

Carlos Elías Peñafiel
Eduardo Morales Soriano
S. Melissa García Torres

MANUAL DE TRATAMIENTO TÉRMICO DE ALIMENTOS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DR. JESÚS ABEL MEJÍA MARCACUZCO
Rector

DR. JORGE LUIS ALIAGA GUTIÉRREZ
Vicerrector Académico

MG.SC. EFRAÍN DONALD MALPARTIDA INOUYE
Vicerrector de Investigación

DR. JOSÉ CARLOS VILCAPOMA
Jefe del Fondo Editorial

Carlos Elías Peñafiel - Eduardo Morales Soriano - S. Melissa García Torres
MANUAL DE TRATAMIENTO TÉRMICO DE ALIMENTOS
Lima: Fondo Editorial - UNALM. 2014; 154 p.

- © Carlos Elías Peñafiel
Eduardo Morales Soriano
S. Melissa García Torres
© Universidad Nacional Agraria La Molina
Av La Universidad s/n La Molina

Derechos reservados
ISBN: N° 978-612-4147-29-6
Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú:
Registro: N° 2014-08707

Primera Edición: julio de 2014 - Tiraje: 500 ejemplares
Impreso en Perú – Printed in Peru

Coordinación editorial:
José Carlos Vilcapoma

Diseño y diagramación de carátula:
Roxana Perales Flores

Diseño, diagramación e impresión :
Q y P Impresores S.R.L
Av. Ignacio Merino 1546 Lince
E-mail: qypimpresores2005@yahoo.com

Queda terminantemente prohibida por la Ley del Perú la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, químico, óptico, incluyendo sistema de fotocopiado, sin autorización escrita de la Universidad Nacional Agraria La Molina y de los Autores.

Todos los conceptos expresados en la presente obra son responsabilidad de los autores.

*Los autores queremos expresar un sincero
agradecimiento a nuestra Alma Mater, la
Universidad Nacional Agraria La Molina y ahora,
como docentes, a nuestros estudiantes por ser
motivo de inspiración de la presente obra.*

*Ante todo quiero agradecer a Dios que es la fuente de amor y
sabiduría, nuestro refugio en la tormenta; así mismo, quiero
expresar mi profundo agradecimiento a mi esposa Jane, por
su amor y comprensión y a mis hijas amadas: Gissela, Susana
y Carla, que son mi fortaleza y fuente de inspiración.*

Carlos Elías P.

*Agradezco a mis padres y hermana,
pilares fundamentales de mi vida.*

Eduardo Morales

*Agradecer a Dios y a mi familia,
por ser la motivación y alegría de mi vida.*

Melissa García

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	9
PRÓLOGO	11
CAPÍTULO I	
DEFINIENDO CONCEPTOS PREVIOS	13
Rango de conservación por calor	13
Zona de peligro	13
Enfriamiento rápido	14
Competencia microbiana	15
Factores que definen que tan severo es un tratamiento térmico	15
Aplicación de múltiples barreras en la conservación de alimentos	16
CAPÍTULO II	
PANORAMA HISTÓRICO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO DE ALIMENTOS	19
Napoleón Bonaparte	19
Nicolás Appert	19
Louis Pasteur	20
CAPÍTULO III	
CLASIFICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS	23
Por la conveniencia del tratamiento térmico	24
Por la severidad del tratamiento térmico	25
CAPÍTULO IV	
TRATAMIENTOS TÉRMICOS POCO SEVEROS	27
Escaldado	27
Pasteurización	28
1. Pasteurización a baja temperatura y largo tiempo (LTLT)	29
2. Pasteurización a alta temperatura y corto tiempo (HTST)	29
3. Sistemas de Pasteurización para alimentos sólidos	30
4. Delta de T (ΔT)	32

CAPITULO V	
TRATAMIENTOS TÉRMICOS SEVEROS	35
Esterilización	35
Esterilización después del envasado	35
Esterilización antes del envasado: sistema UHT	36
Tratamiento térmico para someter a cocción los alimentos	37
Ecuación de Arthenius	37
Concepto actualizado de la esterilización por calor	37
Esterilización comercial	38
CAPÍTULO VI	
FACTORES QUE INFLUYEN EN LA REDUCCIÓN DE MICROORGANISMOS	39
Tipos de calor	39
Resistencia del microorganismo	40
Cinética de destrucción térmica	42
CAPÍTULO VII	
CINÉTICA DE DESTRUCCIÓN TÉRMICA	43
Ecuación de sobrevivencia	43
Tiempo de reducción decimal “D”	48
Efecto de la temperatura sobre “K” y “D”	50
Establecimiento de un rango de destrucción térmica para el <i>Clostridium botulinum</i>	51
Valor de esterilización (VE) y Letalidad F	54
Probabilidad de Deterioro (PD)	56
Microorganismos tomados como base para el Tratamiento Térmico	57
CAPÍTULO VIII	
CURVA DE RESISTENCIA TÉRMICA, MUERTE TERMICA Y VALOR “Z”	61
Curva de resistencia térmica	61
Valor “Z”	63
Curva de muerte térmica	63
Ecuación de muerte térmica	65
Ecuación de resistencia térmica	65
Utilidad de la ecuación de muerte térmica	66
Velocida letal (L) y letalidad (Fo)	70
CAPÍTULO IX	
LETALIDAD EN DOS TIPOS DE PROCESOS: CONTINUO Y BATCH	71
Letalidad en procesos de transferencia de calor instantánea: placa.	71
Cuando no se da la transferencia de calor instantánea: latas.	72
Monitoreo del tratamiento térmico en tiempo real	72
1. Monitoreo a tiempo real alámbrico	72
2. Monitoreo a tiempo real inalámbrico	73
Métodos para determinar la letalidad en los procesos térmicos	74

CAPÍTULO X	
MÉTODO GENERAL	75
Métodos para hallar el área bajo la curva	75
¿Cuándo apagar la llave de vapor?	78
Optimización del tratamiento térmico	85
CAPÍTULO XI	
MÉTODO DE BALL	87
Curva de penetración de calor	90
Ecuación de Ball	91
ANEXO I	
Deducción del factor para transformar logaritmo neperiano a logaritmo decimal	93
ANEXO 2	
Tablas de Ball	94
PROBLEMAS DE TRATAMIENTO TÉRMICO	101
1. Cinética de destrucción térmica	102
2. Curva de resistencia térmica, muerte térmica y valor Z	112
3. Método general	118
4. Método de Ball	129
5. Comparación del método general con el Método de Ball	136
GLOSARIO	151
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	153

PRESENTACIÓN

La Universidad Nacional Agraria La Molina se complace en presentar el libro titulado *Manual de Tratamiento Térmico de Alimentos*, el cual constituye un valioso aporte al desarrollo de la ingeniería de alimentos. Esta publicación se realiza dentro del programa del Fondo Editorial de la Universidad, la cual viene publicando libros de las diferentes especialidades y cuyos autores son profesores de esta Casa de Estudios.

Es preocupación de los Gobiernos Locales, del Estado y de Organizaciones Internacionales que las empresas ofrezcan alimentos inocuos. Este manual va por ese camino, contribuyendo así a alcanzar el objetivo de la inocuidad, desarrollando temas como cinética de destrucción térmica, factores que influyen sobre la destrucción de microorganismos, ya sea en tratamientos como la esterilización o la pasteurización, termotratamientos equivalentes, para finalizar con métodos de determinación del tiempo de muerte térmica. Todo esto, con el fin de no llegar a sobretratamientos que incidan negativamente sobre la calidad nutricional y sensorial, ni subtratamientos que pongan en peligro la salud del consumidor.

En este manual se da un enfoque simple a un tema relativamente complejo, haciéndolo amigable para el mejor entendimiento del lector. Asimismo, contribuye a la formación de los ingenieros en industrias alimentarias, quienes tienen por principal misión la conservación de los alimentos, siendo el tratamiento térmico uno de los métodos más importantes. Es por ello que veo complacido que los autores, docentes de nuestra Casa de Estudios y que vienen dictando esta materia por mucho tiempo, se hayan animado a plasmar su experiencia en este manual. Estoy seguro que servirá de guía y fortalecerá la formación de los futuros ingenieros en industrias alimentarias, a quienes inicialmente se orientó esta obra, pero que seguro trascenderá los límites de nuestra universidad para alcanzar otras mentes ávidas por conocer esta materia.

La Universidad Nacional Agraria La Molina, agradece a los autores por su aporte, al hacer realidad la publicación de este excelente libro.

Dr. Jesús Abel Mejía Marcauzco
Rector
Universidad Nacional Agraria La Molina

PRÓLOGO

El tratamiento térmico de los alimentos constituye uno de los métodos de conservación de alimentos más importantes; sin embargo, su entendimiento y aplicación se ven limitados por la forma como normalmente se aborda este tema en los libros tradicionales.

La necesidad de que el lector cuente con un material que le permita ir introduciéndose secuencialmente en el tema; detalle los aspectos críticos en la conservación de alimentos mediante el calor; presente una miscelánea de problemas resueltos detalladamente para su seguimiento y comprensión y, que estas características sean reunidas en un mismo documento, fueron las razones que motivaron a los autores a la elaboración del presente manual.

Esta obra consta de un total de once capítulos, en los que se usa un lenguaje sencillo y claro, resaltando los conceptos principales en cada uno de ellos y adicionalmente cuenta con una miscelánea de problemas resueltos.

Los capítulos I y II presentan los conceptos previos y la evolución histórica del tratamiento térmico de alimentos, con la finalidad de contextualizar al estudiante en el tema. En el capítulo III se muestra la clasificación de los tratamientos térmicos, los mismos que se desarrollan en los capítulos IV y V, en los que se describen el Escaldado y la Pasteurización, como tratamientos poco severos y la Esterilización como un tratamiento térmico severo. En el capítulo VI se exponen los factores que influyen en la reducción de microorganismos, entre ellos la Cinética de Destrucción Térmica, la misma que se desarrolla detalladamente en Capítulo VII. En el Capítulo VIII se discuten los aspectos relacionados a Termotratamientos Equivalentes y la resistencia térmica de los microorganismos, en tanto que la letalidad en dos tipos de procesos: continuo y en batch, se describen en el capítulo IX. El capítulo X y XI presenta el Método General y el de Ball, para la determinación del tiempo de muerte térmica y el tiempo de proceso.

Finalmente los autores quieren expresar su deseo de que esta obra sea considerada como un material de consulta frecuente por los estudiantes del curso de Tecnología de Alimentos I que se imparte en la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina, siendo ellos la fuente de inspiración inicial. Sin embargo, confiamos de que su uso no se limitará a nuestra casa de estudios, sino que también será consultado por estudiantes de otras universidades y carreras afines, personal de producción de alimentos y a toda persona interesada en elaborar alimentos seguros para los consumidores.

Los autores

CAPÍTULO I

DEFINIENDO CONCEPTOS PREVIOS

En este capítulo vamos a definir algunos conceptos que serán de utilidad más adelante

Los conceptos a definir son:

- Rango de conservación por calor
- Zona de peligro
- Enfriamiento rápido
- Competencia microbiana
- Factores que definen que tan severo es un tratamiento térmico
- Aplicación de múltiples barreras en la conservación de alimentos

Estos conceptos básicos nos ayudarán a entender mejor el tratamiento térmico de alimentos.

RANGO DE CONSERVACIÓN POR CALOR

En la Figura 1 podemos ver panorámicamente la aplicación de temperaturas para la conservación de alimentos. Se puede observar que en la conservación de alimentos por calor se aplican temperaturas comprendidas en el rango de 65 a 150 °C.

ZONA DE PELIGRO

Entre 5 y 65 °C se favorece el crecimiento de microorganismos. Dentro de este rango pueden crecer bacterias patógenas, benéficas o alterantes, y se le denomina Zona de Peligro (Figura 2). El tratamiento térmico se enfoca en la destrucción de microorganismos patógenos y no de los benéficos ni alterantes.

La zona de peligro es el rango de temperatura de mayor reproducción de microorganismos patógenos, entre 5 y 65°C, por lo que se debe de pasar rápidamente este rango a fin de que el alimento se encuentre en las temperaturas protectoras.

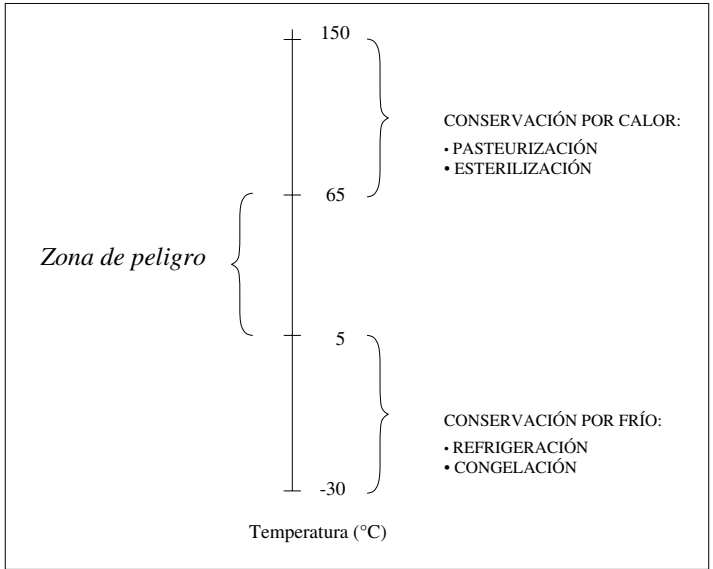


Figura 1: Aplicación de temperaturas en la conservación de alimentos.

ENFRIAMIENTO RÁPIDO

Después de todo tratamiento térmico, el enfriamiento debe ser rápido; es decir, se debe pasar rápidamente la zona de peligro para evitar el crecimiento de patógenos. Es así que los enlatados, las mermeladas, los néctares, los jamones y otros productos tratados térmicamente se someten inmediatamente después de un tratamiento térmico, a un enfriamiento rápido ya que algunos microorganismos pueden sobrevivir y crecer nuevamente al quedarse mucho tiempo en el rango de la zona de peligro.

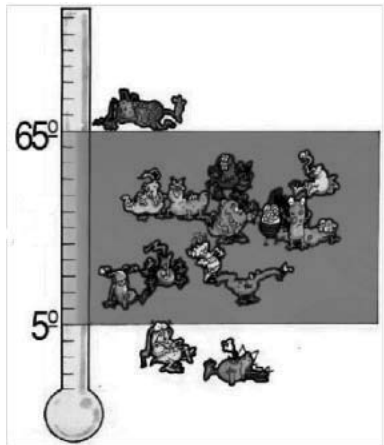


Figura 2: Zona de peligro: entre 5 y 65°C

Después de todo tratamiento térmico se debe aplicar un enfriamiento rápido y pasar velozmente la zona de peligro para evitar el crecimiento de microorganismos que sobrevivieron al tratamiento térmico.

COMPETENCIA MICROBIANA

En los sistemas biológicos generalmente se puede considerar que hay una competencia entre microorganismos patógenos, alterantes y benéficos que “pelean” por el sustrato, lo que queda graficado en la Figura 3. ¿Quién ganará la pelea?, el que encuentre las mejores condiciones para que se desarrolle a mayor velocidad.

Todos los microorganismos requieren de un sustrato y de factores tanto externos (humedad relativa, temperatura, etc.) como internos (pH, aw, potencial redox, etc.), los mismos que son gobernados por los tecnólogos de alimentos. De ellos depende otorgar las condiciones apropiadas para que crezcan unos y mengüen otros, para lo cual se debe conocer los requerimientos y factores limitantes de los microorganismos. Cabe indicar también que para controlar patógenos o alterantes se puede adicionar un cultivo starter (microorganismos benéficos) que por su elevado número puede ganar fácilmente la batalla.

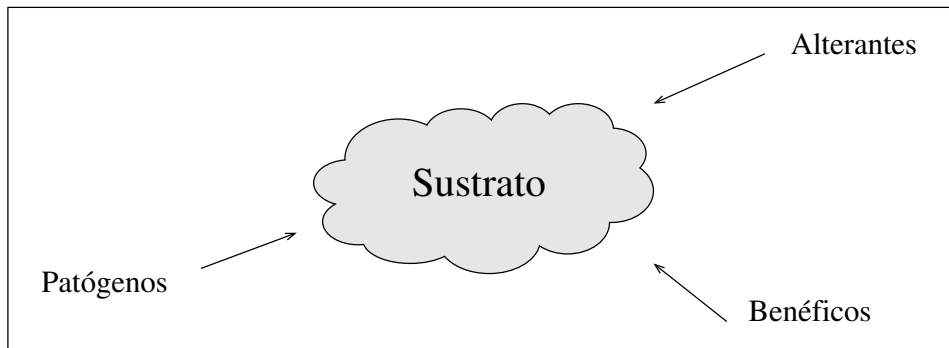


Figura 3: Competencia microbiana

FACTORES QUE DEFINEN QUE TAN SEVERO ES UN TRATAMIENTO TÉRMICO

Si el alimento presenta un pH por debajo de 4.6, por lo general es sometido a tratamientos térmicos con aplicación de temperaturas por debajo de 100 °C, mientras que si presentara un pH mayor a 4.6, por lo general se realizan procesos térmicos en los que se usan temperaturas por encima de los 100 °C.

Por otro lado, generalmente se cumple que a mayor temperatura aplicada en un tratamiento térmico, ya sea por encima o por debajo de los 100°C, los tiempos son menores y viceversa. Una vez determinado si el pH del alimento se encuentra por encima o por debajo de 4.6, los factores que definen la severidad del tratamiento térmico son el tiempo y la temperatura

APLICACIÓN DE MÚLTIPLES BARRERAS EN LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS

Una de las actividades más importantes del Tecnólogo de Alimentos es la conservación. Para tal efecto, se pueden gobernar factores tanto externos como internos, siendo los factores internos: Aw, pH, etc., y los factores externos: humedad relativa, temperatura, etc.

El objetivo principal es evitar el deterioro para lo cual se utilizan barreras u obstáculos. Estas barreras han sido utilizadas desde la antigüedad, generalmente, más de una barrera a la vez.

Existen dos teorías que tratan de explicar la conservación de alimentos aplicando múltiples barreras: la Tecnología de Obstáculos y la Conservación Multifactorial

a. Tecnología de Obstáculos

El concepto de la conservación de alimentos debido a la aplicación de múltiples barreras ya se aplicaba desde antes de Leistner.

En la década de 1980, Leistner le dio forma a esta manera de conservar los alimentos introduciendo el término “Tecnología de Obstáculos”.

- Tecnología de barreras
- Métodos combinados
- Procesos combinados
- Combinación de técnicas
- Preservación combinada
- Hurdles technology

La Tecnología de Obstáculos describe la utilización de diferentes obstáculos combinados en la preservación de alimentos.

La explicación de lo que significa “Tecnología de Obstáculos” va acompañada por un dibujo de carrera de vallas (obstáculos). En el dibujo (Figura 4), las bacterias son representadas como atletas y los diferentes obstáculos como barreras de una carrera que la bacteria (atleta) tiene que superar uno a uno.

La crítica a esta teoría radica en que puede dar la falsa impresión de que:

- Las bacterias superan los obstáculos uno a la vez, y
- Que los obstáculos no interactúan entre ellos (que no hay sinergismo).

Lo que no es estrictamente correcto.



Figura 4. Tecnología de obstáculos

b. Conservación Multifactorial

Por tal motivo, ciertos autores, como Adams, proponen que la representación de las barreras sea como una línea de ladrillos de una pared, la altura de esta pared irá aumentando en la medida de que se aumenten los obstáculos. A este concepto se le llama “Conservación Multifactorial”.

La Tecnología de Obstáculos y la Conservación Multifactorial son teorías que tratan de explicar la conservación de alimentos con el uso simultáneo de más de una barrera.

Cuadro 1: Barrera principal y su efecto sobre los microorganismos.

Barrera principal	Efecto
<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del pH • Adición de un ácido orgánico lipofílico • Reducción de la Aw • Reducción de O₂ 	<ul style="list-style-type: none"> • Fuerza a la célula a gastar energía para expulsar los H⁺ que se generan en el interior de la célula. • Incremento de H⁺ en el interior de la célula y disfunción de la membrana celular. • Se fuerza la osmorregulación, lo que lleva a la síntesis y acumulación de solutos. • Inhibición del desarrollo de aerobios estrictos y reducción de la generación de energía en los anaerobios facultativos.

PROBLEMA 2

Se tienen los siguientes datos de penetración de calor de arverjas en salmuera. Se pide hallar el tiempo de Ball óptimo para su tratamiento térmico, sabiendo que el microorganismo de referencia tiene un $Z = 10^{\circ}\text{C}$ y se desea un $F_0 = 6$ min.

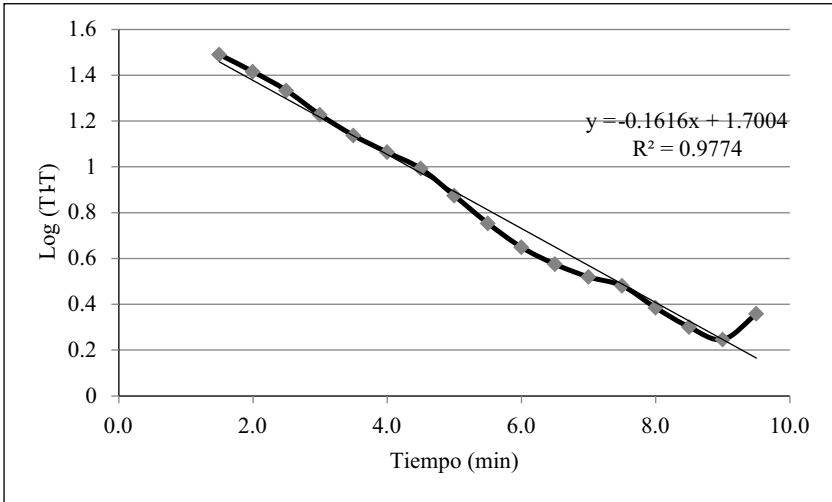
Tiempo (min)	TR ($^{\circ}\text{C}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)
0.0	87.222	74.507
0.5	106.89	76.476
1.0	110.699	79.607
1.5	120.777	85.29
2.0	111.892	90.173
2.5	117.09	94.67
3.0	117.912	99.345
3.5	114	102.502
4.0	112.973	104.628
4.5	117.104	106.377
5.0	119.381	108.718
5.5	117.381	110.535
6.0	116.255	111.745
6.5	115.421	112.443
7.0	114.561	112.896
7.5	115.421	113.175
8.0	116.5	113.776
8.5	115.917	114.203
9.0	115.635	114.437
9.5	116.939	114.659

SOLUCIÓN

Hallar fh (Inversa de la pendiente de la curva de calentamiento).

Tiempo (min)	T1 (°C)	T (°C)	Log (T1-T)
0.0	87.222	74.507	
0.5	106.89	76.476	
1.0	110.699	79.607	
1.5	120.777	85.29	1.49009901
2.0	111.892	90.173	1.41542411
2.5	117.09	94.67	1.33304403
3.0	117.912	99.345	1.22672876
3.5	114	102.502	1.13665716
4.0	112.973	104.628	1.06340842
4.5	117.104	106.377	0.99224414
5.0	119.381	108.718	0.8740177
5.5	117.381	110.535	0.75319991
6.0	116.255	111.745	0.64884771
6.5	115.421	112.443	0.5748412
7.0	114.561	112.896	0.51904004
7.5	115.421	113.175	0.48072538
8.0	116.5	113.776	0.38453262
8.5	115.917	114.203	0.30037806
9.0	115.635	114.437	0.24625231
9.5	116.939	114.659	0.35793485

Promedio de $T^{\circ} = 116.185824$



Con los datos, hallamos los siguientes valores:

DATO	VALOR
Intercepto	1.700380676
Pendiente	-0.16159461
fh	6.188325198
0.58 CUT	0.87
Log (T1 – TPSI)	1.559793365
(T1 – TPSI)	36.29053453
(T1 – T0)	41.67882353
Jh	0.870718784
U	18.60239652
fh/U	0.332662794
Log g	-2.32337206
Tiempo Ball	24.03029046 min
T. Proceso	24.90029046 min

GLOSARIO

- t = Tiempo
- T = Temperatura
- TA = Temperatura aparente
- T_{psi} = Temperatura Pseudo – inicial
- Z = Resistencia térmica (°C ó °F)
- D = Tiempo de reducción decimal (min)
- F = Tiempo de muerte térmica en un tratamiento de esterilización, también llamado letalidad (min)
- K = constante de velocidad de destrucción térmica (ufc/min, células/min, esporas/min)
- L = Velocidad letal (adimensional)
- F₀ = Tiempo de muerte térmica en la esterilización a temperatura estándar o de referencia (min)
- VE = Valor de Esterilización
- N = Concentración de la población de microorganismos
- N₀ = Concentración de la población inicial de microorganismos
- P = Tiempo de muerte térmica en un tratamiento de pasteurización (min)
- P₀ = Tiempo de muerte térmica en la pasteurización a temperatura estándar o de referencia (min)
- C = cocción
- g = Diferencia entre la temperatura de retorta y la temperatura máxima alcanzada por el alimento en el punto más frío (°C ó °F)
- f_h = Tiempo requerido para que la curva de penetración de calor atraviese un ciclo logarítmico en el calentamiento (min)
- j_h = Factor de retraso en el calentamiento
- t_B = Tiempo de Ball (min)
- tp_B = Tiempo de proceso de Ball (min)
- tp_T = Tiempo de proceso Total (min)
- CUT = Tiempo en el que la temperatura de la retorta (autoclave) alcanza la temperatura del proceso (min)
- TR = Temperatura de la retorta o temperatura del vapor (°C ó °F)
- T_i = Temperatura del producto en el punto más frío (°C ó °F)
- U = Tiempo de muerte térmica en un tratamiento de esterilización, también llamado letalidad (min) en el Método de Ball