# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

"Estudio de Penetración de Calor en Proceso de Esterilización Continuo en la Elaboración de Frejol Cajanus Cajan Enlatado"

## INFORME DE TRABAJO PROFESIONAL

Previo la obtención del Título de:

## INGENIERO DE ALIMENTOS

Presentado por:

Andrés Leonardo Alcívar Dueñas

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2012

# AGRADECIMIENTO

A la Ing. Priscila Castillo, por su dedicación y ayuda invaluable.

A mi esposa que dio su apoyo incondicional a la realización de este Informe.

# DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MI ESPOSA

A MIS HIJOS

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Gustavo Guerrero M.
DECANO DE LA FIMCP

Ing. Priscila Castillo S.
DIRECTORA

Dr. Alfredo Barriga R.
VOCAL

# DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este Informe de Trabajo Profesional, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

_____

Andrés Leonardo Alcívar Dueñas

# RESUMEN

La tecnología de esterilizado de envases de hojalata en esterilizadores presurizados, ha experimentado una constante evolución buscando reducir el tiempo de proceso, para disminuir la destrucción de los nutrientes y mantener las características del alimento fresco. Las nuevas tecnologías usan esterilizadores con agitación, mejorando la transferencia de calor.

En el país, se realizaba el proceso de esterilización en esterilizadores estacionarios discontinuos, en la actualidad hay un esterilizador continuo rotatorio en el cual se está procesando frejol enlatado en salmuera. Por lo tanto, surge la necesidad de establecer los parámetros de operación del nuevo proceso.

En el presente informe se realizó el estudio para determinar datos de tiempo y temperatura del nuevo proceso. Se determinó los factores críticos que afectan a la penetración de calor y el microorganismo indicador que se utilizó para el diseño del nuevo proceso.

Se calculó el $F_0$ objetivo, que es el número que indica la eficiencia del proceso térmico o letalidad, para frejol enlatado en salmuera en envases de 15 onzas en un esterilizador continuo.

Se definió los parámetros de tiempo y temperatura de operación del nuevo proceso de esterilización y se calculó el $F_0$. El proceso de esterilizado estacionario tradicional dura 45 minutos a 120°C y se obtiene un $F_0$ de 7,2. El nuevo proceso dura 12 minutos a 121°C y se obtiene un $F_0$ de 7,2, el proceso propuesto tiene menos tiempo con el mismo nivel de letalidad.

A través de pruebas sensoriales con un panel de degustación con jueces entrenados, se evaluó la calidad organoléptica de los dos productos. Se comprobó que si hay diferencias significativas de los dos procesos con nivel de aceptación del 67% del producto realizado en un esterilizador continuo.

# ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN ..... II

ÍNDICE GENERAL ..... IV

ABREVIATURAS ..... VI

ÍNDICE DE FIGURAS ..... VII

ÍNDICE DE TABLAS ..... VIII

INTRODUCCIÓN ..... 1

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES ..... 3

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ..... 3

1.2 OBJETIVO. ..... 5

1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO. ..... 5

1.4 DETERMINACIÓN $F_0$ OBJETIVO. ..... 6

1.5 IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE FACTORES CRÍTICOS. 16

CAPÍTULO 2

2. DISTRIBUCIÓN DE CALOR ..... 18

2.1 METODOLOGÍA PARA ADQUISICIÓN DE DATOS DE TIEMPO Y TEMPERATURA. ..... 18

2.2 CÁLCULO DE PARÁMETROS DE PROCESO ..... 25

2.3 DISEÑO DEL PROCESO TÉRMICO. ..... 27

2.4 EVALUACIÓN SENSORIAL. ..... 30

2.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS ..... 36

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 39

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ANEXOS

# ABREVIATURAS

| | |
|---|---|
| °C | Grados Celsius |
| cc | Centímetro cúbico |
| cm | Centímetro |
| D | Tiempo de reducción decimal |
| FAO | Food and Agriculture Organization |
| $F_o$ | Tiempo en minutos a una temperatura |
| gr | Gramo |
| $H_1$ | Hipótesis alternativa |
| HACCP | Hazard analysis and critical control points |
| $h_{fp}$ | Coeficiente de transferencia de fluido de partícula |
| $H_0$ | Hipótesis nula |
| hr | Hora |
| ISO | International Organization for Standardization |
| K | Constante de proporcionalidad |
| kg | Kilogramo |
| lb | Libras |
| Log. | Logaritmo |
| m | Metros |
| m² | Metro cuadrado |
| mg | Miligramos |
| Min | Minutos |
| ml | Mililitros |
| N | Concentración o Actividad enzimática después del tiempo de calentamiento |
| $N_o$ | Concentración o Actividad enzimática inicial |
| OMS | Organización mundial de la salud |
| pH | Potencial de Hidrogeno |
| seg | Segundo |
| T | Temperatura |
| TDT | Tiempo de destrucción térmica |
| U | Coeficiente de transferencia Térmica |
| Und | Unidad |
| $ | Dólares americanos |
| Z | Valor de Temperatura para bajar 90% el valor D |
| % | Porcentaje |

# ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

FIGURA 1.1 POBLACIÓN MICROBIANA VS. TIEMPO ..... 10
FIGURA 1.2 VALOR D; TEMPERATURA VS. TIEMPO ..... 12
FIGURA 1.3 VALOR Z; VALOR D VS. TIEMPO ..... 14
FIGURA 2.1 ESTERILIZADOR ESTACIONARIO…..……..…20
FIGURA 2.2 SENSORES DENTRO DE LOS ENVASES ..... 21
FIGURA 2.3 SENSORES DENTRO DEL ESTERILIZADOR……..21
FIGURA 2.4 ESTERILIZADOR CONTINUO ..... 22
FIGURA 2.5 SENSORES INALÁMBRICOS ..... 23
FIGURA 2.6 PC INTERFACE SYSTEM DATATRACE..... 24
FIGURA 2.7 TEMPERATURA INTERIOR ENVASE, TEMPERATURA ESTERILIZADO Vs TIEMPO ..... 25
FIGURA 2.8 TEMPERATURA ESTERILIZADOR CONTINUO VS INTERIOR DEL ENVASE..... 26

# ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

TABLA 1 $F_0$ DATOS ESTERILIZADOR ESTACIONARIO ..... 28
TABLA 2 $F_0$ DATOS ESTERILIZADOR CONTINUO ..... 29
TABLA 3 CODIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS..... 33
TABLA 4 TABLA DE RESULTADOS PRUEBA ORGANOLÉPTICA..... 34
TABLA 5 RESUMEN DE RESULTADOS PRUEBA ORGANOLÉPTICA MUESTRA DIFERENTE ..... 35
TABLA 6 RESULTADOS MUESTRA PREFERIDA ..... 36

# INTRODUCCIÓN

El propósito de este trabajo de investigación consiste en realizar un estudio para determinar parámetros del proceso térmico de un producto enlatado (frejol) en un esterilizador continuo.

Los guisantes en general específicamente el frejol *Cajanus cajan* es una materia prima de cosecha estacional, que se cosecha durante los meses de Septiembre a Diciembre por lo cual la cosecha anual se la debe procesar y someter a un proceso de conservación para el consumo de todo el año.

Principalmente el método de conservación utilizado para este producto es la congelación IQF previo un tratamiento de escaldado para la inactivación de enzimas. Con este tratamiento se logra mantener la calidad organoléptica, principalmente el color verde del guisante.

También se procesa frejol enlatado en salmuera lo cual abarata los costos de almacenamiento pero la calidad organoléptica se ve afectada por el proceso térmico, el color del guisante cambia de verde a marrón, característica que no es muy apreciado por el consumidor, ya que da la impresión de un producto no fresco.

El proceso de esterilización generalmente se lo realiza en esterilizador estacionario, en la actualidad existen procesos de esterilización continua.

Con una mayor velocidad de transferencia de calor el tiempo de proceso térmico disminuye, y se logra que los cambios organolépticos sean menores pero el efecto de letalidad se mantiene.

# CAPÍTULO 1

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 Planteamiento del Problema.

En un proceso de esterilizado de alimentos, la trasferencia de calor es muy importante y depende de varios factores, como son: La naturaleza del producto, el método de calentamiento, el gradiente de temperatura y la agitación del producto. (Stumbo, 1973).

Los estudios realizados para el perfeccionamiento de las técnicas de esterilización tienden principalmente a disminuir el tiempo de tratamiento, favoreciendo a su vez la economía del proceso y la calidad del producto terminado.

Comparado con los nutrientes, los microorganismos tienen alta resistencia a la destrucción térmica pero son más sensibles a los

cambios de temperatura, esto hace posible que aplicando altas temperaturas y corto tiempo se elimine microorganismos afectando en menor grado a la destrucción de los nutrientes. (Reuter, 1993).

Para conseguir este objetivo las técnicas actuales siguen dos caminos: el empleo de altas temperaturas y agitación del producto, ambos conducen a una aceleración de la penetración de calor en el alimento. Las características organolépticas del alimento se modifican menos cuando se utilizan altas temperaturas tiempos cortos. (Coronas, 1970).

Los esterilizadores para la conservación de alimentos desde su introducción, han experimentado una constante evolución, los sistemas actuales se clasifican en: discontinuos y continuos, con o sin agitación. (Coronas, 1970).

En el país solo se realizaba el proceso de esterilización en esterilizadores estacionarios discontinuos, en la actualidad se dispone de un esterilizador continuo rotatorio en el cual se procesa frejol enlatado en salmuera. Para su adecuado funcionamiento es necesario establecer los parámetros del proceso térmico en el nuevo equipo, que garanticen la destrucción de bacterias alterantes

o toxicas y conservar al máximo las características organolépticas del alimento fresco.

Gracias a los estudios de Ball, Bigelow y otros investigadores, pueden calcularse con precisión las condiciones de esterilización óptima, de tal forma que los alimentos enlatados no presenten peligro alguno para la salud el consumidor.

Es necesaria una evaluación organoléptica del producto y compararla con el nuevo proceso esterilizado continuo.

## 1.2 Objetivo.

El objetivo de este trabajo de investigación es determinar los parámetros de operación de tiempo y temperatura en el proceso de esterilizado en un esterilizador continuo

## 1.3 Objetivo Específico.

Los objetivos específicos son:

Determinar el $F_0$ objetivo para el proceso de esterilización de frejol en salmuera en lata en un esterilizador continuo rotatorio.

Determinar los factores críticos que afectan a la penetración de calor en el proceso de esterilización en un esterilizador continuo.

Evaluar organolépticamente el producto resultado del proceso de esterilización continua comparándolo con un producto obtenido con un proceso de esterilización estacionario convencional.

## 1.4 Determinación $F_0$ Objetivo.

El primer paso para diseñar un proceso térmico es decidir el microorganismo o enzima objetivo sobre cual el proceso deberá ser basado. Para establecer correctamente los parámetros de esterilización de un producto deben conocerse los microorganismos que inicialmente lo contaminan y determinar la resistencia del mas termo resistentes de todos ellos. (Castell Elvira, 1975). Esto resulta difícil en la práctica, por lo tanto se suele elegir especies representativas.

En envases sellados herméticamente y con vacío, los niveles de oxígeno son bajos, los microorganismos aeróbicos no tienen el medio adecuado. Sin embargo los microorganismos anaeróbicos deben ser considerados, y su crecimiento está afectado por el pH del alimento. (Meng, 2006).

Para el punto de vista de los procesos térmicos los alimentos están divididos en tres grupos: Alimentos de alta acidez (pH < 3.7, alimentos ácidos a mediana acidez (3.7< pH < 4.5), y alimentos de baja acidez ( pH > 4.5). (Ramaswamy, 1996).

El frejol en salmuera tiene un pH de 6,8 por lo tanto es un producto de baja acidez. Para alimentos de baja acidez el microorganismo objetivo es el *Clostridium botulinum*, porque es altamente resistente al calor, forma esporas y es un patógeno anaeróbico.

Si sus esporas no son destruidas por el tratamiento térmico, estas podrían prosperar y producir la letal toxina botulismo bajo condiciones anaeróbicas en un amplio rango de temperaturas de almacenamiento. Si el pH es inferior a 4.5 no hay posibilidades de crecimiento de *Clostridium botulinium*. (Meng, 2006).

Existen otros microorganismos patógenos termófilos, como son *Bacillus stearothermophilus*, *Bacillus. thermosacidurans* y *Clostridium thermossaccolyaticum;* También forman esporas en alimentos de baja acidez, pero su crecimiento óptimo está entre 50 a 55 °C; si el producto es almacenado a temperaturas inferiores a 30 °C no debe ser considerado. (Meng, 2006).

La letalidad mínima $F_0$ requerida para el proceso debe estar basada en dos consideraciones: 1) Destrucción de la población microbiana de alta significancia para la salud pública. 2) Reducción del número de esporas. El proceso deberá ser lo suficientemente severo para reducir la población del *Clostridium botulinum* en 12 reducciones decimales. (Meng, 2006).

Basado en publicaciones realizadas, el valor D, tiempo de reducción decimal para el *Clostridium botulinum* a 121°C es de 0,21. (Stumbo, 1973). Por lo tanto 12 reducciones decimales equivale a un valor $F_0$ de 12 x 0,21 = 2,52 min. Que representa el mínimo valor de letalidad requerido.

En análisis microbiológicos realizados a la materia prima, el mayor contaje encontrado fue de 6,000 ($6x\ 10^{-3}$) unidades formadoras de colonia por mg.

Resistencia térmica de los microrganismos

La explicación del mecanismo de destrucción térmica de microorganismos no se conoce con exactitud pero una opinión muy

generalizada es que los gérmenes mueren por coagulación de las proteínas celulares. (Coronas, 1970).

La coagulación de las proteínas está afectada por muchos factores como por ejemplo: pH, alcalinidad de la solución, contenido de agua etc. Este último es uno de los motivos por que la resistencia de las esporas son más termoresistentes que las células vegetativas. (Coronas, 1970).

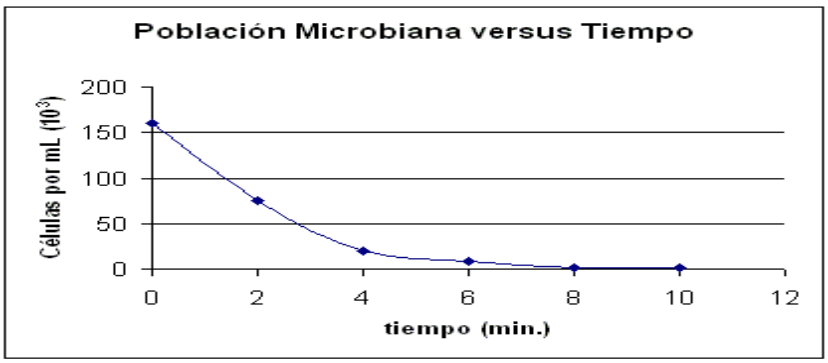
Cinética de la Mortandad de los Microorganismos, inactivación enzimática y degradación de factores de calidad.

En un proceso térmico de esterilización de alimentos es necesario conocer el tiempo de destrucción térmica de los microorganismos, el cual es afectado por varios factores como la cantidad de carga inicial, concentración de esporas, condiciones del medio que han crecido las bacterias, composición del alimento, humedad y relación de tiempo y temperatura que se aplique.

En la práctica, para determinar la resistencia térmica de los microorganismos se calienta a cierta temperatura una solución de concentración conocida y se mide el tiempo necesario para destruir el 90% de la población bacteriana inicial. (Castell Elvira, 1975).

Las células vegetativas de los microorganismos, al igual que algunos factores de calidad como vitaminas, se destruyen en forma logarítmica cuando son sometidas al calor por determinado tiempo.

En la figura 1.1 se ejemplifica como se reduce la población de microorganismos a una temperatura dada.




Fuente: (Stumbo, 1973)

**FIGURA 1.1 POBLACIÓN MICROBIANA VS TIEMPO**

La proporción de muerte permite comparar la resistencia al calor de diferentes especies de microorganismos a una misma temperatura o la resistencia de una especie a diferentes temperaturas.

La destrucción de microorganismos e inactivación de enzimas siguen en general una cinética de reacción de primer orden (Jay, 2002).

$$-\frac{dN}{dt} = kN \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

Arreglándola:

$$-\frac{dN}{N} = kNt \qquad \text{(Ecuación 2)}$$

En donde:

*N* = Concentración o actividad enzimática

*k* = Constante de proporcionalidad.

*t* = Tiempo

Integrando la ecuación (2) entre los límites $N_0$ al tiempo 0 y N al tiempo t:

Se Obtiene:

$$\log\frac{N}{No} = -\frac{kt}{2.303} \qquad \text{(Ecuación 3)}$$

Dónde:

$N_0$ = Concentración o actividad enzimático inicial

Tiempo de inactivación térmica y de valor D.

Para obtener y evaluar los parámetros en un tratamiento térmico se emplean los valores D, Z y F.

El valor D.

El Tiempo de Reducción Decimal, mejor conocido como "valor D", se define como el tiempo que se requiere para reducir en un 90% la

población de un determinado microorganismo a una temperatura específica.

Al graficar los datos de reducción Log ($N/N_0$) de la población microbiana en papel semilogarítmico, se obtiene una línea recta cuya pendiente es 1/D, como se observa en la figura 1.2.

Al considerar el tiempo requerido para que esta línea recta atraviese un ciclo logarítmico que es equivalente a la destrucción del 90 % de microorganismos.

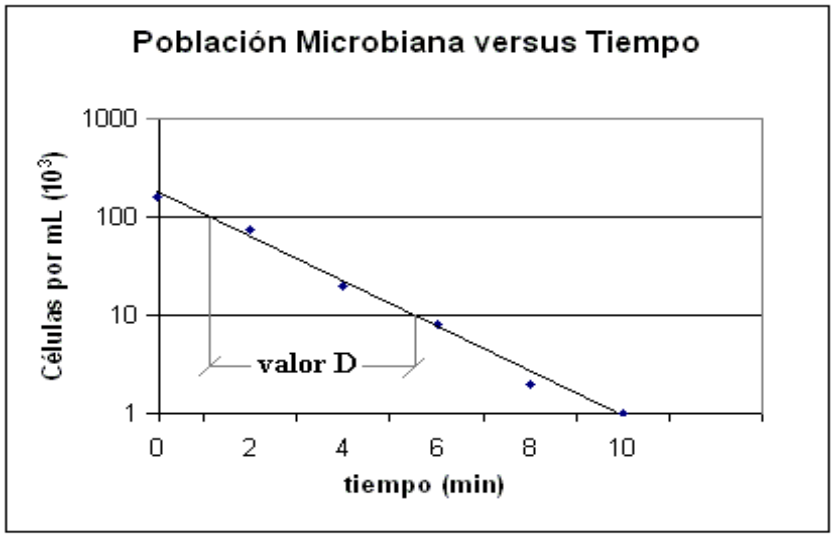



**FIGURA 1.2 VALOR D; TEMPERATURA VS TIEMPO**

Fuente: (Stumbo, 1973)

El valor D llamado factor de reducción decimal, dependerá de las condiciones utilizadas para la preparación de la suspensión de esporas y de las características del medio de cultivo, o del alimento en los cuales se realicen las pruebas de la resistencia al calor; Un factor de importancia es el pH.

El valor D se relaciona con el valor *k* por medio de la siguiente ecuación:

$$D = \frac{2.303}{k} \qquad \text{(Ecuación 4)}$$

Sustituyendo (4) en (2) se obtiene:

$$Log \frac{N}{No} = -\frac{t}{D} \qquad \text{(Ecuación 5)}$$

Despejando *t* de la ecuación anterior el tiempo:

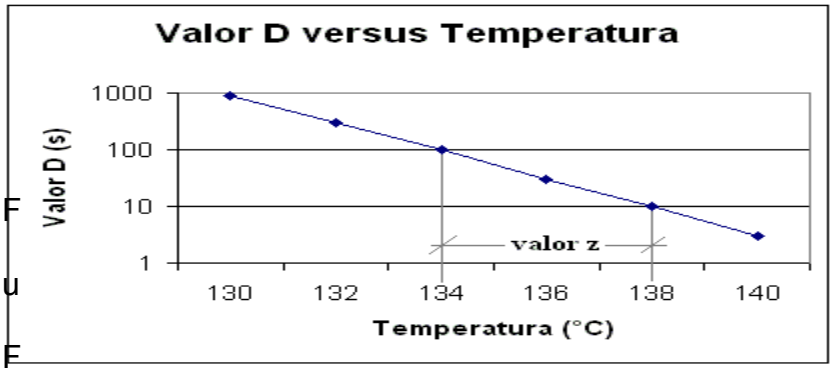
$$t = D \times Log \frac{No}{N} \qquad \text{(Ecuación 6)}$$

El valor Z.

El valor Z, se define como la diferencia en temperaturas necesaria para causar una reducción de un 90% en el valor D.

Para calcular el valor Z, se grafican los valores D a diferentes temperaturas para un cultivo específico de un microorganismo.

Como se ilustra en la figura 1.3, el valor Z es la diferencia de las temperaturas que definen un cambio en el ciclo logarítmico.




Fuente: (Stumbo, 1973)

**FIGURA 1.3 VALOR Z; VALOR D VS TIEMPO**

Este valor es característico de cada microorganismo y describe la resistencia termal de las esporas y de las bacterias.

Las curvas de resistencia térmica y los valores Z y D son esenciales en la industria para establecer las condiciones de procesamiento de un alimento y para conocer la resistencia relativa de diferentes microorganismos sobre una base numérica.

El valor F.-

Es un parámetro que se usa en la industria conservera, y puede definirse como el tiempo que se requiere a una temperatura definida para reducir la población microbiana presente en un alimento hasta un nivel deseado. Cuando el valor F se refiere a 121ºC se define con $F_0$ .

Representa una medida de la capacidad de un proceso térmico para reducir el número de esporas o células vegetativas de un microorganismo.

Razón de Letalidad.

La razón de letalidad se define como el cociente entre dos tiempos de muerte por tratamiento térmico a diferentes temperaturas. El valor numérico está dado por la siguiente expresión:

$$L = 10^{\left((T - Tref)/z\right)} \qquad \text{(Ecuación 7)}$$

Con esta fórmula, se puede aproximar cuanto tiempo se requiere para procesar un medio a una temperatura y reducir la población microbiana de la misma forma que se hace con un proceso de tiempo conocido a una temperatura específica.

## 1.5 Identificación y Determinación de Factores Críticos.

En un esterilizador rotatorio continuo los factores más importantes que afectan a la transferencia de calor son: velocidad de rotación, espacio de cabeza y peso de llenado.

Velocidad de rotación.

Al aumentar la velocidad de rotación se incrementa la transferencia de calor y disminuye el tiempo de esterilización (Conley, 1951).

A mayor velocidad la agitación del envase es mayor, se incrementa el valor de transferencia de calor del exterior al interior del envase y de este a la partícula del alimento.

En productos con viscosidad media, la agitación favorece los movimientos de convección y acelera la penetración de calor. Se ha observado que incrementar la velocidad de rotación de 10 a 20 revoluciones por minuto, la tasa de transferencia aumenta hasta un 24% en aceite. (Meng, 2006).

En el proceso estudiado la velocidad de rotación del equipo debe ser mantenida como mínimo en 8 revoluciones por minuto.

Espacio de Cabeza.

Se han realizado numerosos estudios para evaluar la importancia del espacio de cabeza en un proceso de esterilizado en un esterilizador continuo. Con un incremento de 6,4 a 10 mm. de espacio de cabeza la medida del valor U aumento en un 16% y el valor hfp aumento en un 75%. (Meng, 2006). Se ha definido que el espacio de cabeza mínimo es de 8 mm., en este proceso.

Peso de llenado.

Durante el procesamiento de agitación, la presencia de partículas en el líquido enlatado influirán en los patrones de flujo y de mezclado y por lo tanto los coeficientes de transferencia de calor. Se espera que las partículas ocasionen agitación dentro del envase. En este trabajo se estableció que el peso de llenado no puede ser superior a 250 gramos por cada envase.

# CAPÍTULO 2

## 2. DISTRIBUCIÓN DE CALOR

### 2.1. Metodología para Adquisición de Datos de Tiempo y Temperatura.

El estudio de penetración de calor realizado para este estudio siguió la metodología recomendada por una autoridad de procesos. (Brown, 1997). Autoridad de proceso se define a un profesional del área de enlatados reconocido por la FDA.

En pruebas preliminares se determinó el estudio de distribución de calor en los dos equipos. Este procedimiento se lo realiza para determinar el área más fría del esterilizador, este estudio no está incluido en este trabajo de investigación. Sin embargo el estudio de penetración de calor considera esta área.

Se realizó 4 pruebas en el proceso de esterilizado continuo y 4 pruebas en esterilizador estacionario. En cada prueba se colocaron 4 sensores, donde en total se obtuvo 16 repeticiones en cada proceso.

EQUIPO: ESTERILIZADOR ESTACIONARIO.

El esterilizador estacionario usado para el ensayo es un esterilizador estacionario marca FMC, tal como se indica en la figura 2.1, el sistema de control de operación lo realiza un PLC (controlador lógico programable) conectado a un computador.

Los envases de hojalata con producto son colocados en jaulas (bandejas de acero inoxidable) y estos introducidos en el esterilizador, se cierra la puerta, se activa el sistema de seguridad de apertura y cierre, se introduce los datos del producto a procesar en el computador y se enciende el equipo.

Fuente: (WWW 1, 2012)

**FIGURA 2.1 ESTERILIZADOR ESTACIONARIO**

Para realizar el ensayo en el esterilizador estacionario se colocan los sensores dentro de envases previamente preparados, es decir se perforan los envases vacíos y se colocan dentro de ellos los sensores como se muestra en la figura 2.2.

Los sensores se colocan en el punto más frío del envase es decir en el centro geométrico, se llenan los envases, se cierran e inicia el proceso de esterilización.

**FIGURA 2.2 SENSORES DENTRO DE LOS ENVASES**

Se llena el esterilizador con envases con producto, incluyendo los envases que contienen los sensores como se muestra en figura 2.3.

Se coloca un sensor en la parte exterior de los envases. Los sensores están conectados un interface que almacena las temperaturas cada minuto en un computador.

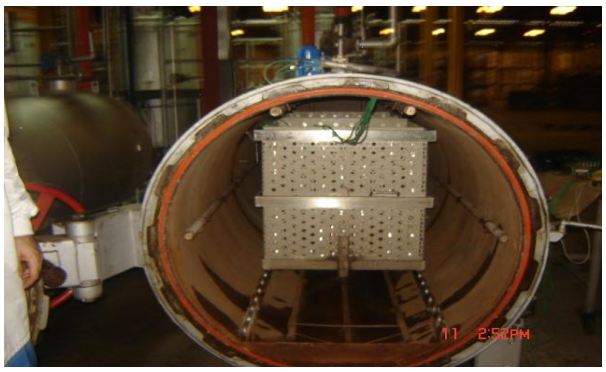



**FIGURA 2.3 SENSORES DENTRO DEL ESTERILIZADOR**

Una vez terminado el proceso de esterilización los datos almacenados en el computador son descargados en una hoja electrónica de cálculo (Microsoft Excel).

EQUIPOS: ESTERILIZADORES CONTINUOS.

El esterilizador continuo usado es un equipo rotativo continuo marca FMC con capacidad para 400 envases por minuto que se muestra en la figura 2.4.

En este equipo los envases pasan de forma continua por dos compartimentos, en el primero se someten a la acción del calor mediante vapor y en el segundo se enfrían con agua y aire comprimido.

**FIGURA 2.4 ESTERILIZADOR CONTINUO**

Dentro de los tambores hay una estructura giratoria que guía a los envases a través de un riel, los envases con movimiento axial van rotando a través del cuerpo del equipo.

Para la recolección de datos en el esterilizador continuo se colocan los sensores inalámbricos dentro de los envases, se llenan de producto y se cierran.

Los sensores deben ser programados con anterioridad para que almacenen la temperatura cada minuto.

**FIGURA 2.5 SENSORES INALÁMBRICOS**

Se ingresó estos envases que contiene los sensores de temperatura al proceso normal de esterilización en el esterilizador

continuo. Los envases deben estar bien rotulados para que sean fácilmente identificados al final del proceso de esterilización.

Luego del proceso, se retiran los sensores y se descarga la información grabada en ellos por medio de un interface electrónico marca DATATRACE® como se observa en figura 2.6, con el cual se descarga los datos almacenados en los sensores en una hoja electrónica Microsoft Excel.

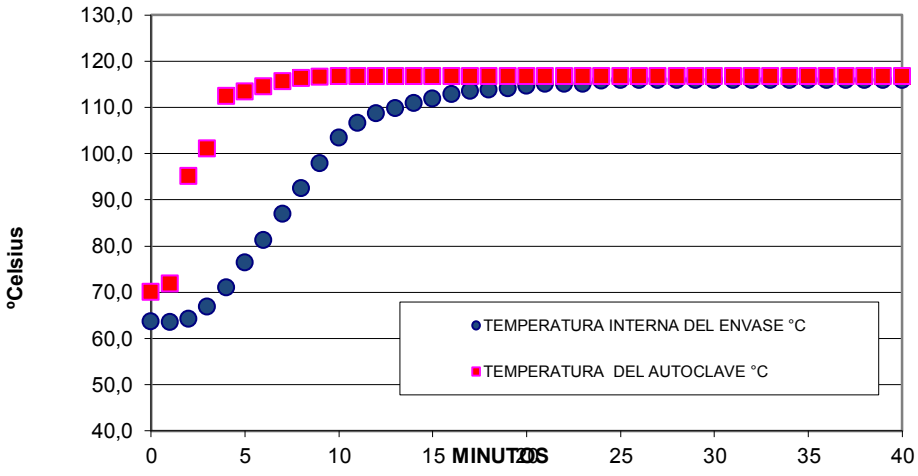
**FIGURA 2.6 PC INTERFACE SYSTEM DATATRACE ®**

## 2.2. Cálculo de Parámetros de Proceso

De cada corrida de las pruebas realizadas se obtiene una tabla que tiene la variación de la temperatura cada minuto del proceso.

El proceso de esterilización de frejoles enlatados en un esterilizador estacionario es de 116ºC. por 40 minutos. Se realiza el cálculo de letalidad a todas las pruebas realizadas y se escoge el resultado más bajo de todos.

Se graficó el incremento de la temperatura del interior del envase y del esterilizador por cada minuto como se muestra en la figura 2.7.

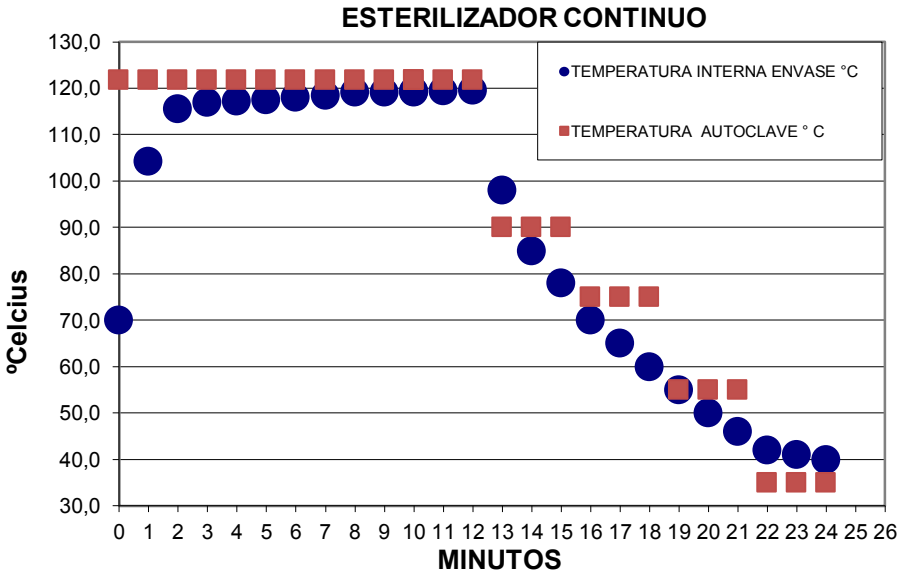



ELABORADO POR: ANDRÉS ALCÍVAR, 2012

**FIGURA 2.7 TEMPERATURA INTERIOR ENVASE, TEMPERATURA ESTERILIZADO vs TIEMPO**

El proceso en el esterilizador continuo es a 121ºC. por 12 minutos, proceso recomendado por el fabricante del equipo. Se realiza el cálculo de letalidad a todas las pruebas realizadas y se escoge el resultado más bajo de todos.

Se graficó el incremento de la temperatura del interior del envase y del esterilizador por cada minuto. En esterilizador continuo hay un sensor en la parte de calentamiento y 4 sensores en la etapa de enfriamiento.




ELABORADO POR: ANDRÉS ALCÍVAR, 2012

**FIGURA 2.8 TEMPERATURA ESTERILIZADOR CONTINUO VS INTERIOR DEL ENVASE**

## 2.3. Diseño del Proceso Térmico.

Con estos datos tabulados aplicando la ecuación 7, se calculó la letalidad en cada intervalo de tiempo del proceso.

$$L = 10^{\left((T-Tref)/z\right)} \qquad \text{(Ecuación 7)}$$

La sumatoria acumulada de estos valores representa la letalidad total obtenida, es decir el valor $F_0$.

PROCESO ESTACIONARIO.

El incremento de la temperatura en relación al tiempo del proceso estacionario, se lo puede observar en la tabla 1.

Se muestra también el valor de letalidad en cada minuto. La sumatoria de letalidad o valor $F_0$ es igual a 7, obtenido en el esterilizador estacionario a una temperatura de 116°C durante 40 minutos de calentamiento.

## TABLA 1

## $F_0$ DATOS ESTERILIZADOR ESTACIONARIO

| T. (MIN) | TEMP. ENVASE °C | TEMP. ESTERILIZADOR °C | Letalidad | $F_o$ |
|---|---|---|---|---|
| **0** | 63.6 | 70.0 | 0.000 | 0.0 |
| **1** | 63.4 | 71.8 | 0.000 | 0.0 |
| **2** | 64.1 | 95.0 | 0.000 | 0.0 |
| **3** | 66.7 | 101.0 | 0.000 | 0.0 |
| **4** | 70.9 | 112.4 | 0.000 | 0.0 |
| **5** | 76.3 | 113.3 | 0.000 | 0.0 |
| **6** | 81.2 | 114.4 | 0.000 | 0.0 |
| **7** | 86.9 | 115.6 | 0.000 | 0.0 |
| **8** | 92.4 | 116.3 | 0.001 | 0.0 |
| **9** | 97.8 | 116.6 | 0.005 | 0.0 |
| **10** | 103.4 | 116.7 | 0.017 | 0.0 |
| **11** | 106.6 | 116.7 | 0.035 | 0.1 |
| **12** | 108.6 | 116.7 | 0.056 | 0.1 |
| **13** | 109.7 | 116.7 | 0.072 | 0.2 |
| **14** | 110.8 | 116.7 | 0.093 | 0.3 |
| **15** | 111.8 | 116.7 | 0.117 | 0.4 |
| **16** | 112.8 | 116.7 | 0.148 | 0.5 |
| **17** | 113.5 | 116.7 | 0.174 | 0.7 |
| **18** | 113.7 | 116.7 | 0.182 | 0.9 |
| **19** | 114.0 | 116.7 | 0.195 | 1.1 |
| **20** | 114.6 | 116.7 | 0.224 | 1.3 |
| **21** | 115.0 | 116.7 | 0.245 | 1.6 |
| **22** | 115.0 | 116.7 | 0.245 | 1.8 |
| **23** | 115.0 | 116.7 | 0.245 | 2.1 |
| **24** | 115.0 | 116.7 | 0.245 | 2.3 |
| **25** | 115.0 | 116.7 | 0.245 | 2.5 |
| **26** | 115.5 | 116.7 | 0.275 | 2.8 |
| **27** | 115.8 | 116.7 | 0.295 | 3.1 |
| **28** | 115.8 | 116.7 | 0.295 | 3.4 |
| **29** | 115.9 | 116.7 | 0.302 | 3.7 |
| **30** | 115.9 | 116.7 | 0.302 | 4.0 |
| **31** | 115.9 | 116.7 | 0.302 | 4.3 |
| **32** | 115.9 | 116.7 | 0.302 | 4.6 |
| **33** | 115.9 | 116.7 | 0.302 | 4.9 |
| **34** | 115.9 | 116.7 | 0.302 | 5.2 |
| **35** | 115.9 | 116.7 | 0.302 | 5.5 |
| **36** | 115.9 | 116.7 | 0.302 | 5.8 |
| **37** | 115.9 | 116.7 | 0.302 | 6.1 |
| **38** | 115.9 | 116.7 | 0.302 | 6.4 |
| **39** | 115.9 | 116.7 | 0.302 | 6.7 |
| **40** | 115.9 | 116.7 | 0.302 | 7.0 |

ELABORADO POR: ANDRÉS ALCÍVAR, 2012

PROCESO CONTINUO.

El incremento de la temperatura en relación al tiempo en las pruebas realizadas en el proceso continuo, se lo puede observar en la tabla 2.

Se muestra tambien el valor de letalidad en cada minuto.

**TABLA 2**

**$F_0$ DATOS ESTERILIZADOR CONTINUO**

| T MIN | TEMP. INTERNA ENVASE °C | TEMP ESTRILIZADOR ° C | LETALIDAD | Fo |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 70,0 | 121,8 | 0,000 | 0,0 |
| 1 | 104,2 | 121,8 | 0,020 | 0,0 |
| 2 | 115,6 | 121,8 | 0,282 | 0,3 |
| 3 | 117,0 | 121,8 | 0,389 | 0,7 |
| 4 | 117,2 | 121,8 | 0,407 | 1,1 |
| 5 | 117,5 | 121,8 | 0,437 | 1,5 |
| 6 | 118,0 | 121,8 | 0,490 | 2,0 |
| 7 | 118,5 | 121,8 | 0,550 | 2,6 |
| 8 | 119,1 | 121,8 | 0,631 | 3,2 |
| 9 | 119,1 | 121,8 | 0,631 | 3,8 |
| 10 | 119,4 | 121,8 | 0,676 | 5,8 |
| 11 | 119,5 | 121,8 | 0,692 | 6,5 |
| 12 | 119,6 | 121,8 | 0,708 | 7,2 |
| 13 | 98,0 | 90,0 | 0,005 | 7,2 |
| 14 | 85,0 | 90,0 | 0,000 | 7,2 |
| 15 | 78,0 | 90,0 | 0,000 | 7,2 |
| 16 | 70,0 | 75,0 | 0,000 | 7,2 |
| 17 | 65,0 | 75,0 | 0,000 | 7,2 |
| 18 | 60,0 | 75,0 | 0,000 | 7,2 |
| 19 | 55,0 | 55,0 | 0,000 | 7,2 |
| 20 | 50,0 | 55,0 | 0,000 | 7,2 |
| 21 | 46,0 | 55,0 | 0,000 | 7,2 |
| 22 | 42,0 | 35,0 | 0,000 | 7,2 |
| 23 | 41,0 | 35,0 | 0,000 | 7,2 |
| 24 | 40,0 | 35,0 | 0,000 | 7,2 |

ELABORADO POR ANDRÉS ALCÍVAR, 2012

La sumatoria de letalidad o valor $F_0$ es igual a 7,2, obtenido en el esterilizador continuo a una temperatura de 121,8°C. durante 12 minutos de calentamiento, como se muestra en la tabla 2.

Pasados los 12 minutos el producto sale del área de calentamiento y pasa al área de enfriamiento, donde la temperatura comienza a disminuir rapidamente; En esta etapa el efecto de letalidad no se incrementa.

El proceso térmico es capaz de bajar 7,2 reducciones decimales de la carga microbiana inicial presente en el producto.

## 2.4. Evaluación Sensorial.

Obtenido el producto en el esterilizador continuo, se necesitó compararlo con el producto obtenido en esterilizador estacionario para evaluar las diferencias organolépticas y determinar el mejor proceso.

Existen pruebas organolépticas diseñadas para detectar diferencias entre muestras, las más conocidas son las siguientes:

1. De Estímulo Único.
2. Comparación Pareada.
3. Dúo-Trío.

4. Triangular.
5. De Comparación Múltiple.

Estas pruebas, son herramientas del Control de Calidad e indican si las dos muestras son iguales o diferentes, pero no señalan la diferencia o la causa de ella. Son métodos objetivos y analizables estadísticamente.

Los resultados se analizan estadísticamente planteando la "hipótesis nula" $H_0$ y la "hipótesis alternativa" $H_1$. es decir, se plantea en $H_0$ que las muestras no difieren entre sí, o lo que es lo mismo, que no se detectan diferencias.

Las diferencias que se encuentran se expresan en términos de nivel de significación o nivel de probabilidad, que indican el grado en que las diferencias observadas entre las muestras son verdaderas y no al azar. Los niveles más frecuentes son 5, 1 y 0,1%.

Para los tres niveles existen Tablas de Signifación, que indican cuantos resultados positivos son necesrios para determinar diferencias. (Pennar, 2001).

La prueba usada fue la triangular, es una de las técnicas más usadas cuando se quiere evaluar muestras con pequeñas diferencias. Se le entrega al evaluador tres muestras codificadas, dos de las cuales son iguales y la tercera diferente; Las posibilidades de combinación son: n! = 1 x 2 x 3 = 6, la posibilidad de acertar por azar es 1/3.

Para este trabajo se seleccionó un panel de 10 jueces con experiencia en el consumo del producto. A cada juez se le entregó tres set de tres muestras, es decir 9 muestras y una hoja para que escriba los resultados. (Ver Anexo 1).

Se le pide al evaluador en la hoja de resultados anotar el código de la muestra diferente y que indique la muestra de su preferencia en cuanto a sabor y color.

En cada set de muestras hay dos iguales y una diferente, están codificados con números y letras escogidos al azar, como se muestra en tabla 3, con el objeto de minimizar errores de apreciación por codificación y ubicación.

Las muestras que corresponde al producto realizado en esterilizador continuo están codificadas con los siguientes números: B102, B40 y A5. Las otras muestras corresponden al producto elaborado en proceso estacionario.

**TABLA 3**

**CODIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS**

| Set | Muestras números | Cual prefiere? |
|---|---|---|
| **1** | **A71**<br>**A25**<br>**B102** | ..... |
| **2** | **A8**<br>**B40**<br>**A16** | ..... |
| **3** | **A31**<br>**B22**<br>**A5** | ..... |

ELABORADO POR ANDRÉS ALCÍVAR, 2012

En la tabla 4, se observa los resultados obtenidos. En la primera columna están identificados los 10 jueces, en la segunda columna el número de muestra que cada panelista escogió como diferente y en la columna 3 el número de la muestra que cada panelista prefería por su sabor y color, en total se obtuvo 30 juicios.

**TABLA 4**

**TABLA DE RESULTADOS PRUEBA ORGANOLÉPTICA**

| Panelista | MUESTRA DIFERENTE | MUESTRA PREFERIDA |
|---|---|---|
| 1 | 102 | 102 |
| 1 | 40 | 40 |
| 1 | 5 | 5 |
| 2 | 102 | 102 |
| 2 | 40 | 40 |
| 2 | 5 | 5 |
| 3 | 71 | 71 |
| 3 | 40 | 40 |
| 3 | 5 | 5 |
| 4 | 102 | 102 |
| 4 | 16 | 16 |
| 4 | 5 | 5 |
| 5 | 102 | 102 |
| 5 | 40 | 40 |
| 5 | 5 | 5 |
| 6 | 102 | 102 |
| 6 | 40 | 40 |
| 6 | 5 | 5 |
| 7 | 102 | 102 |
| 7 | 8 | 8 |
| 7 | 5 | 5 |
| 8 | 102 | 102 |
| 8 | 40 | 40 |
| 8 | 5 | 5 |
| 9 | 102 | 102 |
| 9 | 40 | 40 |
| 9 | 5 | 5 |
| 10 | 102 | 102 |
| 10 | 16 | 16 |
| 10 | 22 | 22 |

ELABORADO POR ANDRÉS ALCÍVAR, 2012

En la tabla 5, se muestra un resumen de los resultados obtenidos de las pruebas organolépticas, en la primera columna esta el número de la muestra y en la segunda columna el número de veces que esa muestra fue escogida como diferente y en la tercera el porcentaje.

**TABLA 5**

**RESUMEN DE RESULTADOS PRUEBA ORGANOLÉPTICA MUESTRA DIFERENTE**

| MUESTRA DIFERENTE | OPORTUNIDADES ESCOGIDA | % OPORTUNIDADES ESCOGIDA |
|---|---|---|
| 5 | 9 | 30% |
| 102 | 8 | 27% |
| 40 | 7 | 23% |
| 16 | 2 | 7% |
| 71 | 1 | 3% |
| 8 | 1 | 3% |
| 25 | 1 | 3% |
| 22 | 1 | 3% |
| Total general | 30 | 100% |

ELABORADO POR ANDRÉS ALCÍVAR, 2012

En la tabla 6, se muestra un resumen de los resultados obtenidos de la preferencia de las muestras.

En la primera columna esta el número de la muestra y en la segunda columna el número de veces que esa muestra fue escogido como preferido y en la tercera columna el porcentaje.

**TABLA 6**

**RESULTADOS MUESTRA PREFERIDA**

| MUESTRA PREFERIDA | NÚMERO OPORTUNIDADES ESCOGIDA | % OPORTUNIDADES ESCOGIDA |
|---|---|---|
| 5 | 8 | 27% |
| 40 | 6 | 20% |
| 102 | 6 | 20% |
| 16 | 3 | 10% |
| 25 | 3 | 10% |
| 22 | 2 | 7% |
| 8 | 1 | 3% |
| 71 | 1 | 3% |
| Total | 30 | 100% |

ELABORADO POR ANDRÉS ALCÍVAR, 2012

## 2.5 Análisis de Resultados Obtenidos

En las pruebas realizadas se determinó que el proceso de esterilización de frejol en esterilizador continuo es de 12 minutos y 121,8°C. en la zona de calentamiento la temperatura máxima que alcanza el producto es 119,6°C. Para el proceso estacionario la temperatura máxima alcanzada fue de 115,9.

En el proceso continuo como el envase esta en agitación intensa desde el momento que ingresa al esterilizador, la temperatura en el interior del envase sube rápidamente en los primeros minutos, a los 3 minutos llega a 117°C.

En el proceso continuo luego del proceso térmico el envase pasa inmediatamente a una cámara de enfriamiento con agua, esto toma 12 minutos para lograr una temperatura interna de 40°C. En el estacionario el enfriamiento tarda 25 minutos y la temperatura alcanzada es 55°C., luego de esto se sacan los envases del esterilizador y continúa su enfriamiento al ambiente.

En el proceso estacionario, en la etapa de enfriamiento el descenso de temperatura es rápido ocasionando un choque térmico el cual ayuda mucho para la destrucción de microorganismos.

Con el proceso continuo se consigue un $F_o$ de 7,20. El tiempo total del proceso es de 24 minutos. Con el estacionario el valor alcanzado es de 7,0.

En los análisis organolépticos se evidenciaron que 24 veces fue escogida una muestra del proceso realizado en esterilizador continuo.

En la tabla "significación para el test triangular" (Ver Anexo 2), para un valor de 30 juicios y una probabilidad de 5% es necesario

16 respuestas correctas para rechazar la hipótesis nula, que indicaba que las muestras son iguales.

Es decir que las muestras obtenidas del proceso en esterilizador continuo son significativamente diferentes a las obtenidas en esterilizador estacionario.

Se puede observar que 20 veces fue escogida como preferida las muestras de producto realizado en esterilizador continuo, lo que representa el 67%. Las observaciones de los panelistas coinciden en que el color y sabor son los parámetros que marcan la diferencia entre los dos productos.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El microorganismo objetivo por su significancia en la salud pública, es el *Clostridium Botulinum* para el proceso de frejol en salmuera, se consideró 12 reducciones decimales con un valor D=0,21 lo que resulta un $F_0$ de 2,52, suficiente para garantizar un producto seguro.

Los factores críticos que se identificaron para este proceso son: Espacio de cabeza mínimo 8 mm., peso de llenado del envase mínimo 250 gramos y velocidad de rotación del equipo 8 revoluciones por minuto; Estos parámetros deben ser mantenidos y controlados durante la operación.

Los parámetros de proceso de frejol enlatado en el nuevo equipo son: Temperatura de área de cocción 121 °C y tiempo 12 minutos.

El proceso de esterilización en un esterilizador rotativo continuo tiene menor tiempo de proceso que en un esterilizador estacionario, en el estacionario el proceso es de 65 minutos, en un esterilizador rotatorio continuo el proceso de esterilización es de 24 minutos.

El proceso estacionario es por batch por esto hay un tiempo de carga y descarga del equipo que es de aproximadamente 10 minutos. En el proceso

continuo no hay pérdida de tiempo por carga y descarga; el ingreso y salida de los envases es continuo y los envases son colocados en pallets automáticamente a la salida.

De acuerdo a los resultados obtenidos durante la pruebas y estudio de penetración de calor en los dos proceso de producción se puede determinar que el $F_O$ obtenido es de 7,2, el mismo nivel de seguridad que en el proceso estacionario; es decir que con los dos proceso se obtienen la misma garantía de obtener un producto inocuo y que ambos son procesos seguros desde el punto de vista microbiológico.

Las muestras de los productos obtenidos en los dos procesos (estacionario y continuo) son significativamente diferentes, de acuerdo a resultados obtenidos en la prueba triangular. Y se observa preferencia de los panelistas hacia la muestra correspondiente al producto del proceso continuo.

El 67% de los panelistas prefiere la muestra del proceso continuo, por que presenta mejor color y sabor que el obtenido en el proceso estacionario.

Recomiendo evaluar las características nutricionales del producto obtenido en el proceso continuo, con el objeto de confirmar que un tratamiento térmico más corto disminuye la pérdida de nutrientes en la materia prima.

# ANEXO 1

FICHA DE DEGUSTACIÓN PRUEBA TRIANGULAR

Nombre:…… ……

Método: Triangular Fecha: .....

Producto: Frejol Hora: .....

| SET | Muestras Números | Cuál prefiere |
|---|---|---|
| 1 | XXXX XXXX XXXX | |
| 2 | XXXX XXXX XXXX | |
| 3 | XXXX XXXX XXXX | |

Sírvase degustar cada uno de los set de tres muestras que se presentan. En cada set hay dos muestras idénticas y una diferente. Por favor, marque con un círculo la diferente, y luego coloque en la columna de comentarios la muestra preferida por Ud. de cada set de muestras. Se permite volver a degustar. Muchas gracias por su ayuda

# ANEXO 2

SIGNIFICACIÓN PARA TEST TRIANGULAR (P = 1/3)

| NÚMERO DE JUICIOS | MÍNIMO DE JUICIOS CORRECTOS PARA ESTABLECER DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS | NÚMERO DE JUICIOS | MÍNIMO DE JUICIOS CORRECTOS PARA ESTABLECER DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS |
|---|---|---|---|
| (set x jueces) | p = .05 | (set x jueces) | p = .05 |
| 9 | 6 | 31 | 16 |
| 10 | 7 | 32 | 16 |
| 11 | 7 | 33 | 17 |
| 12 | 8 | 34 | 17 |
| 13 | 8 | 35 | 18 |
| 14 | 9 | 36 | 18 |
| 15 | 9 | 37 | 18 |
| 16 | 10 | 38 | 19 |
| 17 | 10 | 39 | 19 |
| 18 | 10 | 40 | 20 |
| 19 | 11 | 41 | 20 |
| 20 | 11 | 42 | 21 |
| 21 | 12 | 43 | 21 |
| 22 | 12 | 44 | 21 |
| 23 | 13 | 45 | 22 |
| 24 | 13 | 46 | 22 |
| 25 | 13 | 47 | 23 |
| 26 | 14 | 48 | 23 |
| 27 | 14 | 49 | 23 |
| 28 | 15 | 50 | 24 |
| 29 | 15 | 51 | 24 |
| 30 | 16 | 52 | 25 |

FUENTE: (E.B. Roessler, 1948)

# REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Brown, B. E. (1997). FOOD CANNING TECNOLOGY. CANADA: Wiley-VCH Publishers.

Conley L. Kaap and L. Schuhmann (1951). THE APLICATION OF END-OVER-END AGITATION TO THE HEATING AND COOLING OF CANNED FOOD PRODUCTS. NEW YORK.

Coronas, J. M. (1970). SISTEMA DE ESTERILIZACIÓN TÉRMICA.

E.B. Roessler, J. W. (1948). Food Research.

Elvira Castell, L. D. (1975). ESTERILIZACIÓN DE CONSERVAS. La Habana.

Jay, J. M. (2002). Microbiología moderna de los alimentos. Zaragoza: Acribia

Meng, Y. (2006). HEAT TRANSFER STUDIES ON CANNED PARTICULATE VISCOUS FLUUIDS DURING END-OVER-END ROTATION. MONTREAL.

Pennar, E. W. (2001). Evaluación Sensorial: Una metodología actual para tecnología de alimento. Guayaquil.

Ramaswamy, H. A. (1996). THERMAL PROCESSING OF FRUITS. PENSYLVANIA.

Reuter, H. (1993). ASEPTIC PROCESSING OF FOOD. LANCASTER.

Stumbo. (1973). Thermobacteriology in food processing. New york.

WWW 1. (2012). http://passthrough.fw-notify.net/download/164418/http://www.cedest.org/publicaciones/autoclave_15_1.pdf.