajado

A los envases codificados se colocan las etiquetas correspondientes a la marca solicitada. Los envases una vez etiquetados pueden ser empacados en cajas; bandejas o paquetes plastificados de acuerdo con los requerimientos de los clientes. Las conservas ya etiquetadas y/o paletizadas son enviadas al área de almacenaje hasta su posterior expedición.

u. Almacenamiento

Consiste en el almacenamiento adecuado de los envases etiquetados y encajados en condiciones higiénicas y seguras (bajo sombra y a una temperatura que no exceda los 30 °C).

v. Despacho

Consiste en el embarque del producto correctamente identificado y embalado, en contenedores en perfecto estado. Los productos deben llegar al consumidor final en perfectas condiciones.

III. DESARROLLO DEL TEMA

3.1 LUGAR DE REALIZACIÓN

El presente trabajo se llevó a cabo en las instalaciones de la empresa «Recursos Integrados S.A.C.», ubicado en Calle Las Mimosas N° 121-Urbanización La Capitana Santa María de Huachipa, distrito de Lurigancho.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 MATERIA PRIMA E INSUMOS

- Ácido Cítrico
- Agua
- Espárrago verde fresco (calibre de 9 mm -12 mm)
- Sal

3.2.2 MATERIALES Y EQUIPOS

a. Materiales

- Cuchillos de acero inoxidable
- Latas 15 oz *picnic* marca FADESA
- Mesas de acero inoxidable
- Tablas de Picar

b. Equipos

- Autoclave vertical (cuadro 3)
- Balanza
- Monitoreadores inalámbricos de temperatura DataTrace
- *Software* DataTrace Pro®

Cuadro 3: Características de la autoclave utilizada

Fabricante	N.A.
Longitud	2,15 m
Diámetro	94 cm
Nº canastillas	3
Medio de calentamiento	Vapor
Medio de enfriado	Agua
Termómetro de Mercurio	Marca TAYLOR USA. Rango: 70 a 160 °C
Manómetro	Marca ASHCROFT 1850 USA. Rango 0 a 60 psi
Termo-registrador	ABB COMMANDER 1900
Regulador Automático de Vapor	N.A.
Válvula reguladora	Válvula de Pistón

3.2.3 METODOLOGÍA

A continuación se detalla la metodología utilizada en este trabajo.

a. Preparación de la muestra de espárrago enlatado 15 oz

- Se corta los espárragos a una longitud de 13,5 cm
- Se realiza el escaldo del espárrago en agua por un tiempo de 35 segundos en a temperatura de 90 °C.
- Se envasa con un peso escurrido de 220 g en la lata de 15 oz *picnic*.

b. Preparación del líquido de gobierno

- Se prepara una solución de salmuera al 1,3 por ciento de sal y al 0,04 por ciento de ácido cítrico.

c. Preparación de los sensores

- Se selecciona dos sensores *Trace* y realizar la programación.
- Se introduce un sensor trace dentro del centro geométrico del producto a evaluar (el

punto más frío) dentro del envase. Luego añadir el líquido de gobierno y realizar el sellado del envase.

- Colocar el envase en la canastilla de la autoclave. Esta muestra se ubica en la zona más fría de la autoclave.
- Se coloca un monitoreador (sensor) de temperatura adicional cerca del termómetro de mercurio de la autoclave para obtener la temperatura de retorta.
- Ingresar las canastillas a la autoclave.
- Se obtiene los resultados.

d. Programación del tratamiento térmico

- Se realiza según lo indicado en el cuadro 4.

Cuadro 4: Parámetros utilizados para el Tratamiento Térmico

CARACTERÍSTICAS	CONSERVA DE ESPÁRRAGO EN SALMUERA
Temperatura Programada	118 °C
Tiempo Programado	34 minutos
Tiempo de Levante	13 minutos
Tiempo de Procesamiento	12 minutos
Tiempo de Enfriado	9 minutos

e. Cálculo de la letalidad

- Se realiza el cálculo de la Letalidad (Fo) por el Método General.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.3.1 DETERMINACIÓN DE PERFIL DE LA TEMPERATURAS DEL PUNTO MÁS FRÍO DE LA CONSERVA DE ESPÁRRAGO Y TEMPERATURA DE RETORTA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

El producto utilizado para el cálculo de la letalidad (Fo) es espárrago verde entero en salmuera enlatado. Para obtener la letalidad; primeramente, se monitorea la temperatura del producto (en el punto más frío: pmf) y la temperatura de retorta en función del tiempo.

En el cuadro 5 se aprecia el resultado obtenido de la temperatura del producto (en el punto más frío) y la temperatura de retorta del tratamiento térmico del espárrago enlatado.

Cuadro 5: Datos de temperatura obtenidos de la lectura del *Data Trace*

HORA	T (MIN)	TEMPERATURA EN EL PUNTO MÁS FRÍO (°C)	TEMPERATURA RETORTA (°C)
12:20	0	35,80	33,6
12:21	1	35,80	33,9
12:22	2	35,80	34,2
12:23	3	35,80	36,9
12:24	4	36,10	39,2
12:25	5	36,50	44,1
12:26	6	37,30	50,2
12:27	7	38,50	65,7
12:28	8	43,10	95,9
12:29	9	49,60	110,9
12:30	10	74,90	114,6
12:31	11	86,30	116,8
12:32	12	91,90	117,5
12:33	13	97,40	118,1
12:34	14	102,90	118,2
12:35	15	107,60	118,2
12:36	16	110,10	118,2
12:37	17	111,80	118,5
12:38	18	113,40	118,5
12:39	19	114,40	118,5
12:40	20	115,90	118,5
12:41	21	116,90	118,3
12:42	22	117,60	118,3
12:43	23	117,80	118,3

«continuación»

12:44	24	118,10	118,3
12:45	25	118,30	118,3
12:46	26	106,30	101
12:47	27	85,50	76,4
12:48	28	78,30	56,2
12:49	29	62,40	40,9
12:50	30	54,20	34,2
12:51	31	41,30	30,1
12:52	32	38,70	29,8
12:53	33	35,20	27,8
12:54	34	33,10	25

Un resumen de los datos de operación de la autoclave se puede observar en el cuadro 6.

Cuadro 6: Tiempos utilizados para el Tratamiento Térmico

ETAPA	HORA/TIEMPO
Temperatura Promedio	118 °C
Tiempo Programado	35 minutos
Calentamiento – Inicio	12:20
Procesamiento- Inicio	12:33
Enfriamiento – Inicio	12:45
Enfriamiento -Final	12:54
Tiempo de Calentamiento	13 minutos
Tiempo de Procesamiento	13 minutos
Tiempo de Enfriamiento	9 minutos

El cuadro 6 se obtuvo de los datos de temperatura de retorta en función del tiempo. Se observa que el tratamiento térmico duró 35 minutos donde 13 minutos corresponde al calentamiento; 13 minutos al proceso y 9 minutos al enfriamiento.

Se trazaron los datos obtenidos en la prueba, los cuales se pueden ver en la figura 8. Se observan la curva de calentamiento de la autoclave y la curva de calentamiento del enlatado.

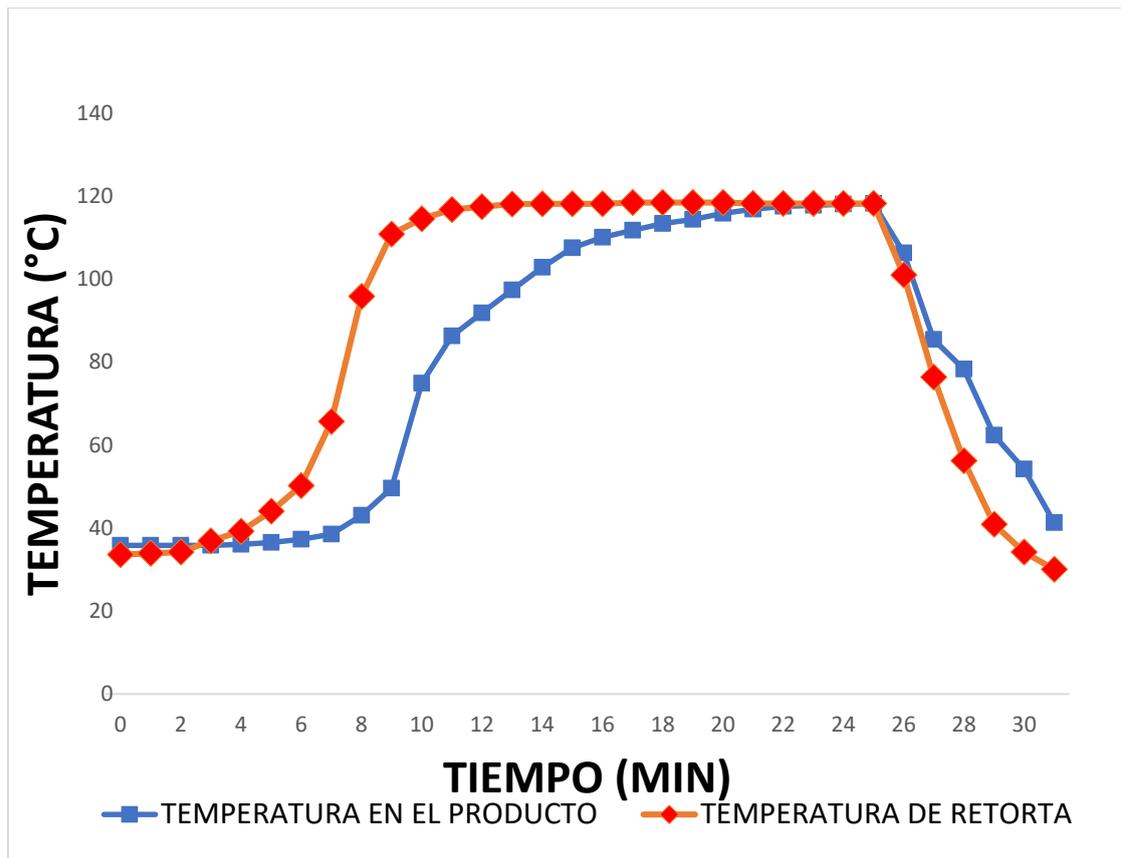


Figura 8: Perfiles de la temperatura de la retorta y temperatura del producto en el punto más frío en enlatado de espárragos en función del tiempo.

En la figura 8 se observa el comportamiento de las temperaturas de retorta (línea roja) y el comportamiento de la temperatura de producto (línea azul) con respecto al tiempo, en la cual se observa que la temperatura de retorta llega a los 118 °C a los 13 min de comenzado el tratamiento térmico de calentamiento. Luego en la etapa de proceso térmico se realiza en 13 min conservando una temperatura promedio de 118 °C para luego realizar el enfriamiento a 9 minutos llegando a obtener una temperatura del producto de 33,1 °C

3.3.2 DETERMINACIÓN DE LA LETALIDAD UTILIZANDO EL MÉTODO GENERAL

Para el cálculo de la Letalidad (F_0) por el Método General solo es necesario la temperatura en el punto más frío del envase y no la temperatura de retorta.

La letalidad (F_0) se halla por las sumas de las áreas parciales bajo la curva de la gráfica de velocidad letal (L) en función del tiempo (t).

Para el presente trabajo el cálculo de la suma de las áreas parciales se realiza por el Método de Patashnick (Método del Trapecio).

Lewis (1993) menciona que el más peligroso de los organismos que toxifican el alimento es *Clostridium botulinum*, cuyas esporas son muy resistentes al calor y producen una toxina muy potente en alimentos enlatados. Por tal motivo el microorganismo *Clostridium botulinum* es la referencia para los cálculos de letalidad.

Elías *et al.* (2014) explican que el valor «Z» proporciona información sobre la resistencia relativa a la destrucción de un microorganismo y es específico para cada microorganismo. Para el caso del *Clostridium botulinum*, el valor Z es 10 °C o 18 °F. Por lo tanto, para calcular los resultados utilizamos como referencia la inactivación del *Clostridium botulinum* después del tratamiento térmico, siendo su Z = 10 °C y temperatura de referencia de la destrucción de esporas de *Clostridium botulinum* es de 121,1 °C.

Se utiliza las ecuaciones 7, 8 y 9 para el cálculo de la letalidad.

$$F = \Delta t = tiempo_{final} - tiempo_{inicial} \quad (7)$$

$$L = 10^{\left(\frac{1}{Z}\right)(T-121,1)} \quad (8)$$

$$Fo = F\left(\frac{L_1 + L_2}{2}\right) \quad (9)$$

Donde:

F: variación de tiempo

L: Velocidad letal

Z: Resistencia térmica del *Clostridium botulinum*

T: Temperatura del producto en el punto más frío

t: tiempo

Fo: Letalidad

Luego de realizar el procesamiento de la data del cuadro 7 se obtiene el cuadro 5 con los valores del Fo parciales.

Cuadro 7: Resultados del cálculo obtenido por el Método de General

T (MIN)	F (ΔT)	T (°C)	TEMPERATURA RETORTA	L	Fo	Fo ACUMULADO
0		35,80	33,6	0,0		
1	1,00	35,80	33,9	0,0	0,0	0,0
2	1,00	35,80	34,2	0,0	0,0	0,0
3	1,00	35,80	36,9	0,0	0,0	0,0
4	1,00	36,10	39,2	0,0	0,0	0,0
5	1,00	36,50	44,1	0,0	0,0	0,0
6	1,00	37,30	50,2	0,0	0,0	0,0
7	1,00	38,50	65,7	0,0	0,0	0,0
8	1,00	43,10	95,9	0,0	0,0	0,0
9	1,00	49,60	110,9	0,0	0,0	0,0
10	1,00	74,90	114,6	0,0	0,0	0,0
11	1,00	86,30	116,8	0,0	0,0	0,0
12	1,00	91,90	117,5	0,0	0,0	0,0
13	1,00	97,40	118,1	0,0	0,0	0,0
14	1,00	102,90	118,2	0,0	0,0	0,0
15	1,00	107,60	118,2	0,0	0,0	0,0
16	1,00	110,10	118,2	0,1	0,1	0,1
17	1,00	111,80	118,5	0,1	0,1	0,2
18	1,00	113,40	118,5	0,2	0,1	0,3
19	1,00	114,40	118,5	0,2	0,2	0,5
20	1,00	115,90	118,5	0,3	0,3	0,8
21	1,00	116,90	118,3	0,4	0,3	1,1
22	1,00	117,60	118,3	0,4	0,4	1,6
23	1,00	117,80	118,3	0,5	0,5	2,0
24	1,00	118,10	118,3	0,5	0,5	2,5
25	1,00	118,30	118,3	0,5	0,5	3,0
26	1,00	106,30	101	0,0	0,3	3,3
27	1,00	85,50	76,4	0,0	0,0	3,3
28	1,00	78,30	56,2	0,0	0,0	3,3

«continuación»

29	1,00	62,40	40,9	0,0	0,0	3,3
30	1,00	54,20	34,2	0,0	0,0	3,3
31	1,00	41,30	30,1	0,0	0,0	3,3
32	1,00	38,70	29,8	0,0	0,0	3,3
33	1,00	35,20	27,8	0,0	0,0	3,3
34	1,00	33,10	25	0,0	0,0	3,3
					Fo TOTAL	3,3

Como se menciona en el cuadro 1 en la bibliografía, la letalidad del tratamiento térmico del espárrago se encuentra entre 2 a 4. En los resultados obtenidos de la letalidad en la conserva de espárragos está en 3,3.

En la figura 9 se puede observar la curva de la velocidad letal en función del tiempo en el cual el área bajo la curva determina la letalidad del producto, esto se halla bajo las sumas parciales obtenidas por el método Patashnick, el cual evidencia un Fo de 3,3. Además, se puede evidenciar letalidad de calentamiento que va desde el tiempo 12 al 25 y una letalidad de enfriamiento que va desde el tiempo 25 al tiempo 27. La letalidad total viene a ser la suma de la letalidad de calentamiento más la letalidad de enfriamiento siendo este de 3,3.

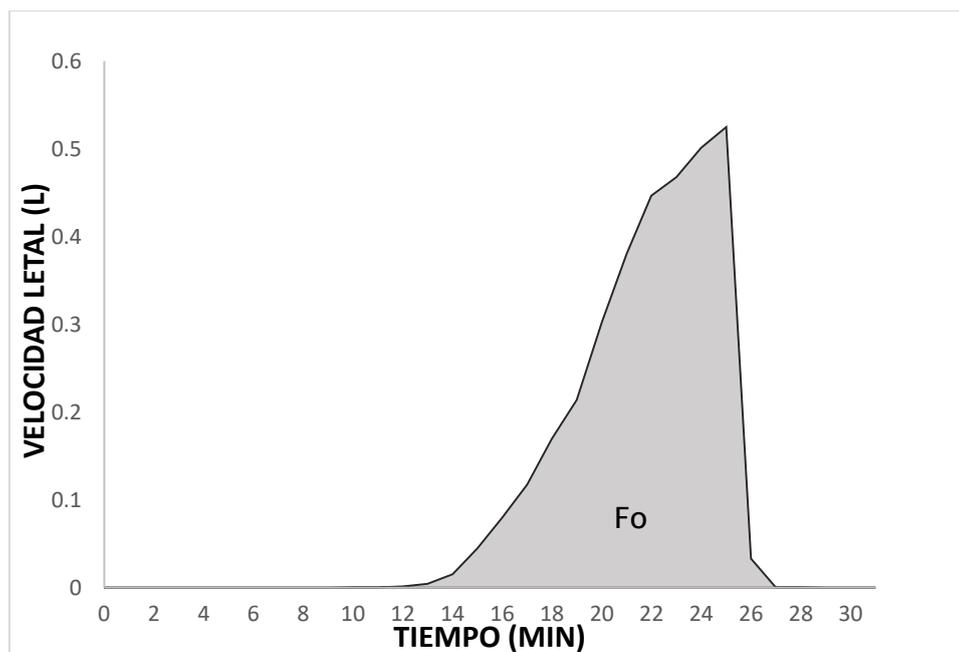


Figura 9: Velocidad Letal en función del tiempo.

En la figura 10 se observa que durante los primeros minutos (hasta el minuto 12) el F_0 acumulado permanece constante cercano al 0; y a partir del minuto 13 existe un aumento hasta el tiempo 25 donde el F_0 acumulado llega al valor de 3,3; y luego se mantiene constante hasta el término del tratamiento térmico.

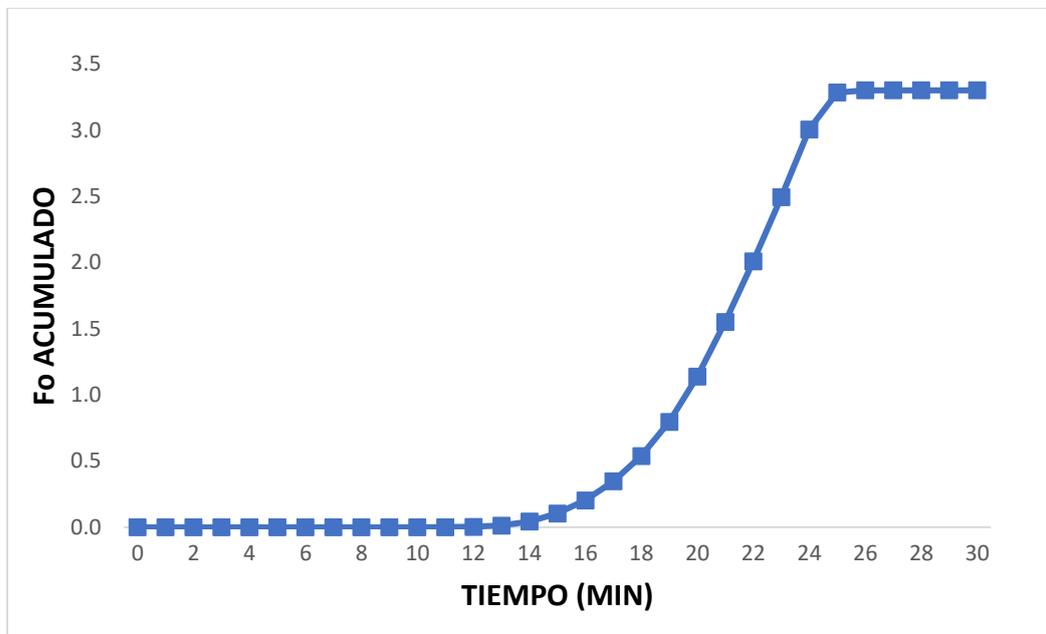


Figura 10: Gráfica de F_0 Acumulado en función del tiempo.

En la figura 11, se abre el enlatado de la conserva de espárrago y se aprecia el resultado después del tratamiento térmico. Se aprecia una textura firme el cual evidencia que el tiempo y la temperatura fueron los adecuados y con la esterilidad comercial y acorde a la textura deseada.



Figura 11: Conserva de espárrago enlatado.

IV. CONCLUSIONES

- El Fo hallado por el Método General fue de 3,3 en el espárrago en conserva.
- Con los parámetros de 118 °C a 13 minutos se obtuvo un Fo de 3,3 en el espárrago en conserva.
- Con valor de Fo de 3,3 se obtiene una textura firme en la conserva de espárrago.

V. RECOMENDACIONES

- Se recomienda siempre realizar pruebas de penetración de calor para obtener los valores adecuados de tiempo y temperatura en el proceso de conservas de espárrago.
- Se recomienda realizar pruebas de distribución de calor en las autoclaves para verificar la distribución térmica uniforme dentro de la autoclave.
- Se recomienda tener en consideración la temperatura inicial con la que ingresa la conserva al proceso de esterilización. A temperaturas menores no se podría conseguir la letalidad deseada.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bedolla, S; Dueñas, C; Esquivel, I; Favela, T; Guerrero, R; Mendoza, E; Navarrete, A; Olguín, L; Ortiz, J; Pacheco, O; Quiroz, M; Ramírez, A; Trujillo, M. 2004. Introducción a la tecnología de alimentos. 2 ed. Ciudad de México, México, Limusa.
- Casp, A; Abril, J. 1999. Procesos de conservación de alimentos. Madrid, España, Mundi-Prensa.
- Elías, C; García, M; Morales, E. 2014. Manual de tratamiento térmico de alimentos. 1 ed. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Fellows, P. 1994. Tecnología del procesado de los Alimentos; principios y prácticas. Zaragoza, España, Acribia.
- Fuentes, JM. 2009. Caracterización de componentes bioactivos del espárrago verde: Obtención de ingredientes funcionales a partir de los subproductos generados durante su transformación industrial. Tesis Ph.D. España, Universidad de Córdoba. Consultado 25 set. 2017. Disponible en <https://helvia.uco.es/handle/10396/2756>.
- Gutiérrez, J. 2000. Ciencia bromatológica-principios generales de los alimentos. Madrid, España, Díaz de Santos.
- Hernández, M; Sastre, A. 1999. Tratado de nutrición. Madrid, España, Díaz de Santos.
- Lewis, J. 1993. Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas procesados. Zaragoza, España, Acribia.

- Moreira, MA; González, W. 2002. Manejo agronómico y análisis económico del cultivo de espárrago para condiciones tropicales. 1 ed. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica.
- Orrego, C. 2003. Procesamiento de alimentos. 1 ed. Manizales, Colombia, Universidad Nacional de Colombia.
- Recursos Integrados S.A.C., Perú. 2014. Manual de producción y control de procesos (memoria USB). Vers. 1. Lima, Perú. 1 memoria USB.
- Recursos Integrados S.A.C., Perú. 2017. Manual HACCP de conserva de espárragos (memoria USB). Vers. 1. Lima, Perú. 1 memoria USB.
- Rees, JAG; Bettison, J. 1994. Procesado térmico y envasado de alimentos. Zaragoza, España, Acribia.
- Sharma, SK. 2003. Ingeniería de alimentos: operaciones unitarias y prácticas de laboratorio. 1 ed. Ciudad de México, México, Limusa.
- Stumbo, CR. 1973. Thermobacteriology in food processing. 2 ed. Nueva York, Estados Unidos, Academic Press.
- Toledo, RT. 1999. Fundamentals of food process engineering. 2 ed. Maryland, Estados Unidos, Aspen Publishers.