



UNIVERSIDAD
DE LAS AMÉRICAS PUEBLA

Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos



Volumen 1 / No. 1
Ago - Dic 2007



Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos 1 (2007)

Temas
Selectos de
Ingeniería de
Alimentos



Cuerpo editorial

Dr. Jorge Welti Chanes

I. A. Verónica Rodríguez Martínez

I. I. A. María Miriam Vázquez Aguilar

Q. F. B. Teresa Gladis Cerón Carrillo

M. C. Irma Aída Gómez Sánchez



CONTENIDO

Cuerpo editorial	i
Editorial.....	iii
Fundamentos de la determinación de parámetros cinéticos para microorganismos de interés en tratamiento térmico de alimentos	1
Historia y Estado Actual del Botulismo en Alimentos	15
Microorganismos de importancia en el tratamiento térmico de alimentos ácidos y de alta acidez	24
Evolución y estado actual de envases utilizados en el procesamiento térmico de alimentos .	33
Desarrollo y estado actual de los equipos utilizados en el procesamiento térmico de los alimentos	42
Atmósferas controladas: principios, desarrollo y aplicaciones de esta la tecnología en alimentos	55
Tecnología de empacado en atmósferas modificadas: principios, desarrollo en investigación y aplicaciones.....	66
Aspectos tecnológicos de la congelación en alimentos	80
Descripción y aplicaciones de equipos de congelación para la industria de alimentos	97



Editorial

Con el mayor de los gustos presento este primer número de “Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos”. En él se incluyen nueve contribuciones del tipo revisión bibliográfica sobre tópicos de tratamiento térmico de alimentos, uso de atmósferas modificadas y controladas, así como congelación. Se trata de temas de la Ingeniería de Alimentos en los que a pesar del tiempo transcurrido y de la extensa aplicación que han tenido algunas de estas tecnologías, se sigue generando información que ha permitido una actualización e incluso reconsideración de algunos principios aplicados a estas formas de procesamiento de alimentos.

Esta publicación tiene la intención de difundir información sobre el “estado del arte” de los diversos tópicos de la Ingeniería de Alimentos con el fin de provocar un cambio en los sistemas actuales de producción de alimentos procesados, de tal manera que con un conocimiento científico mejor cimentado se puedan obtener alimentos seguros, de mejor calidad y de una manera más eficiente; todo esto repercutiendo en la satisfacción del consumidor.

Por otro lado, la generación de esta publicación nos sirve para ejemplificar lo importante que es para un profesionista la capacidad de comunicarse, en este caso de manera escrita. Con este ejercicio se busca que los estudiantes demuestren que son capaces de generar un artículo de tipo técnico/científico en el que se difunden conocimientos actuales, después de haber sido sometidos a un análisis sistemático. Seguramente este tipo de ejercicio les ayudará a desarrollar su capacidad de comunicación y repercutirá en convertirlos en mejores profesionistas.

Finalmente, se hace una invitación a conocer y difundir este material entre la comunidad interesada.

Mto. Fidel T. Vergara Balderas
Dpto. Ing. Química y Alimentos
Universidad de las Américas, Puebla



Fundamentos de la determinación de parámetros cinéticos para microorganismos de interés en tratamiento térmico de alimentos

M. M. Vázquez-Aguilar

Departamento de Ingeniería Química y de Alimentos, Universidad de las Américas-Puebla, San Andrés, Cholula, Pue., México.

Resumen

La importancia fundamental del uso de tratamiento térmico en el área de alimentos es la inactivación de microorganismos, ya sea de células vegetativas o esporas, principalmente de patógenos causantes de problemas de salud pública; o microorganismos no patógenos, deteriorativos que pueden ocasionar problemas cuando los sistemas alimenticios no son manejados o almacenados adecuadamente. Para llevar a cabo un tratamiento térmico adecuado, se deben considerar los parámetros cinéticos D y z, con el fin de obtener una adecuada predicción de la inactivación microbiana. Para evaluar la inactivación microbiana o la eficiencia de los procesos se han originado modelos matemáticos, los más difundidos y usados son el cálculo de la constante z y el modelo de Arrhenius, presentando variaciones significativas y considerándose más usado para fines de cálculo de inactivación microbiana en sistemas alimenticios el segundo modelo. En este documento se presenta una revisión sobre la importancia del tratamiento térmico, la termorresistencia de los microorganismos, el cálculo de los parámetros cinéticos (D y z) de inactivación microbiana y una comparación entre los modelos más conocidos para el cálculo de dichos parámetros.

Palabras clave: Parámetros cinéticos, valores D y z, modelo de Arrhenius.

Abstract

The most important use of heat treatment in food technology is the microorganisms inactivation, either vegetative cells or spores, primarily pathogens; or non-pathogenic microorganisms, which can cause problems when the systems foodstuffs are not properly handled or stored. To conduct a proper heat treatment, one should look at the kinetic parameters D and z, to obtain an adequate prediction of microbial inactivation. To assess the microbial inactivation or the processes efficiency there have been created mathematical models, the most widely used are the calculation of the z value and the Arrhenius model, the second model is the most frequently used for calculation of microbial inactivation in food systems. This paper presents a review about the importance of heat treatment, the microorganisms thermal resistance, the calculation of the kinetic parameters (D y z) for the microbial inactivation and a comparison between the known models to calculate these parameters.

Keywords: Kinetic's parameters, D and z values, Arrhenius equation.

Introducción

Una de las principales razones por la que los alimentos son calentados, es la inactivación de microorganismos patógenos y sus esporas, sin embargo, el proceso de calentamiento en alimentos induce cambios físicos o reacciones químicas que afectan ciertas características sensoriales (Lewis y Heppell 2000).

La esterilización por calor de productos alimenticios envasados, es una tecnología atribuida al trabajo de Nicholas Appert en el siglo XVII. Los procesos térmicos varían considerablemente en su severidad, dependiendo de la vida útil que se le quiera dar al producto, el tipo de producto, el medio de esterilización, el contenedor del alimento y otras características de calidad que se quieran preservar u otorgar (Lewis y Heppell, 2000).

La cinética se encarga de estudiar las velocidades de reacción que pueden presentar cambios en el alimento o en la carga microbiana que contiene, cuando son afectados por temperatura, velocidad de calentamiento, humedad, pH, presión, la presencia y cantidad de reactantes y otras condiciones (Romero et al., 2004).

En la actualidad existen modelos matemáticos que permiten predecir el crecimiento de un amplio rango de microorganismos patógenos y deteriorativos de alimentos, bajo distintas combinaciones de factores ambientales, intrínsecos y extrínsecos. El modelado matemático se realiza asumiendo condiciones constantes para determinar los valores de los parámetros cinéticos de crecimiento(Giannuzzi et al.,1998; Devlirghere et al.,1998; Aggelis et al.,1998; Augustin y Carlier, 2000).

El objetivo de éste documento es presentar una revisión sobre los parámetros cinéticos D y z, en la inactivación de los microorganismos causantes de los principales problemas en la industria de alimentos; así como dar a conocer los modelos más conocidos para el cálculo de dichos parámetros.

Revisión Bibliográfica

Los microorganismos tienen diferentes resistencias al calor, por ejemplo, las células vegetativas y las levaduras son más susceptibles, mientras que las esporas son más resistentes a altas temperaturas (Lewis y Heppell 2000).

De acuerdo con los estudios realizados por Bron y Booth (1991), el medio que rodea al microorganismo tiene una gran influencia, especialmente el pH, la actividad de agua (a_w), y la concentración y la diversidad de materiales biológicos en el sistema alimenticio (Lewis y Heppell, 2000).

El tipo de alimento al que se va a someter a tratamiento térmico, puede estar asociado con microorganismos que se desarrollan o presenta de manera habitual en el sistema bajo condiciones determinadas, y a este microorganismo lo caracteriza una resistencia térmica que se necesita conocer para la aplicación del proceso térmico y con ello, asegurar la esterilidad y seguridad del producto. Adicionalmente, con la aplicación del tratamiento térmico adecuado, las enzimas pueden inactivarse, con lo que se logra mantener un alto valor nutrimental en el producto. Todos estos factores requieren el conocimiento del rango de muerte térmica o degradación bioquímica

en función del tiempo y de la temperatura (Lewis y Heppell, 2000).

Tanto las células como las esporas de los microorganismos difieren mucho en la resistencia a las temperaturas elevadas. Algunas de estas diferencias son debidas a factores que se pueden controlar, aunque otras son propias de los microorganismos y no siempre se pueden controlar (Lewis y Heppell, 2000).

Factores que influyen en la termorresistencia de los microorganismos y que deben ser tomados en cuenta para la aplicación del tratamiento térmico

1. Tipo de microorganismo

Los microorganismos patógenos pueden presentar variación en la resistencia a la temperatura; algunos son termolábiles, como los *Campylobacter*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Salmonella*, *Lysteria* y la de mayor preocupación *Escherichia coli O157*, los cuales son inactivados mediante la pasteurización; de gran resistencia es el *Bacillus cereus*, el cual puede sobrevivir a la pasteurización y crecer a bajas temperaturas. El microorganismo patógeno más termorresistente y de mayor preocupación en la industria de alimentos es el *Clostridium botulinum* (Elliot et al., 1983).

Por lo anterior, se considera para la aplicación de el tratamiento térmico la variación de la resistencia a la temperatura de cada microorganismo, un ejemplo de esporas termorresistente son las del microorganismo *Bacillus stearothermophilus*, que en la mayoría de alimentos de baja acidez enlatados, se toma como indicador de la inactivación de microorganismos patógenos, ya que este no se considera de riesgo para la salud

pública y es permitida su manipulación, y con la inactivación de este, se asegura la destrucción de el microorganismo patógeno *Clostridium botulinum* (Elliot y otros 1983).

2. Relación tiempo-temperatura.

Bajo una serie de condiciones, el tiempo necesario para destruir las células vegetativas o las esporas disminuye conforme aumenta la temperatura. Esto se puede observar con los resultados obtenidos por Bigelow y Esty (1920) presentados a continuación en la tabla I.

Tabla I. Influencia de la temperatura de calentamiento sobre el tiempo necesario para destruir las esporas de las bacterias del agriado plano.

Temperatura, °C	Tiempo de muerte térmica o tiempo para destruir todas las esporas, min.
100	1200
105	600
110	190
115	70
120	19
125	7
130	3
135	1

Bigelow y Esty, 1920

Otra forma de aumentar la termorresistencia es por causa de los rangos de temperatura durante los cuales el microorganismo crece, se ha reportado que los microorganismos con rangos de calentamiento debajo o igual a $0.7^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$ y precondicionados a entre 45 y 50°C durante 5 a 60 minutos aumentan su termorresistencia (Hyun-Jung et, al. 2006).

3. Concentración inicial de esporas o células vegetativas.

Entre mayor sea el número de esporas, mayor va a ser el tratamiento térmico. En la tabla II se muestra los resultados que

obtuvieron Bigelow y Esty (1920), cuando sometieron a tratamiento térmico (120°C) un jugo de maíz (pH 6,0) que contenía esporas de un microorganismo termófilo procedente de una conserva enlatada que se había alterado.

Tabla II. Influencia del número inicial de esporas sobre el tiempo necesario para destruirlas

Concentración inicial de esporas, número/ml	Tiempo de muerte térmica, o tiempo necesario para destruir las esporas, min. a 120°C
50000	14
5000	10
500	9
50	8

Bigelow y Esty, 1920

Se puede observar que el número de esporas influyó en el tiempo de tratamiento a temperatura constante (120°C), lo que nos indica que mientras más esporas haya que eliminar el tiempo de tratamiento va a ser mayor (Lewis y Heppell, 2000).

4. Antecedentes de las células vegetativas o esporas.

En su grado de termorresistencia influirán las condiciones del medio bajo las cuales han crecido las células, o se han originado las esporas (Frazier y Westhoff, 1993):

El medio de cultivo. La influencia que ejercen los nutrientes del medio, su tipo y su concentración, será distinta para cada microorganismo, aunque, en general, cuanto más rico es el medio de crecimiento más termorresistentes son las células vegetativas o esporas (Frazier y Westhoff, 1993).

La temperatura de incubación. La termorresistencia aumenta conforme la temperatura de incubación aumenta, aproximándose a la temperatura óptima de

crecimiento del microorganismo, y en algunos casos, la termorresistencia aumenta conforme se aproxima a su temperatura máxima de crecimiento (Frazier y Westhoff, 1993).

La fase de crecimiento o edad. La termorresistencia de las células vegetativas depende de la fase de crecimiento en que se encuentren, mientras que la termorresistencia de las esporas depende de su edad. La termorresistencia de las células bacterianas es máxima en la etapa final de la fase lag, y casi tan elevada en la fase estacionaria máxima. Durante la fase de crecimiento logarítmico las células vegetativas son menos termorresistentes. En cuanto a las esporas se refiere, las esporas jóvenes (inmaduras) son menos termorresistentes que las maduras, por lo que se necesita una menor intensidad de tratamiento térmico para la destrucción de las esporas en las primeras etapas de su desarrollo (Frazier y Westhoff, 1993).

Deshidratación. La destrucción de las esporas deshidratadas de algunas bacterias resulta más difícil que la de aquellas que retienen humedad, aunque parece ser que esto no aplica a todas las esporas bacterianas (Frazier y Westhoff, 1993). Lo anterior se debe a que cuando se aplica el tratamiento térmico, el agua que contienen las esporas eleva la temperatura de estas provocando su destrucción.

5. Composición del sustrato.

La composición del sustrato en el cual se encuentran las células vegetativas o esporas influye en la velocidad de inactivación de los microorganismos al someterse al tratamiento térmico, ejemplos de variaciones de la composición se presentan a continuación:

Humedad. El calor húmedo es un agente antimicrobiano mucho más eficaz que el calor seco. Mann y Brashears (2006), realizaron estudios de la contribución de la humedad a la letalidad de la *Salmonella* durante el proceso térmico. Reportaron que la destrucción de la *Salmonella* durante el proceso térmico varía a diferentes niveles de humedad con temperaturas que van desde la temperatura de cocción normal hasta 82.2°C. En los resultados muestran una interacción significativa entre la letalidad del microorganismo y la humedad, ya que a una humedad del 30% se presenta una letalidad del 100%, a este porcentaje de humedad se dice que se presenta el máximo potencial de letalidad, este tratamiento es equivalente a obtener letalidad de 6.5 log. A rangos de humedad menores no hubo buenos resultados, sin embargo a rangos de humedad entre 60 y 90% fue suficiente para obtener una reducción mayor o igual a 6.5 log de reducción de *Salmonella* (Mann y Brashears, 2006).

En otro trabajo realizado por Pranhan et al., (2006), reportan el efecto de la humedad en la inactivación de *Listeria innocua*. Los resultados que reportan señalan que con un tratamiento térmico a temperaturas de 177 y 200°C durante un tiempo de 2 a 10 minutos a una humedad entre 70 y 75% (humedad por volumen), y una velocidad de aire de 1 m/s, presenta una reducción de 0.3 a 1.4 ciclos logarítmicos y de 0.8 a 1.8 ciclos logarítmicos a 177°C y 200°C respectivamente (Pranhan et al., 2006).

La termorresistencia de las levaduras y de sus esporas al calor húmedo depende de la especie e incluso de la cepa y, naturalmente, del sustrato con el cual se somete a calentamiento. (Frazier et al.,

1993; Sillijer et al., 1983). La mayoría de los mohos y sus esporas son destruidos por el calor húmedo a 60°C en un tiempo de 5 a 10 minutos, aunque algunas especies son más termorresistentes. Las esporas asexuales son más termorresistentes, se necesita una temperatura superior de 5 a 10°C por arriba de las de micelio normal. Muchas especies del género *Aspergillus* y algunas de los géneros *Penicillium* y *Mucor* son más termorresistentes que otros mohos; *Byssochlamys fulva* (*Paecilomyces*) es un moho muy termorresistente que crece en la superficie de las frutas, provisto de ascosporas resistentes (Frazier et al., 1993; Sillijer et al., 1983).

La termorresistencia de las células vegetativas de las bacterias es de muy diferente grado en cada una de las especies, oscilando desde cierta termorresistencia de las poco patógenas, las cuales son destruidas con facilidad, hasta las termófilas, las cuales, para que se destruyan, es posible que se requiera el empleo de temperaturas de 80 a 90 °C durante varios minutos (tablas III y IV) (Frazier et al., 1993).

Concentración de iones hidrógeno (pH). Tanto las células vegetativas como las esporas, son más termorresistentes en un pH cercano a la neutralidad. Un aumento en la acidez como en la basicidad acelera su destrucción por el calor, sin embargo, un aumento hacia la acidez es más eficaz para la destrucción de los microorganismos (Norris y Pettipher 1987).

Tabla III. Tiempo de muerte térmica de algunas células bacterianas

Bacteria	Tiempo, min.	Temperatura °C
<i>Neisseria gonorrhoeae</i>	2.0-3.0	50
<i>Salmonella typhi</i>	4.3	60
<i>Staphylococcus aureus</i>	18.8	60
<i>Escherichia coli</i>	20-30	57.3
<i>Estreptococos fecales</i>	5.0 - 10	65
<i>Escherichia coli</i>	0.1	65
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2	55
<i>Streptococcus lactis</i>	2	55
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1.0 - 2.0	55
<i>Vibrio fischeri</i>	3	35
<i>Serratia sp.</i>	2	35
<i>Streptococcus thermophilus</i>	15	70-75
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	30	71

Frazier et al., 1993; Sillijer et al., 1983

Tabla IV. Tiempo de muerte térmica de algunas esporas bacterianas

Esporas de:	Tiempo para destruirlas a 100°C, min
<i>Bacillus anthracis</i>	1.7
<i>Bacillus subtilis</i>	15-20
<i>Clostridium botulinum</i>	100-330
<i>Clostridium calidotolerans</i>	520
Bacterias del agriado plano	más de 1030

Frazier y otros 1993

En el año de 1940, Cameron clasificó a los alimentos enlatados en alimentos ácidos, cuyo pH es inferior a 4,5 y alimentos de acidez baja, de pH superior a 4,5 (Tabla V).

Otros componentes del sustrato

- El cloruro sódico presente en los alimentos, a bajas concentraciones, puede tener acción protectora sobre algunas esporas.
- El azúcar protege a un grupo selecto de esporas y microorganismos. Así mismo, una baja concentración de glucosa puede determinar un aumento en la termorresistencia, pero el aumento de la concentración de azúcar puede dar lugar a que se forme la suficiente cantidad de ácido para provocar una disminución.
- La a_w influye en la termorresistencia de los microorganismos en los alimentos así como la concentración de solutos.

Tabla V. Clasificación de los alimentos respecto a pH (Cameron y Esty)

Acidez baja	pH > 5.0
Acidez media	4.5 - 5.0
Alimentos ácidos	3.7 - 4.5
Alimentos muy ácidos	pH < 4.0

Welti, 2007

Un amplio rango de microorganismos puede ser controlados en alimentos curados por medio de sales, dichos microorganismos son el *Cl. Botulinum*, *Cl. Perfringens*, *Salmonella* y *Staphylococcus spp.* En este tipo de alimentos el control de la a_w es importante para prevenir el crecimiento microbiano. De igual manera si se le adiciona cloruro de sodio en la fase acuosa de la carne, menos agua es disponible para el desarrollo microbiano (Norris y Pettipher 1987).

Parámetros cinéticos para la inactivación de microorganismos

Tiempo de reducción decimal o valor D

La muerte de microorganismos a una temperatura elevada es generalmente aceptada por la cinética de primer orden, la cual se basa en que a una temperatura constante el rango de muerte de los microorganismos es directamente proporcional con la concentración presente en un tiempo en particular (figura 1). El resultado de la cinética de primer orden es definido por el tiempo durante el cual el número de microorganismos muere de uno a diez de el número inicial en un intervalo de tiempo, independientemente del número actual (Rees y Bettison, 1991).

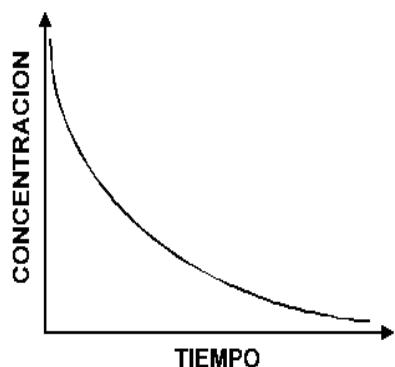


Fig. 1. Curva de supervivencia bacteriana.

Esto puede ser descrito, siguiendo un número de microorganismos, teniendo una temperatura letal constante y después teniendo el número de microorganismos que murieron en el tiempo dado. En este tiempo, la cantidad de microorganismos que decrecen es en un factor de 10 (o se reducen en un 90%), este valor es conocido como tiempo de reducción decimal (D) para estos microorganismos. En términos generales, el valor de D puede ser definido como el tiempo a cualquier temperatura para destruir el 90% de las esporas o células vegetativas de un microorganismo dado (Rees y Bettison, 1991).

Esto esta muy bien establecido en alimentos de baja acidez, el nivel aceptable de sobrevivencia de esporas de *Clostridium botulinum* es 10^{-12} ; que es, 1 espora en 10^{12} inicialmente (1 en 1,000,000,000,000) puede sobrevivir el proceso térmico. Este rango de supervivencia de 10^{-12} , o de reducción de 12 ciclos logarítmicos, para el *Cl. botulinum* es conocido como el concepto de 12D, que fue propuesto por Stumbo (1965) (Lewis y Heppell, 2000).

La muerte térmica de microorganismos puede ser expresada matemáticamente en términos de la concentración de microorganismos (C) por la ecuación 1 (Rees y Bettison, 1991):

$$\frac{-dC}{dt} = k \times C \quad (1)$$

donde k es el rango de reacción y t es el tiempo.

A diferentes tiempos t_1 y t_2 , la respectiva concentración de organismos C_1 y C_2 es dada integrando la ecuación 2 (Rees y Bettison, 1991):

$$\ln \frac{C_1}{C_2} = k(t_2 - t_1) \quad (2)$$

Es usual que se considere el número de microorganismos N en lugar de la concentración, entonces la ecuación quedaría de la siguiente manera (Rees y Bettison, 1991):

$$\ln \frac{N_1}{N_2} = -k(t_2 - t_1) \quad (3)$$

ó:

$$\log_{10} \frac{N_2}{N_1} = k'(t_2 - t_1) \text{ donde } k' = \frac{k}{2.303} \quad (4)$$

donde N_2/N_1 es la proporción de microorganismos o esporas, que es, la proporción del número inicial de microorganismos que sobrevivieron después del intervalo de tiempo ($t_2 - t_1$), y $\log_{10}(N_2/N_1)$ es el número de reducción de ciclos logarítmicos en el número de microorganismos en el intervalo de tiempo (Rees y Bettison, 1991).

El término $1/k'$ es reemplazado por D, el tiempo de reducción decimal, que es definido como el tiempo necesario para reducir un ciclo logarítmico la carga microbiana.

Sustituyendo D en lugar de $1/k'$ nos queda la ecuación 5 (Rees y Bettison, 1991):

$$\frac{N_t}{N_0} = 10^{-t/D} \quad (5)$$

donde N_0 es número inicial de esporas el tiempo cero y N_t es el numero de esporas al tiempo t. Esta ecuación es la llave que liga el número de microorganismos o

esporas con a un tiempo dado con una temperatura letal constante. Si pudiéramos graficar los datos experimentales en un rango logarítmico de $\log_{10}(N_2/N_1)$ contra el tiempo, el resultado sería una línea recta de pendiente 1/D.

Como la temperatura con la que se trata los alimentos incrementa, el rango en el cual los microorganismos mueren también incrementa y por lo tanto, el valor de tiempo de reducción decimal disminuye. Sin embargo, la naturaleza de la relación entre el tiempo de reducción decimal y temperatura ha sido sujeta a mucho trabajo experimental y debates teóricos. Los modelos más usados para cuantificar esta relación son el modelo de cálculo del valor z y el modelo de Arrhenius, los cuales son los teóricamente más aceptados (Lewis y Heppell, 2000).

Constante de tiempo de muerte térmica o valor z

En los trabajos de Begelow (1921) y Bigelow y Esty (1920) se muestra una relación lineal entre el logaritmo del tiempo de reducción decimal para esporas y la temperatura (figura 2).

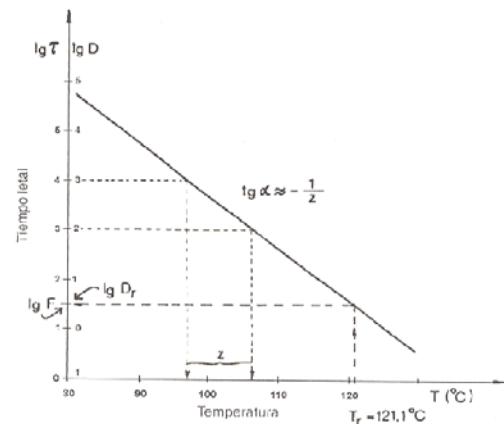


Fig 2. Curva de tiempo de muerte térmica mostrando la definición del valor z, T_r es la temperatura de referencia y τ el tiempo actual.

Por muchos años los tecnólogos en alimentos, especialmente los de la industria enlatadora, han seguido este modelo (Lewis y Heppell, 2000).

El valor de z puede ser definido como el número de grados que hay que aumentar para que la curva de muerte térmica disminuya un ciclo logarítmico al tiempo D (Rees y Bettison, 1991).

Matemáticamente, esta el valor de la constante z es expresada por la ecuación 6:

$$\log D_{Ref} = \log D_T = \frac{z(T - T_{Ref})}{1} \quad (6)$$

donde D_{Ref} = D a la temperatura de referencia, $T_{Ref} = 121.1^{\circ}\text{C}$, D_T = D a la temperatura T y z es la constante de muerte térmica (Rees y Bettison, 1991).

O se puede calcular el valor de z mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{D_1}{D_2} = 10^{(\theta_2 - \theta_1)/z} \quad (7)$$

donde D_1 y D_2 son tiempos de reducción decimal a temperaturas θ_1 y θ_2 respectivamente (Rees y Bettison 1991).

Este modelo cinético asume que el valor de z es constante para contaminación por espora determinada. Es usualmente definido a una temperatura de referencia (250°F o 121°C para esterilización o un valor de F_0 , 85°C para pasteurización), dependiendo del rango de temperatura usado para el proceso térmico; y la muerte

térmica de cualquier microorganismo que pueda ser dado por un valor de D a la temperatura de referencia del valor z. La ecuación es válida para temperaturas mayores a la cual comienza la muerte térmica (Lewis y Heppell, 2000).

De manera similar, pero menos usado, se puede definir el valor de Q_{10} como el radio de tiempo de reducción decimal a intervalos de temperatura de 10°C , esto es (Rees y Bettison, 1991):

$$Q_{10} = \frac{D_{\theta}}{D_{(\theta+10)}} \quad (8)$$

Se puede mostrar que Q_{10} se relaciona con el valor z por (Rees y Bettison, 1991):

$$Q_{10} = 10^{10/z} \quad \text{ó} \quad z = \frac{10}{\log(Q_{10})} \quad (9)$$

Para una sola especie de microorganismos, una gráfica de $\log_{10}(D)$ contra temperatura (T) el valor de z puede ser determinado por la pendiente de la línea, donde (Rees y Bettison, 1991):

$$z = -\frac{1}{m} \quad (10)$$

A continuación se presentan algunos valores de D y z en las tablas VI y VII, se trata de los parámetros cinéticos de la mayoría de los microorganismos que ocasionan problemas en los sistemas alimenticios en diferentes etapas del proceso para su elaboración (Rees y Bettison, 1991).

Tabla VI. Resistencia térmica aproximada (valores D) de algunas esporas bacterianas

Tipo de alimento y microorganismo(s) típico (s)	Valor D (min) a:		Valor z (°C)
	121 °C	100°C	
Alimentos poco ácidos (pH>4,6)			
Aerobio termófilo			
<i>Bacillus stearothermophilus</i>	4.0-4.5	3000	7
<i>Bacillus coagulans</i>	0.1		
Anaerobios termófilos			
<i>Cl. thermosaccharolyticum</i>	3.0-4.0		12.0-18.0
<i>Desulfotomaculum nigrificans</i>	2.0-3.0		
Anaerobios mesófilos			
<i>C. sporogenes</i>	0.1-1.5		9.0-13.0
<i>C. botulinum tipos A y B</i>	0.1-0.2	50	10
<i>C. perfringens</i>		0.3-20	10.0-30.0
<i>C. caloritolerans</i>		3	
<i>C. butyricum</i>		0.1-0.5	
Aerobios mesófilos			
<i>B. licheniformis</i>		13	6
<i>B. lincheniformis</i>		13	6
<i>B. macerans</i>		0.1-0.5	
<i>B. subtilis</i>		11	7
<i>B. cereus</i>		5	10
<i>B. megaterium</i>		1	9
Alimentos ácidos (pH <= 4.6)			
Aerobio termotolerante			
<i>B. coagulans</i>	0.01-0.1		
Aerobios mesófilos			
<i>B. polymyxa</i>		0.1-0.5	
<i>B. macerans</i>		0.1-0.5	
<i>C. butyricum (o C. pasteurianum)</i>		0.1-0.5	

Doyle et al., 2001; Sillijer et al., 1983

Tabla VII. Termoresistencia comparada de las bacterias de interés en los alimentos

Grupo bacteriano	Rango aproximado de termoresistencia	
	D (°F)	z (°F)
Microorganismos patógenos y productores de toxinas	D 150	
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	0.20-0.30	8 a 10
<i>Brucella sp.</i>	0.10-0.20	8 a 10
<i>Coxiella burnetti</i>	0.50-0.60	8 a 10
<i>Salmonella sp.</i>	0.02-0.25	8 a 10
<i>Salmonella senftenberg 775W</i>	0.8-1.0	8 a 12
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.2-2.0	8 a 12
<i>Streptococcus pyogenes</i>	0.2-2.0	8 a 12
D 180		
<i>Clostridium botulinum tipo E (esporoso)</i>	0.10-3.0	9 a 16
Microorganismos responsables de deterioro	D 150	
Hongos, levaduras y bacterias no esporuladoras	0.5-3.0	8 a 12

Sillijer et al., 1983

Modelo de la ecuación de Arrhenius

La ecuación de Arrhenius ha sido empleada para describir el efecto de la temperatura en las reacciones cinéticas y

puede ser utilizado para calcular muerte térmica. La ecuación cinética de Arrhenius es (Rees y Bettison, 1991):

$$k = A \times e^{-\left(\frac{E_a}{R\theta_k}\right)} \quad (11)$$

ó:

$$\ln(k) = \ln(A) - \frac{E}{R\theta_k} \quad (12)$$

donde A es una constante, E_a es la energía de activación para la reacción, R es la constante del gas, y θ_k es la temperatura absoluta. Esto puede mostrarse como (Rees y Bettison 1991):

$$D = \frac{2.303}{k} \quad (13)$$

El modelo cinético supone que la activación de la energía para las reacciones es constante, y por lo tanto la gráfica de $\ln(k)$ o $\ln(D)$ contra $(1/\theta_k)$ podría dar una línea recta (Lewis y Heppell, 2000).

Comparación entre Modelos

La constante z y el modelo cinético de Arrhenius son ambos usados para evaluar la muerte cinética de los microorganismos, pero teóricamente son exclusivos. La constante z da el radio del tiempo de reducción decimal a dos temperaturas por medio de la ecuación 12 (Rees y Bettison, 1991):

$$\frac{D_1}{D_2} = 10^{\frac{(z)(\theta_2 - \theta_1)}{R}} \quad (14)$$

por otro lado, el modelo de Arrhenius da (Rees y Bettison, 1991):

$$\frac{D_1}{D_2} = 10^{\frac{E_a(\theta_2 - \theta_1)}{R(\theta_1\theta_2)}} \quad (15)$$

La preferencia de un modelo sobre otro puede ser determinada por estas dos ecuaciones. Como un ejemplo, si tuviéramos valores de reducción decimal de una contaminación por una espora hipotética a 111°C por 1,000 s y a 121°C por 100 s con un valor de z de 10°C, el valor de D puede ser calculado como se presenta en la tabla VIII (Rees y Bettison, 1991).

Esto se hace por medio de extrapolación de las muertes cinéticas para solo 20 y 30°C, por lo que se dice que se presenta una diferencia evidente entre los modelos. Esto puede parecer significante, pero la cinética de muerte térmica de los microorganismos no puede ser usualmente determinada sobre un gran rango de temperatura y la diferencia entre la medición de los datos es usualmente mayor que la diferencia entre los modelos escogidos (Rees y Bettison, 1991).

Estas son algunas bases teóricas para preferir el modelo de Arrhenius sobre el modelo de la constante z, la causa es porque la muerte de los microorganismos se piensa que está ligado a la desnaturalización de uno o más componentes biológicos dentro de la espora o célula vegetativa y por consiguiente puede comportarse más como una reacción química por lo que es conocido que el modelo de Arrhenius es más adecuado. Algunos trabajos han procurado realizar ajustes entre estos dos modelos, generalmente sin encontrar un modelo más acorde con otro. Otros trabajos en esta área tienden a proveer datos en ambas formas (valores D y z como una buena energía de activación), un rango que es dado en la tabla IX (Rees y Bettison, 1991).

Tabla VIII. Predicción de valores de D usando constantes z y modelos de Arrhenius

	111°C	121°C	131°C	141°C	151°C
Constante z	1,000	100	10	1	0.1
Arrhenius	1,000	100	11.21	1.396	0.192

Ress y Bettison, 1991

Tabla IX. Rangos típicos de valores D, x y energía de activación (Ea) para formación de esporas bacterianas de

	Medio / pH	Ea kJ/mol	Valor D ₁₂₁ (s)	Valor z (°C)
<i>B. stearothermophilus</i>	Agua/buffer pH 7	256-513	120-380	7.3-12.3
<i>Cl. thermosaccharolyticum</i>	buffer de fosfato pH 7	211-476	50-192	6.9-14.7
<i>Cl. sporogenes</i>	carne	340-390	340-390	8.9-11.1
<i>B. subtilis</i>	buffer de fosfato pH 7	220-374	220-374	8.3-14.1
<i>Cl. botulinum</i>	buffer de fosfato pH 7	310-376	310-376	7.8-10.8
	varios pures de alimentos	260-370	260-370	1.9-11.1

Ress y Bettison, 1991

Esto representa un peligro significante en la predicción de datos de muerte térmica a altas temperaturas por

extrapolación de los datos recolectados a bajas temperaturas. Pero es posible que los datos pueden ser medidos alrededor de los rangos de temperatura de interés; después usar cualquier modelo cinético que entre en el rango para el dato que podría no permitir errores significantes.

La

extrapolación podría ser necesaria, sin embargo, el modelo de Arrhenius es generalmente preferido (Rees y Bettison, 1991).

Conclusiones

La aplicación de tratamiento térmico a alimentos en cuanto a la calidad, pretende minimizar las reacciones químicas y pérdida de nutrientes, y con ello, mantener las características sensoriales.

Por lo anterior hay conflictos en cuanto a calidad y seguridad. Por ejemplo, la inactivación microbiana y la seguridad del alimento se incrementa entre más severo sea el tratamiento térmico, pero la calidad sensorial u

organoléptica del producto generalmente disminuye. Sin embargo, se deben tomar en cuenta ambos aspectos y considerar el factor que está afectando más la calidad final del

producto, y basándose en ese factor, se deben de plantear los procesos.

Se debe de considerar para el cálculo de los procesos las variables cinéticas (D y z), para llevar a cabo un tratamiento térmico adecuado y no sobreestimar o subestimar el proceso al cual el alimento debe ser sometido. De igual importancia es, tener conocimiento de la flora bacteriana que está asociada con los materiales, para aplicárseles el tratamiento térmico apropiado. Por lo anterior, es importante entender las reacciones cinéticas y como se relacionan: la inactivación microbiana, el daño químico, la inactivación enzimática y los cambios físicos.

En general, el procesamiento térmico elimina las necesidades de usar aditivos para extender la vida de anaquel, sin embargo, los aditivos mejoran las características sensoriales o hacen a los alimentos menos susceptibles a contaminarse. Esto es para las reacciones que tienen lugar durante el tratamiento térmico, ya sean químicas,

enzimáticas, o los cambios físicos que continúen durante el almacenamiento. Los microorganismos que sobreviven al tratamiento térmico pueden desarrollarse si las condiciones son favorables durante el almacenamiento y manejo. Todas las reacciones mencionadas son dependientes de la temperatura y los cambios que se deben considerar ocurren durante el almacenamiento.

Referencias

- Aggelis, G., Samelis, J. y Metaxopoulos, J. 1998. A novel modeling approach for predicting microbial growth in a raw cured meat product stored at 3°C and at 12°C in air. *Journal of Food Microbiology*. 43: 39-52.
- Augustin, J. C. y Carlier, V. 2000. Modelling the growth rate of *Listeria monocytogenes* with a multiplicative type model including interactions between environmental factors. *Journal Food Microbiology*. 56:53-70.
- Cayré, M. E., Vignolo, G., y Garro, O. 2004. *Modelo dinámico para el crecimiento de bacterias lácticas sobre emulsiones cárnicas*. Facultad de Agroindustrias, UNNE. Universidad Nacional del Nordeste y CERELA – CONICET. Sáenz Peña, Chaco. Argentina.
- Devlieghere, F., Debevere, J. y Van Impe, J. 1998. Effect of dissolved carbon dioxide and temperature on the growth of *Lactobacillus sake* in modified atmosphere. *Journal of Food Microbiology*. 41:231-238.
- Doyle, M. P., Beuchat, L. R., Montville, T. J. 2001. *Microbiología de los Alimentos. Fundamentos y fronteras*. ACRIBIA. Zaragoza, España. Pp: 527-528.
- Elliot, R. P., Clark, D. S., Lewis, K. H., Lundbeck, H., Olson, J. C., Simonsenm, Jr. B. 1983. *Microbiología de los alimentos. Técnicas de análisis microbiológico. Vol 1*. Comisión internacional en especificaciones microbiológicas para alimentos de la asociación internacional de la sociedad microbiológica (ICMSF). ACRIBIA. Zaragoza, España.
- Frazier, W. C., y Westhoff, D. C., 1993. *Microbiología de alimentos*. ACRIBIA. Zaragoza, España. pp. 119-129
- Giannuzzi, L., Pinotti, A. y Zaritzky, N. 1998. Mathematical modeling of microbial growth in packaged refrigerated beef stored at different temperatures. *Journal of Food Microbiology*. 39: 101-110.
- Fu, B., Taoukis, P. S. y Labuza, T. 1991. Predictive microbiology for spoilage of dairy products with timetemperature integrators. *Journal of Food Science*. 56: 1209-1215
- Hyun-Jung, C., Shaojin, W., y Juming, T. 2006. Influence of Heat Transfer with Tube Methods on Mesured Thermal Inactivation Parameters for *Escherichia coli*. *Journal of Foof Protection*. 70(4): 851-859
- Labuza, T. P., Fu, B. y Taoukis, P. 1992. Prediction for shelf life and safety of minimally processed CAP/ MAP chilled foods: a review. *Journal of Food Protection..* 55(9): 55-74.
- Lewis, M. y Heppell, N. 2000. *Continuos Thermal Processing of Foods, Pasteurization and UHR Sterilization*. Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland.
- Li, K. Y. and Torres, J.A. 1993. Microbial growth estimation in liquid media exposed to temperature fluctuations. *Journal of Food Science*. 58:644-648.
- Mann, J. E., y Brashears, M. M. 2006. Contribution of Humidity to the Lethality of Surface-Attached Heat-Resistant *Salmonella* during the Thermal Processing of Cooked Ready-to-Eat Roast Beef. *Journal of Food Protection*. 70(3):276-765
- Norris, J. R., Pettipher, G. L. 1987. *Essaysin Agricultural and food microbiology*. Wiley. Cadbury Schweppes plc, Lord Zuckerman Research Centre, The University, Reading, UK.
- Pranhan, A. K., Li, Y., Marcy, J. A., Johnson, M. G., y Tamplin, M. L. 2006. Phatogen Kinetics and Heat and Mass Transfer-Based Predictive Model for *Listeria innocua* in Irregular-Shaped Poultry Products during Thermal Processing. *Journal of Food Protection*. 70(3): 607-615
- Rees, J.A.G., y Bettison, J. 1991. *Processing and Packaging of Heat Preserved Foods*. CMB Packaging Technology, Wantage, Berks. Blackie. Glasgow and London.
- Richardson, P. 2001. *Termal technologies in food processing*. Woodhead publishing limited. Cambridge England.
- Roberts, T. A., Bryan, F. L., Chistian, J. H. B., Kilsby, C., Olson, J. C. y Silliker, J. H. 1999. *Microorganismos de los Alimentos 2. Métodos de muestreo para análisis microbiológicos: Principios y aplicaciones específicas*. ICMSF. ACRIBIA. Zaragoza, España. pp. 125-223
- Romero, A. M., Doval, M. M., Sturla, M. A., Fogar, R. A., y Judis, M. A. 2004. *Estimación de los*

- parámetros cinéticos para la oxidación lipídica con brotes de soja.* Facultad de Agroindustrias- UNNE. Universidad Nacional del Nordeste. Sáenz Peña, Chaco. Argentina.
- Roos, T. y McMeekin, T.A. 1994. Predictive microbiology. Journal of Food Microbiology. 23: 241-246.
- Sillijer, J. H., Elliot, R. P., Baird-Parker, A. C., Bryan, F. L., Christian, J. H. B., Clark, D. S., Olson, J. C., y Roberts, T. A. 1983. *Ecología Microbiana de los Alimentos 1. Factores que afectan la supervivencia de los microorganismos en los alimentos.* ICMSF. ACIRIBIA. Zaragoza, España. pp. 23-27
- Welti-Chanes, J. 2007. *Tratamiento Térmico de Alimentos.* En: Apuntes de Temas selectos de Ingeniería en alimentos. Escuela de Ingeniería Química y de Ingeniería en Alimentos. Maestría en Ciencias de Alimentos. Universidad de las Américas, Puebla.



Historia y Estado Actual del Botulismo en Alimentos

V. Rodríguez – Martínez

Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Universidad de las Américas – Puebla. San Andrés Cholula, Pue., México.

Resumen

El presente trabajo, da una breve reseña sobre los brotes el botulismo, desde los primeros casos detectados en el siglo XIX y la determinación del *Clostridium botulinum* como el microorganismo productor de la toxina causante de esta enfermedad, se revisa la clasificación de la toxina botulínica, profundizando en los tipos A, B, E, y F que están relacionados con casos de botulismo en humanos. Además se comenta sobre los síntomas de los 3 tipos de botulismo relacionados con el consumo de alimentos, el botulismo por alimentos contaminados, el botulismo infantil y el botulismo infeccioso en adultos. Para finalizar se presentan las estadísticas reportadas para el último siglo, donde se observa un decremento tanto en el número de casos como en el índice de mortandad, además de los casos más recientes sobre el botulismo en Estados Unidos y Europa.

Palabras clave: Botulismo, *Clostridium botulinum*, toxina botulínica.

Abstract

This paper presents a brief history about the breakouts of botulism, since first appearance in the 19th century and the determination of *Clostridium botulinum* as the producer of the toxin, which generates the botulinum illness. A review of the toxin classification is made, recognizing the types A, B, E and F as the ones involved in human botulism. In addition, the symptoms of foodborne botulism, infant botulism and adult infectious botulism are explained. Finally the incidence and mortality statistics for the last century are examined, showing a reduction in cases and case-fatality, also some of the recent outbreaks are mentioned.

Keywords: Botulism, *Clostridium botulinum*, botulinum toxin

Introducción

De acuerdo Mead et al. (1999), se estima que anualmente en los Estados Unidos se reportan alrededor de 13.8 millones de casos de enfermedades causadas por alimentos, de las cuales un 30% está relacionado con contaminación por la presencia de bacterias. Sin embargo, es

difícil evaluar el impacto de estas enfermedades en el resto del mundo pero se sabe que 2.1 millones de niños aproximadamente mueren al año por enfermedades gastrointestinales (WHO, 2002).

Los tipos de enfermedades generados por el consumo de alimentos contaminados con bacterias de acuerdo con el *Institute of Food Technologists* (IFT, 2004) son:

1. Intoxicación, causada por el consumo de toxinas producidas por bacterias presentes en el alimento.
2. Infección, generada por consumir alimentos contaminados con bacterias viables, que se reproducen a gran escala dentro del paciente.
3. Tóxico-infecciosa, provocada al consumir alimentos contaminados por bacterias que después de ser ingeridas producen toxinas dentro del cuerpo huésped.

La inhibición y la inactivación de las bacterias que provocan dichas enfermedades, conjuntamente con la prevención de cualquier tipo de recontaminación han sido los principales objetivos en la preservación de alimentos, (Rahman, 1999). Siendo el tratamiento térmico una de las técnicas más usadas para la inactivación de microorganismos, considerando especialmente aquellas bacterias productoras de esporas como el *Clostridium botulinum* (Ramesh, 1999), microorganismo que genera la toxina causante del Botulismo cuya incidencia es baja pero con alto riesgo de mortandad si no es tratado a tiempo (FDA, 1992; IFT, 2004).

Revisión bibliográfica

El botulismo es la enfermedad ocasionada por una neurotoxina generada, como ya se mencionó, por el *Clostridium botulinum*. Este

microorganismo es una bacteria anaeróbica del tipo Gram positivo, formador de esporas, que se encuentra comúnmente en el suelo y sedimentos de lagos y mares. Para el crecimiento de este microorganismo y consiguiente producción de la toxina botulínica se requiere no sólo la presencia de nutrientes sino también la ausencia de oxígeno, además su desarrollo en alimentos se ve favorecido si el pH del medio es mayor a 4.5 y la actividad de agua esta por arriba de 0.85. La temperatura óptima de desarrollo del *C. botulinum* de depende del tipo de cadena proteica que sintetice, para el caso de cadenas proteolíticas la temperatura es cercana a los 35°C mientras que para las cadenas no proteolíticas se ubica entre 26 y 28 °C. Se sabe que sus esporas son termorresistentes sin embargo, la toxina producida es termolábil (Tompkin y Christiansen, 1976; ICMSF, 1978; CRF, 1979; FDA, 1992; Holdsworth, S. D. 1997; Solomon y Lilly, 1998).

De acuerdo con Schaffner (1990) es en 1820 cuando se inicia la investigación por parte de Justinus Kerner sobre algunos casos de envenenamiento producidos por el consumo de salsas con carne en Würtenburg, a esta rara enfermedad se le denominó “enfermedad de Kerner” (Ledermann, 2003). No sólo se presentaban casos de envenenamiento por salsas con carne sino también en embutidos, registrando 400 casos entre 1793 y 1853, teniendo una mortandad de casi el 38%; una de las teorías propuestas por Van den Corput, de acuerdo con lo citado por Eulenburg (1886), sugería que el microorganismo causante de la enfermedad era un hongo y lo nombró como *Sarcina botulina*. Sin embargo al no poderse cultivar, ni reproducir sus efectos en el laboratorio esa teoría fue descartada (Eulenburg, 1886).

Posteriormente, tras una intoxicación masiva en la villa de Ellzelles en Hainault, Bélgica en 1895, que dejó 3 muertos; Emile Pierre van Ermengem, en colaboración Wilhelm Kempner, analizaron los restos del jamón consumido y el bazo de una víctima, logrando aislar las esporas de un microorganismo anaerobio al cual denominó *Bacillus botulinus* y al poder reproducir los síntomas en animales de laboratorio a través del uso de suero generado del cultivo microbiano, demostraron la existencia de una toxina. Este descubrimiento fue confirmado en 1904 por Landmann y Gaffky, con el primer brote de botulismo en vegetales. Por su parte, Kempner utilizando la cepa aislada logró producir una antitoxina (Bullock, 1929).

Los primeros casos de Botulismo infantil, fueron reportados en California en 1976 (Madura y Arnon, 1976; Pickett et al., 1976), sin embargo de acuerdo con investigaciones realizadas por Arnon et al. (1979), los primeros casos de esta enfermedad en menores a 14 meses se dieron en 1931.

Toxinas botulínicas

Las toxinas botulínicas son de las sustancias más letales conocidas por el hombre y todavía se desconoce la cantidad exacta para una dosis letal en humanos (Shapiro et al., 1998; Pierson y Reddy, 2004). De acuerdo con Tompkin y Christiansen (1976), se encontraron 6 tipos de toxinas botulínicas nombradas de la A a la F; siendo asociadas a casos de botulismo en humanos únicamente las tipo A, B, E y F, y presentándose con mayor frecuencia las tres primeras. Los casos de botulismo se relacionaron al consumo de alimentos contaminados con

la toxina y los casos de botulismo por heridas se presentan de manera aislada.

Sin embargo para finales de los años setenta, se reporta un nuevo tipo de toxina, denominada como G, la cual no estaba caracterizada aún (ICMSF, 1978). Para los años ochenta, se aislaron toxinas del tipo G en algunos casos de muerte repentina en adultos y niños (Sonnabend et al., 1981; Sonnabend et al., 1985), sin embargo, su presencia en alimentos no ha sido confirmada pues no se han conseguido aislar o identificar en éstos (ICMSF, 1996). En años más recientes se ha propuesto excluir a las toxinas tipo G de las especies de *Clostridium botulinum*, debido a sus propiedades bioquímicas, para generar una nueva especie denominada *Clostridium argentinense* (Oguma et al., 2000).

Las toxinas botulínicas son proteínas cuyas cadenas pueden ser proteolíticas o no-proteolíticas, para el caso de la toxina tipo A todas sus cadenas son proteolíticas y para el tipo E todas sus cadenas son no-proteolíticas, mientras que algunas cadenas de las toxinas F y B son proteolíticas y otras no. Se ha establecido una relación entre la resistencia al calor de las esporas del *C. botulinum* con respecto al tipo de cadenas proteínicas que tenga la toxina, mientras mayor sea la cantidad de cadenas proteolíticas la espora tendrá una mayor resistencia al calor (ICMSF, 1978; ICMSF, 1996). El *C. botulinum* de tipo proteolítico es fáciles de identificar ya que produce malos olores debido a que digiere las proteínas presentes en el alimento, por el contrario el tipo no-proteolítico no dan ninguna evidencia física que permita ser identificado por el consumidor (Lynt, et al., 1975).

Tipos de Botulismo

Oguma et al. (2000) presenta una clasificación para los tipos de botulismo donde se consideran únicamente tres: el botulismo por envenenamiento con alimentos, el botulismo infantil y el botulismo por heridas. Los dos primeros relacionados con el consumo de alimentos portadores de la toxina botulínica o de esporas de *C. botulinum* y el último ocasionado por infecciones en heridas a causa de este microorganismo. Posteriormente surge una nueva clasificación, conocida como Indeterminada, en la cual se ubican pacientes mayores a los 12 meses de edad y en la cual la enfermedad no podía ligarse a ninguna herida o alimento contaminado (Rhodehamel et al., 1992; FDA, 1992).

La información más reciente sobre los tipos de botulismo existentes proviene de la Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en inglés), donde se tienen 5 tipos: botulismo por alimentos contaminados, botulismo infantil, botulismo infeccioso en adultos, botulismo en heridas y botulismo involuntario. Éste último relacionado con el uso inadecuado de inyecciones intramusculares de toxina botulínica durante un tratamiento médico (Nantel, 1999).

Botulismo por alimentos contaminados, se produce por consumir alimentos en los cuales se ha desarrollado *Clostridium botulinum* y producido por lo tanto toxina botulínica (Pierson y Reddy, 2004). Los síntomas se presentan comúnmente entre las 12 y 36 horas después de haber ingerido el alimento contaminado, sin embargo esto puede variar de 2 horas a 8 días

dependiendo de la cantidad y tipo de toxina, así como de la resistencia que presente el individuo (Banwart, 1979; FDA, 1992; Nantel, 1999).

Los síntomas y signos que se presentan en este tipo de botulismo son: ausencia de fiebre (excepto si al mismo tiempo se desarrolla otra infección); vértigo o mareos; visión doble, borrosa o fotofobia; dificultad para hablar o tragar; piel, boca y garganta ressecas; náusea y vómito; dolor abdominal o calambres; diarrea; retención o incontinencia de orina; estreñimiento; debilidad muscular, dificultad para respirar y parálisis muscular caracterizada por ser simétrica e ir de manera descendente por el cuerpo (Banwart, 1979; FDA, 1992; Nantel, 1999; Oguma et al., 2000; Pierson y Reddy, 2004).

Botulismo infantil, la aparición de esta enfermedad está relacionada con la producción de toxina botulínica en el tracto intestinal después de la colonización de *C. botulinum*, tras haber ingerido esporas en algún alimento. Esta enfermedad ha afectado a niños menores a 14 meses de edad y se considera a la miel como el posible vehículo, aunque no se descartan otros alimentos no esterilizados y el ambiente circundante. (Nantel, 1999; FDA 1999, Pierson y Reddy 2004). Se considera que las condiciones en las que se encuentra el tracto gastrointestinal de los bebés, facilita el crecimiento del microorganismo así como el desarrollo de la toxina (Oguma et al., 2000).

Regularmente el primer síntoma en aparecer es el estreñimiento, posteriormente disminuye el apetito; existe letargo y debilidad muscular que se presenta de manera simétrica y en descenso, lo que se manifiesta en disminución de movimientos espontáneos, respuesta a estímulos y pérdida de control de la cabeza; resequedad en las mucosas y retención de las orina;

fluctuaciones en el ritmo cardiaco y dificultad para respirar (Nantel, 1999; Pierson y Reddy 2004).

Botulismo infeccioso en adultos, este tipo de enfermedad es menos común que los casos anteriores y se debe a la colonización del tracto gastrointestinal por *C. botulinum*, del mismo modo que en el Botulismo infantil, sin embargo no siempre es posible determinar la procedencia del microorganismo. Se considera que la colonización se debe a que la flora intestinal del paciente fue alterada por alguna cirugía, enfermedad gastrointestinal o por el consumo de algún medicamento, favoreciendo de esta manera la colonización del tracto intestinal por el microorganismo patógeno. En ocasiones es confundida con el Síndrome de Guillain – Barre. Los síntomas son similares a los presentados por enfermos de botulismo por alimentos contaminados, con la diferencia de que los primeros síntomas que se presentan son de índole gastrointestinal (FDA, 1992; Nantel, 1999).

Casos de botulismo

En el último siglo esta enfermedad ha sido de gran importancia, no tanto por el número de casos que se registraron sino por el alto riesgo de muerte, si no se trata a tiempo. Entre 1899 y 1996 se registraron 2368 casos de botulismo por alimentos contaminados en Estados Unidos, teniendo en la primera mitad del siglo un índice de mortandad promedio del 60% y después de 1950 el porcentaje promedio de muertes fue del 15.5% de acuerdo a las cifras del *Center for Diseases Control*. Siendo las toxinas tipo A con 13.7% y tipo B con 15.1%, las que con más frecuencia causaron la enfermedad (CDC, 1998).

En el caso de botulismo infantil, desde el primer caso documentado en 1976 hasta veinte años después se registraron 1442 casos, siendo el 46.5 % generados por toxina botulínica tipo A y 51.9% por la tipo B. Siendo este tipo de botulismo el más frecuente, actualmente en Estados Unidos (CDC, 1998).

En Europa los países con más casos de botulismo reportados de 1988 a 1998 son: Francia con aproximadamente 100 casos, Alemania con 177, Italia con 412 y España con 92. En el año de 1997, Italia tuvo 32 casos de botulismo de los cuales 22 estaban relacionados con alimentos, la mayoría producidos por vegetales o carne preparados en casa (Therre, 1999).

En julio de 2002 se reportó un brote de botulismo en un poblado de Alaska, ocasionado por el consumo de la carne de una ballena beluga que había muerto varias semanas atrás varada en la playa, algunos pobladores cortaron la cola en pedazos y la almacenaron en refrigeración en bolsas de plástico resellables y la consumieron después de un par de días. Se presentaron ocho casos de botulismo de las catorce personas que consumieron la carne. Otros casos en Alaska se han originado por conservas caseras y platillos de los nativos que involucran alimentos crudos o fermentados (CDC, 2002).

La mayoría de los casos de botulismo por alimentos contaminados, están relacionados con alimentos preparados en casa o almacenados inadecuadamente, aunque no se pueden descartar la posibilidad de que suceda con alimentos procesados; por lo cual a continuación se comentan algunos casos.

En el año de 1999, se presentaron en Europa algunos casos de botulismo

relacionado con alimentos procesados, en Alemania los productos causantes fueron pescado ahumado y pescado congelado con fecha de caducidad vencida. En el caso de España, se presentaron tres casos relacionados al consumo de espárragos enlatados, mientras que Francia tuvo un caso por consumo de vieiras. Italia por su parte, tuvo brotes de botulismo causado por crema de trufa enlatada y champiñones asados en aceite (Therre, 1999).

En Francia a principios de Septiembre de 2003, se presentaron cuatro casos de botulismo asociados a salchichas halal, es decir, salchichas producidas con carne de res y puerco sacrificados de acuerdo a la ley musulmán; por lo cual, se estableció una alerta en toda Europa para la recolección de este producto. Desde 1990, en Francia, se han detectado 23 casos donde productos comerciales han estado involucrados con casos de botulismo (Espié et al., 2003).

En octubre de 2006 en México se retiraron del mercado, por recomendación de la Secretaría de Salud y la Comisión Federal de Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris), los jugos enlatados de zanahoria importados de Estados Unidos de las siguientes marcas Bolthouse Farms 100% carrot juice, Earthbound Farm Organic carrot juice y President's Choice Organics 100% pure carrot juice (Rodríguez, 2006). Esta medida se tomó tras una alerta presentada por la *Food and Drug Administration* (FDA) en los Estados Unidos a finales del mes de septiembre del mismo año, al haberse reportado 4 casos de botulismo por el consumo de dicho jugo en Georgia y Florida sin decesos reportados (CDC, 2006).

El reporte más reciente de botulismo en Estados Unidos, se registró en julio de 2007 en Salsa de chile de la marca Castleberry's, en total se reportaron 8 casos de botulismo en tres diferentes Estados de la Unión Americana: Indiana, Texas y Ohio. Este reporte ha generado la recolección de aproximadamente 8500 productos que habían sido distribuidos en 49 estados (CDC, 2007).

Conclusiones

A pesar de que el botulismo se conoce desde hace más de un siglo, las malas prácticas de manufactura y los procesos no estandarizados de preparación de alimentos caseros han causado que hasta la actualidad existan intoxicaciones por consumo de alimentos contaminados con toxina botulínica. Sin embargo, se ha tenido un progreso en la detección a tiempo de la enfermedad, la pronta recolección de los productos que contienen la toxina y la generación de antitoxinas lo que ha disminuido el número de muertes. Esto principalmente en países desarrollados, por lo que es importante que países en desarrollo generen campañas que permitan la identificación de dicha enfermedad, para poder evitar malos diagnósticos y muertes innecesarias.

Referencias

- Arnon, S. S., Werner, S. B., Faber, H. K. 1979. Infant botulism in 1931: discovered of a misclassified case. *Am J Dis Child.* 133: 580-582. Citado en: W. Ledermann. 2003. Historia del *Clostridium botulinum*. Revista Chilena de Infectología. pp. 39 – 41. <http://www.scielo.cl/pdf/rcl/v20sn0tashist/art11.pdf>, accesada 03/09/2007.
- Banwart, G. J. 1979. *Basic food microbiology*. pp. 250 – 270. AVI Publishing Company Inc. Connecticut, EE.UU.
- Bulloch W. 1929. History. En *Medical Research Council. A System of Bacteriology in Relation to Medicine*. Vol. III, pp. 373-374. His Majesty's

- Stationery Office. Londres. Citado en: W. Ledermann. 2003. Historia del *Clostridium botulinum*. Revista Chilena de Infectología. pp. 39 – 41. <http://www.scielo.cl/pdf/rcl/v20snotashist/art11.pdf>, accesada 03/09/2007.
- CDC. 1998. *Botulism in the United States, 1899 – 1996*. Handbook for Epidemiologists, clinicians, and Laboratory Workers. http://www.cdc.gov/ncidod/DBMD/diseasenfo/files/botulism_manual.htm#3a, accesada 06/09/2007.
- CDC. 2002. *Outbreak of Botulism Type E Associated with Eating a Beached Whale- Western Alaska, July 2002*. Morbidity and Mortality Weekly Report (MMWR). 52(2): 24 – 26. <http://iier.isciii.es/mmwr/preview/mmwrhtml/mm5202a2.htm>, accesada 17/09/2007.
- CDC. 2006. *Botulism Associated with Commercially Carrot Juice – Georgia and Florida, September 2006*. Morbidity and Mortality Weekly Report (MMWR). 55(Dispatch): 1 – 2. <http://www.cdc.gov/mmwr/PDF/wk/mm55d106a1.htm>, accesada 17/09/2007.
- CDC. 2007. *Botulism Associated with Commercially Canned Chili Sauce – Texas and Indiana, July 2007*. Morbidity and Mortality Weekly Report (MMWR). 56(30): 767 – 769. http://www.cdc.gov/mmwr/PDF/wk/mm563_0.pdf, accesada 06/09/2007.
- Code of Federal Regulations (CFR). Título 21. Parte 113. 1979. Thermally processed low acid foods packaged in hermetically sealed containers. <http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text{textidx?c=ecfr&sid=8b46c0fc50f8989358efb615cf824e5&rgn=div5&view=text&node=21:2.0.1.1.12&idno=21#21:2.0.1.1.12.1.1.1>, accesada 12/10/2007.
- Espié, E., Vaillant, V., De Valk, H., Popoff, M.R. 2003. *France recalls internationally distributed halal meat products from the plant implicated as the source of a type B botulism outbreak*. Eurosurveillance. <http://www.eurosurveillance.org/ew/2003/030918.asp>, accesada 17/09/07.
- Eulenburg A. 1886. Botulismo. En Jubera, A (Ed.). *Diccionario Enciclopédico de Medicina y Cirugía prácticas*. Vol. II, pp. 113-119. Madrid. Citado en: W. Ledermann. 2003. Historia del *Clostridium botulinum*. Revista Chilena de Infectología. pp. 39 – 41.
- <http://www.scielo.cl/pdf/rcl/v20snotashist/art11.pdf>, accesada 03/09/2007.
- FDA. 1992. *Clostridium botulinum*. Foodborne Pathogenic Microorganisms and Natural Toxins Handbook. U.S. Food and Drug Administration. <http://www.cfsan.fda.gov/~mow/chap2.html>, accesada 03/09/2007.
- Holdsworth, S. D. 1997. *Thermal processing of packaged foods*. pp. 201 – 202. Chapman & Hall. Nueva York.
- ICMSF. 1978. *Microorganisms in food 1. Their significance and methods of enumeration*. 2^a edición. pp. 32 – 34. University of Toronto Press. Toronto, Canada.
- ICMSF. 1996. *Microorganisms in food 5. Microbiological specifications of food pathogens*. pp. 66 – 111. Blackie Academic & Professional. Londres.
- IFT. 2004. *Bacteria Associated with Foodborne Diseases. Scientific Status Summary*. Institute of Food Technologists. <http://members.ift.org/NR/rdonlyres/3DEA7A91-DF48-42CE-B195-06B01C14E273/0/bacteria.pdf>, accesada 06/09/2007.
- Ledermann, W. 2003. Historia del *Clostridium botulinum*. Revista Chilena de Infectología. pp. 39 – 41. <http://www.scielo.cl/pdf/rcl/v20snotashist/art11.pdf>, accesada 03/09/2007.
- Lynt, R.K., Kautter, D.A., Read, R.B. Jr. 1975. Botulism in commercially canned foods. J. Food Prot. 38: 546-550. Citado en: IFT. *Bacteria Associated with Foodborne Diseases. Scientific Status Summary*. Institute of Food Technologists. <http://members.ift.org/NR/rdonlyres/3DEA7A91-DF48-42CE-B195-06B01C14E273/0/bacteria.pdf>, accesada 06/09/2007.
- Mead, P. S., Slutsker, L., Dietz, V., McCaig, L. F., Bresee, J. S., Shapiro, C., Griffin, P. M., Tauxe, R. V. 1999. Food-related illness and death in the United States. Emerg. Infect. Dis. 5: 607 – 625. <http://www.cdc.gov/ncidod/eid/vol5no5/pdf/mead.pdf>, accesada 06/09/2007.
- Midura, T.F. and Arnon, S.S. 1976. Infant botulism: Identification of *Clostridium botulinum* and its toxins in feces. Lancet 2: 934 – 936. Citado en: IFT. *Bacteria Associated with Foodborne Diseases. Scientific Status Summary*. Institute of Food Technologists. <http://members.ift.org/NR/rdonlyres/3DEA7A91-DF48-42CE-B195-06B01C14E273/0/bacteria.pdf>, accesada 06/09/2007.

- Nantel, A. J. 1999. *Clostridium botulinum*. Poisons Information Monograph 858. International Programme on Chemical Safety. World Health Organization. <http://www.who.int/csr/delibepidemics/clostridiumbotulism.pdf>, accesada 06/09/2007.
- Pierson, M.D., Reddy, N. R. 2004. Clostridium botulinum. En IFT, *Bacteria Associated with Foodborne Diseases. Scientific Status Summary*. pp. 16 – 18. Institute of Food Technologists. <http://members.ift.org/NR/rdonlyres/3DEA7A91-DF48-42CE-B195-06B01C14E273/0/bacteria.pdf>, accesada 06/09/2007.
- Pickett, J., Berg, B., Chaplin, E. 1976. *Syndrom of botulism in infancy: clinical and electrophysiologic study*. N Engl J Med. 295: 770-772. Citado en: W. Ledermann. 2003. Historia del *Clostridium botulinum*. Revista Chilena de Infectología. pp. 39 – 41. <http://www.scielo.cl/pdf/rcl/v20snotashist/art11.pdf>, accesada 03/09/2007.
- Oguma, K., Fujinaga, Y., Inoue, K., Yolota, K. 2000. Mechanisms of Patogénesis and Toxin Synthesis in *Clostridium botulinum*. En J. W. Carry, J. E. Linz, D. Bhatnagar (Eds.). *Microbial foodborn diseases. Mechanisms of Pathogenesis and Toxin Synthesis*. Pp. 273 – 293. Technomic Publishing Co., Inc. EE.UU.
- Rahman, M. S. 1999. Purpose of Food Preservation and Processing. En M.S. Rahman (Ed.), *Handbook of Food Preservation*. Pp. 1 – 10. Marcel Dekker, Inc. Nueva York.
- Ramesh, M. S. 1999. Food Preservation by Heat Treatment. En M.S. Rahman (Ed.), *Handbook of Food Preservation*. Pp. 95 – 172. Marcel Dekker, Inc. Nueva York.
- Rhodehamel, E.J., Reddy, N.R., and Pierson, M.D. 1992. Botulism: The causative agent and its control in foods. Food Control 3: 125-143. Citado en: M.D., Pierson, N. R. Reddy. 2004. Clostridium botulinum. En IFT, *Bacteria Associated with Foodborne Diseases. Scientific Status Summary*. pp. 16 – 18. Institute of Food Technologists. <http://members.ift.org/NR/rdonlyres/3DEA7A91-DF48-42CE-B195-06B01C14E273/0/bacteria.pdf>, accesada 06/09/2007.
- Rodríguez, R. *Nueva alerta, ahora por jugos contaminados con botulismo*. El Universal. 03 de Octubre de 2006. <http://www.eluniversal.com.mx/nacion/143776.html>, accesada 17/09/2007.
- Schaffner W. 1990. Clostridium botulinum. En G.L. Mandell, J. E. Bennett, R. Dolin (Eds.). *Mandell, Douglas & Bennett's Principles and Practice of Infectious Diseases*. 3rd. edit. Pp. 1847-1850. Churchill Livingstone. Nueva York. Citado en: W. Ledermann. 2003. Historia del *Clostridium botulinum*. Revista Chilena de Infectología. pp. 39 – 41. <http://www.scielo.cl/pdf/rcl/v20snotashist/art11.pdf>, accesada 03/09/2007.
- Shapiro, R.L., Hatheway, C., Swerdlow, D.L. 1998. Botulism in the United States: A clinical and epidemiologic review. Ann. Intern. Med. 129(3): 221-228. Citado en: M.D., Pierson, N. R. Reddy. 2004. Clostridium botulinum. En IFT, *Bacteria Associated with Foodborne Diseases. Scientific Status Summary*. pp. 16 – 18. Institute of Food Technologists. <http://members.ift.org/NR/rdonlyres/3DEA7A91-DF48-42CE-B195-06B01C14E273/0/bacteria.pdf>, accesada 06/09/2007.
- Solomon H. M. y Lilly, T. 1998. Clostridium botulinum. En G. J. Jackson, R. I. Menker y R. Bandler (Eds.). *Bacteriological Analytical Manua*. Capítulo 17. <http://www.cfsan.fda.gov/~ebam/bam-17.html>, accesada 12/10/2007.
- Sonnabend, O. A. R., Sonnabend, W. F. F., Heinze, R., Sigrist, T., Dirnhofer, R., Krech, U. 1981. Isolation of *Clostridium botulinum* type G and identification of type G botulinal toxin in humans: Report of five sudden unexpected deaths. J. Infect. Dis. 143: 22-27. Citado en: ICMSF. 1996. *Microorganisms in food 5. Microbiological specifications of food pathogens*. p. 67. Blackie Academic & Professional. Londres.
- Sonnabend, O. A. R., Sonnabend, W. F. F., Krech, V., Molz, G., Sigrist, T. 1985. Continuous microbiological and pathological study of 70 sudden and unexpected infant deaths: Toxigenic intestinal *Clostridium botulinum* infection in nine cases of sudden infant death syndrome. Lancet i: 237-241. Citado en: ICMSF. 1996. *Microorganisms in food 5. Microbiological specifications of food pathogens*. pp. 67. Blackie Academic & Professional. Londres.
- Therre, H. (Ed.). 1999. *Botulism in the European Union*. Eurosurveillance. <http://www.eurosurveillance.org/em/v04n01/0401-222.asp>, accesada 17/09/2007.
- Tompkin R.B., Christiansen, L. N. 1976. Clostridium botulinum. En M. P. Defigueiredo, D. F. Splittstoesser (Eds.), *Food Microbiology: public*

- health and spoilage aspects.* pp. 156 – 169.
AVI Publishing Company Inc. Connecticut,
EE.UU.
- WHO. 2002. *Fact Sheet 237: Food Safety and
Foodborne Illness.* World Health
Organization, Suiza.
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs237/en/index.html>, accesada 06/09/2007.



Microorganismos de importancia en el tratamiento térmico de alimentos ácidos y de alta acidez

A. I. Gómez - Sánchez

Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Universidad de las Américas – Puebla. San Andrés Cholula, Pue., México.

Resumen

La presente revisión reporta y comenta la presencia de microorganismos contaminantes en alimentos de alta acidez procesados térmicamente, así como los efectos de daño causados por éstos. Se realiza inicialmente una revisión acerca de los valores de pH en alimentos de alta acidez; se reportan los principales microorganismos contaminantes de estos alimentos (características, daños ocasionados y principales alimentos en los cuales se presentan), así como parámetros de termorresistencia de los microorganismos (valores D, z, Fo y F). Finalmente, se comentan detalladamente casos reportados de incidencia de contaminación por microorganismos en alimentos enlatados de alta acidez.

Palabras clave: microorganismo, alta acidez, resistencia térmica, valor D, valor z.

Abstract

This review was realized in order to discuss the presence and effect of spoilage microorganisms in canned acid and high acid foods. A brief analysis about the values of pH in acid and high acid foods, and also the most common spoilage microorganisms and their characteristics are presented. Values D, z, Fo and F of thermal resistance are shown. Specific spoilage cases in canned acid and high acid fruits are commented.

Keywords: microorganism, high acid, thermal resistance, D value, z value.

Introducción

La disminución del pH ayuda básicamente en dos formas a la preservación de alimentos: inhibiendo directamente el crecimiento microbiano, y reduciendo la resistencia térmica microbiana en alimentos que serán posteriormente procesados por calor (ICMSF, 1980).

El uso de temperaturas elevadas para la preservación de alimentos está basado en su efecto destructor en los microorganismos (Jay, 1992).

En general, la resistencia térmica de los microorganismos está relacionada con su temperatura óptima de crecimiento.

Los microorganismos psicrófilos son los más sensibles al calor, seguidos por los mesófilos y los termófilos. Las bacterias no formadoras de esporas tienen menos resistencia al calor que las formadoras de esporas, y de éstas últimas las termófilas son más termorresistentes que las mesófilas. Los mohos y levaduras son más sensibles al calor, sin embargo las ascosporas de levaduras son ligeramente más resistentes al calor que las células vegetativas. Las esporas asexuales de los mohos son ligeramente más resistentes al calor que sus micelios. La especie *Sclerotia* es la más termorresistente y puede causar problemas en frutas enlatadas (Jay, 1992).

La tecnología de la destrucción térmica de los microorganismos relacionada a la preservación de alimentos por enlatado engloba el conocimiento y la aplicación de los siguientes conceptos (Stumbo, 1973):

- 1) Tiempo de Reducción Decimal (valor D): es el tiempo requerido para destruir el 90% de los microorganismos; es el número de minutos requerido para que la curva de supervivencia atraviese un ciclo logarítmico; matemáticamente, es el recíproco de la pendiente de la curva de supervivencia (número de microorganismos sobrevivientes vs. Tiempo de calentamiento (min)), y es una medida de la velocidad de muerte de un microorganismo. Cuando el valor D se determina a 250 F, se expresa como D_o .
- 2) Valor z: son los grados Fahrenheit requeridos para que la curva del tiempo de destrucción térmica (TDT) atraviese un ciclo logarítmico; matemáticamente, es el recíproco de la

pendiente de la curva TDT (valores D (min) vs. Temperatura (F)).

Mientras el valor D indica la resistencia de un microorganismo a una temperatura específica, el valor z proporciona información de la resistencia relativa de un organismo a diferentes temperaturas; esto permite el cálculo de procesos térmicos equivalentes a diferentes temperaturas.

- 3) Valor F: Es una medida (en tiempo (min)) de la capacidad de un proceso térmico para reducir el número de esporas o células vegetativas de un microorganismo dado.

Revisión bibliográfica

Clasificación de los alimentos de acuerdo al pH

La consideración fundamental en el procesamiento de alimentos enlatados es el control del *Clostridium botulinum*; un valor de pH de 4.6 ó inferior inhibe completamente el crecimiento de esta bacteria. De ahí que los alimentos enlatados sean clasificados en alimentos ácidos (pH 4.6 ó inferior) y alimentos de baja acidez (pH mayor a 4.6) (ICMSF 1980).

Asimismo, otra clasificación ampliamente usada basada también en la acidez de los alimentos los divide en: alimentos de baja acidez ($\text{pH} > 4.6$), alimentos ácidos ($\text{pH } 3.7\text{-- }4.0$ a 4.6) y alimentos de alta acidez ($\text{pH} < 4.0$ – 3.7) (Jay 1992).

En la tabla I se enuncian valores de pH en alimentos enlatados ácidos y de alta acidez.

Microorganismos contaminantes y causantes de daño en alimentos enlatados

Los microorganismos causantes de daño en alimentos enlatados pueden ser clasificados en mesófilos y termófilos. Los microorganismos mesófilos a su vez se clasifican en: putrefactivos

Tabla I. Rangos de pH en alimentos ácidos comercialmente enlatados

Alimento	Rango de pH aproximado ^a
Aceitunas	3.6 – 3.8
Berenjenas	4.5
Betabeles	4.2 – 4.4
Blueberries	3.2 -3.6
Ciruelas	2.8 – 3.0
Coctel de frutas	3.6 – 4.0
Duraznos	3.4 - 4.2
Frambuesas	2.9 – 3.7
Fresas	3.0 – 3.9
Grosellas	2.8 – 3.1
Higos	4.6
Jugo de Arándano	2.5 – 2.7
Jugo de cereza	3.4 – 3.6
Jugo de ciruela	3.7 – 4.3
Jugo de Grosella	3
Jugo de lima	2.2 – 2.4
Jugo de manzana	3.3 – 3.5
Jugo de naranja	3.0 – 4.0
Jugo de tomate	3.9 – 4.4
Jugo de toronja	2.9 – 3.4
Limones	2.2 - 2.4
Manzanas enteras	3.4 - 3.5
Mermelada de fruta	3.5 – 4.0
Pepinillos	2.6 – 3.8
Peras (Bartlett)	3.8 – 4.6
Pimientos	4.3 – 4.9
Piñas	3.2 – 4.0
Pulpa de toronja	3.4
Sauerkraut	3.1 – 3.7
Sidra	2.9 – 3.3
Tomates	4.1 – 4.4
Uvas	3.5 – 4.5
Zarzamoras	3.0 – 4.2

^a U.S. Department of Health, Education and Welfare (1969); Jay (1992)

anaerobios, butíricos anaerobios, acidúricos de flat sour, lactobacilos, levaduras y mohos. Los microorganismos termófilos se clasifican en: esporulados de flat sour, termófilos anaerobios productores de sulfuro y termófilos

anaerobios no productores de sulfuro (Jay 1992).

En alimentos ácidos y de alta acidez, la presencia de esporas de *C. botulinum* es de poca significancia, puesto que no hay crecimiento de esta bacteria a valores de pH inferiores a 4.7. Este hecho, y la relativa baja termorresistencia de las principales bacterias contaminantes de alimentos ácidos, hacen factible usar procesos térmicos considerablemente menos severos para alimentos ácidos enlatados, en comparación con los alimentos de baja acidez. Estos procesos se basan en la inactivación de microorganismos vegetativos y sus esporas, los cuales podrían crecer en el producto final.

En la mayoría de las frutas, las cuales son de naturaleza ácida, los procesos térmicos pueden ser leves y la temperatura puede no exceder 100 C; asimismo, no se requiere el procesamiento a presión (Lund y otros 2000).

En la tabla II se reportan parámetros de resistencia térmica de bacterias en alimentos enlatados.

Microorganismos contaminantes y causantes de daño en alimentos enlatados ácidos y de alta acidez.

Algunas manifestaciones de contaminación y daño por microorganismos en alimentos ácidos y de alta acidez enlatados se presentan en la tabla III.

Tabla II. Comparativo de resistencia térmica de bacterias en alimentos enlatados (Stumbo, 1973).

Tipo de Alimento de acuerdo a su pH / Grupo de Bacterias	Valor D (min)	Valor z (°F)
Alimentos de baja acidez (pH > 4.5)		
Termófilos (esporas)	D ₂₅₀	
Grupo de flat sour		
<i>Bacillus stearothermophilus</i>	4.0 – 5.0	14 – 22
Grupo de daño por gas		
<i>Clostridium thermosaccharolyticum</i>	3.0 – 4.0	16 – 22
Productores de azufre		
<i>Clostridium nigrificans</i>	2.0 – 3.0	16 – 22
Mesófilos (esporas)		
Putrefactivos anaerobios		
<i>C. botulinum</i> tipos A y B	0.10 – 0.20	14 – 18
Grupo de <i>C. sporogenes</i> (incluye P.A.3679)	0.10 – 1.5	14 – 18
Alimentos ácidos (pH 4.0 – 4.5)		
Termófilos (esporas)		
<i>B.coagulans</i> (mesófilo facultativo)	0.01 – 0.07	14 – 18
Mesófilos (esporas)	D ₂₁₂	
<i>B.polymyxa</i> y <i>B.macerans</i>	0.10 – 0.50	12 – 16
Anaerobios butíricos (<i>C.pasteurianum</i>)	0.10 – 0.50	12 – 16
	D ₁₅₀	
Alimentos de alta acidez (pH < 4.0)		
Bacterias mesofílicas y no formadoras de esporas		
<i>Lactobacillus</i> sp., <i>Leuconostoc</i> sp,	0.50 – 1.00	08 – 10
Mohos y Levaduras		

Tabla III. Características de microorganismos contaminantes en alimentos enlatados de alta acidez (Schmitt, 1966).

TIPO DE MICROORGANISMO	NOMBRE	CARACTERÍSTICAS	DAÑO PRODUCIDO (EN LATA Y PRODUCTO)	ALIMENTOS
Bacterias formadoras de esporas	<i>Bacillus thermacidurans</i>	Aerobio, termófilo	Flat sour, poco cambio en vacío. Ligero cambio en pH del producto, mal olor y sabor	Jugo de tomate
	<i>C. pasteurianum</i>	Formador de esporas, anaerobio, sacarolítico, productor de gas	Abombamiento de la lata	
Bacterias butíricas anaerobias			Abombamiento de la lata. Producto fermentado con olor butírico	Tomates, jugo de tomate
Bacterias no formadoras de esporas, productoras de ácido láctico.	<i>Lactobacillus</i> sp	Algunas especies son productoras de gas	Abombamiento de la lata	
	<i>Leuconostoc</i> sp	Se desarrollan mejor bajo tensión de oxígeno reducida	Olor ácido del producto	
Levaduras			Por infiltración del agua de enfriamiento en la lata por microruptura de ésta	
Mohos	<i>Byssochlamys fulva</i>	Causa ruptura de pectina; productor de gas. Resistente al calor: 30 min a 190 F, ó 16 min a 212 F. Valores D recomendados: 1 a 12 min a 194 F	En frutas enlatadas causa desintegración de la fruta	Frutas enlatadas

El daño por flat sour (agriado plano) se caracteriza por la producción de ácido, ausencia de gas y presencia de mal olor. Las bacterias responsables son por lo general anaerobios facultativos, aunque también pueden ser termófilos obligados. El rango de temperatura de crecimiento de estas bacterias es de 130 – 140 F (54 – 60 C). Este tipo de daño ocurre frecuentemente cuando los alimentos no son enfriados rápidamente después del enlatado, o se almacenan a elevadas temperaturas. Los microorganismos causantes de este daño se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, por lo que es muy usual encontrarlos en los alimentos que serán procesados por calor. (Mountney, Gould 1988).

La detección de microorganismos de flat sour en alimentos se puede realizar con un examen microscópico, en el cual se observan bacterias de forma alargada. Las esporas por lo general están presentes, pero la presencia de ácido inhibe su desarrollo. Asimismo, se realiza un análisis en caldo de glucosa incubado a 130 F (54 C), y para las esporas en un medio de cultivo con pH neutro.

El flat sour se puede presentar en betabeles enlatados, y es causado por bacterias mesofílicas, las cuales le imparten sabor medicinal al producto, así como una coloración negra, en caso de encontrarse presente hierro disuelto.

En jugo de tomate enlatado y con daño de flat sour , la bacteria responsable es *Bacillus thermoacidurans* (también conocida como *Bacillus coagulans*). Este caso es excepcional, ya que este tipo de daño no es común en alimentos ácidos. Conforme la bacteria crece en el jugo de tomate, se desarrolla un sabor de tipo

fenólico, y el pH del jugo disminuye de 4.5 a 3.5. Asimismo, no existe formación de esporas. A valores de pH en el rango de 4.5 a 4.8 existe riesgo de contaminación por *Clostridium botulinum*, y se recomienda la adición de ácidos orgánicos para disminuir el pH (CAC 1994; Powers 1976).

La detección del problema se puede llevar a cabo con un examen al microscopio, así como las manifestaciones en el producto de cambio de pH y mal sabor característico. (Mountney, Gould 1988).

Es de suma importancia considerar la temperatura mínima de crecimiento de microorganismos termófilos para diagnosticar el daño de productos enalatados: *B. thermoacidurans* crece lentamente a 25 C, pero crece bien entre 30 y 55 C (Fields 1970). Se le considera como microorganismo termófilo, o mesófilo facultativo (Stumbo 1973), y su rango óptimo de temperatura de crecimiento es 28 a 65 C (Fields 1970). Se le encuentra distribuido ampliamente en el suelo, y puede llegar a encontrarse en cantidades altas en el agua de lavado de los tomates en las plantas procesadoras; el azúcar y almidón son fuentes de la bacteria, por lo que éstos deben ser sometidos a los estándares de calidad (Lund y otros 2000).

Lactobacillus brevis causa una vigorosa fermentación en salsa catsup, salsa worcestershire y productos similares. *Leuconostoc mesenteroides* se ha reportado que causa daño por producción de gas en piñas enlatadas, y daño por fibrosidad en duraznos. El moho *Byssochlamys fulva* ocasiona

daño en frutas enlatadas y embotelladas. Causa desintegración del producto, como resultado de ruptura de pectina. Con respecto al daño de alimentos ácidos y de baja acidez por levaduras y mohos, ciertos organismos se asocian repetidamente con alimentos específico (Jay 1992).

Productos enlatados con pH entre 3.7 a 4.6.

Entre estos productos se encuentran incluidos tomates, peras e higos enlatados. Existen reportes de daño por bacterias formadoras de esporas, incluyendo *Clostridium pasteurianum*, *Clostridium butyricum* y *Bacillus coagulans*. Se ha reportado que las esporas de *B.coagulans* son más termorresistentes que las de *C.pasteurianum* y *C.butyricum*, pero el daño por *Bacillus* se presenta a mayores valores de pH (Lund y otros 2000).

Clostridium pasteurianum y bacterias similares causan daño por bacterias vegetativas a pH 3.6 en jugos de pera y chabacano (Jakobsen, 1975), (Tomlin, 1997), y también en piña enlatada a pH 4.4, provocando abombamiento de las latas (Spiegelberg 1936, 1940). Asimismo, existen reportes de la presencia de *Clostridium pasteurianum* en jugo de mandarina enlatado a valores de pH entre 3.90 y 3.97, y superiores; se recomendó efectuar un ajuste de pH a valores menores de 3.5 (Ikegami y otros, 1970). En jugo de pera enlatado se recomendó ajustar la a_w a valores entre 0.97 y 0.98 (mediante adición de azúcar) para lograr un pH menor a 4.0 y prevenir así el crecimiento de *C.pasteurianum*; se sugirió que la combinación a_w – pH podía reducir los requerimientos del tratamiento térmico para peras enlatadas.

Existen reportados casos de contaminación con producción de gas por *B.macerans* y *B.polymyxa* en frutas enlatadas (Vaughn y otros 1952). El daño se atribuyó a una contaminación post-pasteurización en el agua de enfriamiento; las esporas bacterianas fueron lo suficiente termorresistentes para sobrevivir en los enfriadores rotatorios.

El valor de esterilización recomendado para un proceso de enlatado de tomates enteros en su jugo, calculado contra esporas de microorganismos anaerobios productores de ácido butírico y a pH superior a 4.3 es de 10 minutos a 200 F (93 C), con un valor z de 15 F (8.3 C), y si el pH es menor a 4.3, éste se recomienda de 5 minutos a 200 F (93 C) (NCA 1968; York 1975).

El valor de proceso recomendado (F_0) para destruir esporas de *B.coagulans* a pH de 4.5 es de 0.7 min a 250 F (121 C), con un valor z de 18 F (10 C). A valores de pH iguales o inferiores a 4.3, se recomienda un proceso(F) de 1.56 min a 212 F (100 C), con un valor z de 27 F (15 C) (York y otros 1975).

Productos enlatados con pH inferior a 3.7 y 4.0

Estos alimentos son dañados principalmente por mohos, y en menor grado por levaduras y bacterias ácido lácticas.

Las ascosporas de ciertos mohos, particularmente de los géneros *Byssochlamys*, *Neosartorya*, *Talaromyces* y *Eupenicillium* son

capaces de sobrevivir a tratamientos térmicos comerciales de frutas ácidas enlatadas (Pitt y Hocking 1997; Splittstoesser 1996).

Los principales microorganismos causantes de daño en frutas ácidas enlatadas son *Byssochlamys fulva* y *B.nivea*. En la tabla IV se reportan algunos valores D de ascosporas.

Tabla IV. Valores D reportados para la resistencia térmica de ascosporas en mohos (Beuchat y Rice, 1979; Splittstoesser, 1996).

NOMBRE DEL MICROORGANISMO	PRODUCTO	VALOR D (min)	TEMPERATURA (C)
<i>Byssochlamys fulva</i> y <i>B.nivea</i>	Jugo de uva	4.8 – 11.3	86.0 – 87.8
<i>Talaromyces flavus</i>	Jugo de manzana	2.2	92
<i>Neosartorya fischeri</i>	Jugo de manzana	18	85
<i>Eurotium herbariorum</i>	Jugo de uva	2.5	70

Byssochlamys spp. son aerobios obligados, pero pueden crecer a muy bajas concentraciones de oxígeno (Pitt y Hocking, 1997). Aún su crecimiento limitado puede ser suficiente como para permitir la producción de enzimas degradadoras de pectina que causan el ablandamiento y la consecuente ruptura del tejido en frutas. Asimismo, se ha reportado la producción de micotoxinas (ácido bisoclámico, patulina, bisotoxina y malforminas) de estos mohos en frutas (Beuchat y Rice, 1979; Splittstoesser 1996). Estos mohos provienen de los huertos y campos de cultivo de las frutas. *Byssochlamys fulva* se encontró como el moho predominante en uvas, manzanas, zarzamoras, cerezas, duraznos, framboesas, chabacanos, peras y viñedos (Beuchat y Rice, 1979).

Existe el riesgo de que el daño microbiano en frutas enlatadas pueda ser la causa de un incremento en el pH del producto y permita de esta forma el

crecimiento y producción de toxina de *Clostridium botulinum*. Entre los años de 1899 y 1975, fueron reportados 35 casos de botulismo en los Estados Unidos, los cuales se atribuyeron a “alimentos ácidos”; de éstos, 34 fueron productos procesados en el hogar y sólo uno de ellos fue procesado comercialmente (Odlaug y Pflug, 1978).

Conclusiones

Los microorganismos de importancia en el tratamiento térmico de alimentos ácidos, frutas principalmente con valor de pH entre 3.7 y 4.6, son: *Bacillus coagulans*, *Bacillus polymyxa*, *Bacillus macerans*, *Clostridium pasteurianum* y *Clostridium butyricum*, los cuales tienen la característica de ser bacterias formadoras de esporas, termofílicas o mesofílicas, de las cuales, la más termorresistente es *Bacillus coagulans*.

Respecto a los microorganismos importantes en el tratamiento térmico de alimentos de alta acidez, frutas cuyo valor de pH menor a 4.0, son: *Byssochlamys fulva*, *B.nivea*, *Talaromyces flavus*, *Neosartorya fischeri*, *Eurotium herbariorum*, *Lactobacillus* sp. y *Leuconostoc* sp.; ellos son bacterias ácido lácticas (mesofílicas y no

formadoras de esporas), levaduras o mohos. El microorganismo más termorresistente es el moho *Byssochlamys fulva*.

Se recomienda aplicar un estricto control de calidad en el manejo higiénico de éste tipo de alimentos que serán sometidos a la esterilización comercial , iniciando desde la cosecha, almacenamiento y manejo previo y posterior al enlatado (agua de enfriamiento), ya que estos microorganismos se encuentran presentes en cargas microbianas elevadas en el suelo y en las materias primas de jugos y frutas enlatadas (principalmente azúcar y almidón). Si el agua de enfriamiento de los envases contiene cargas microbianas elevadas, también es un factor de contaminación importante, en caso de presentarse micro-rupturas en los envases.

Es un reto de la tecnología de procesamiento térmico la optimización de procesos de esterilización comercial, de modo que éstos sean seguros, rentables y ofrezcan al consumidor productos de alta calidad.

Referencias.

- Beuchat, L. R.y Rice, S. L. 1979. *Byssochlamys* spp. and their importance in processed fruits. *Advances in Food Research.* 25:238-288.
- Codex Alimentarius. 1994. Codex Standard for canned tomatoes. Codex Standard 13-1981, 3-8.
- Fields, M. L. 1970. The flat sour bacteria. *Advances in Food Research.* 18:163-217.
- Ikegami, Y., Okaya, C., Sawayama, Z., et al.1970. Prevention of gaseous spoilage of butyric acids anaerobes in canned foods. Part I. En J. Canners. Canned mandarin orange. 49: 993-1000.
- International Comision on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). 1988. *Microbial Ecology of Foods. Volume 1:Factors Affecting Life and Death of Microorganisms.* Academic Press, Inc. Nueva York. p. 332.
- Jakobsen, M. y Jebsen, H. C. 1975. The combined effect of water activity and pH on the growth of butyric anaerobes in canned pears. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie.* 8:158-160.
- Jay, J. M. 1992. *Modern Food Microbiology.* 4a Edición. Chapman & Hall. Nueva York.
- Lund,B. M., Baird-Parker, T.C. y Gould, G. W. 2000. *The Microbiological Safety and Quality of Food.* Vol.1. Aspen Publishers, Inc. EE. UU.
- Mountney, G. y Gould, W. A. 1988. *Practical Food Microbiology and Technology.* 3a. Edición. Van Nostrand Reinhold Company. Nueva York. p. 351.
- National Canners Association.1968. *Laboratory Manual for Food Canners and Processors. Volume 1.*3a. Edición.The Avi Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut.
- Odlaug, T. E. y Pflug, I. J. 1978. *Clostridium botulinum* and acid foods. *Journal of Food Protection.* 41:566-573.
- Pitt, J. I. y Hocking, A. D. 1997. *Fungi and Food Spoilage.* 2a Edición. Blackie Academic and Professional. Londres. p. 504.
- Powers, J. J. 1976. Effect of acidification of canned tomatoes on quality and shelf life. *Critical Review of Food Science and Nutrition.* 7:371-393.
- Schmitt, H. P. 1966. Comercial sterility in canned foods, its meaning and determination. *Assoc.Food Drug Off. of U.S. Quart.Bull.* 30:141-51.
- Splitstoesser, D. F. 1996. Microbiology of fruit products. En L. P. Somogyi, H. S. Ramaswamy y Y. H. Hui (Eds.). *Processing Fruits: Science and Technology. Biology. Principles and Applications.* Technomic Publishing Co.Lancaster, PA. pp. 261-292.
- Stumbo, C. R.1973. *Thermobacteriology in Food Processing.*2a Edición. Academic Press. Nueva York. p. 113.
- Spiegelberg, C. H. 1936. Acid and pH variations in *Ananas comosus* Merr. in relation to swells caused by *Clostridium* sp. *Journal of Bacteriology.* 31: 85.
- Spiegelberg, C. H. 1940. *Clostridium pasteurianum* associated with spoilage of

- an acid canned fruit. *Journal of Food Science.* 5(2):115-130.
- Tomlin, C. D. S. 1997. *The pesticide Manual.* 11a Edición. British Crop Protection Council. Bracknell, Reino Unido.
- Vaughn, R. H., Kreulevitch, I. H. y Mercer, W. A. 1952. Spoilage of canned foods caused by *Bacillus macerans-polomyxa* group of bacteria. *Journal of Food Science.* 17(1 - 6):560-570.
- York, G. K., Heil, J. R., Marsh, G. L., Ansar, A. Merson, R. L., Wolcott, T. y Leonard, S. 1975. Thermobacteriology of canned, whole, peeled tomatoes. *Journal of Food Science.* 40:764-769.



Evolución y estado actual de envases utilizados en el procesamiento térmico de alimentos

T. G. Cerón – Carrillo

Departamento de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos, Universidad de las Américas, San Andrés, Cholula, Pue., México

Resumen

El contenedor es un factor esencial para la preservación del alimento. Después de que el alimento empacado es esterilizado, el contenedor es el encargado de proteger al alimento de sufrir una recontaminación, es entonces cuando se requiere de una buena calidad del proceso de empacado, un buen sellado y contenedores seguros. Este artículo es una revisión, realizada con el fin de conocer la evolución de los envases que se utilizan en el tratamiento térmico de alimentos, así como su estado actual y los materiales utilizados en años anteriores como en la actualidad. Otro de los fines de este trabajo es conocer los nombres más sobresalientes en la historia del envasado y cómo fue que realizaron sus descubrimientos. Por ultimo, esto es esencial para conocer qué materiales pueden ser útiles por sus características para un alimento determinado.

Palabras claves: empaque, contenedor, proceso térmico.

Abstract

The container is essential in food preservation. After the sterilization of food packaging, the container is the responsible for the protection of food against decomposition by microorganism's recontamination. It is then when its required good quality of the packaging process, a good seal and safer package. This article was made for knowing thermal food package evolution, as well as its actual state and the materials used in previous and presents years. Another objective of this paper is to know the most outstandings names in package history and how they made their discoveries. Finally it is important to know which materials could be usefull because of their characteristics for a determinated food.

Keywords: package, container, thermal process.

Introducción

El enlatado es el proceso por medio del cual un alimento es envasado

herméticamente en un contenedor y posteriormente recibe un tratamiento térmico, con la finalidad de asegurar la

destrucción de microorganismos patógenos y deteriorativos, responsables de enfermedades relacionadas con la ingesta de alimentos y con el deterioro los mismos; de igual manera minimiza el deterioro de los alimentos ocasionados por la actividad enzimática. El tratamiento térmico que se aplica es mediante el manejo de temperaturas por arriba de los 100 °C y un rápido enfriamiento (Gómez-Soberanes et al., s/a)

Revisión Bibliográfica

El envasado de alimentos es una alternativa al uso de las tecnologías de secado, salado, congelado y conservación en salmuera, las cuales han sido utilizadas como medios de conservación de

alimentos.

A continuación, en la Tabla 1 se muestra la evolución del uso de envases a través de los años; desde la invención del envasado por Appert hasta el desarrollo de nuevas tecnologías para la preservación de alimentos.

Es por ello que el envasado de los alimentos a razón del tiempo es una parte integral del proceso: teniendo este como objetivo la protección de los mismos, a tal grado de extender su vida de anaquel durante su almacenamiento. Existen tres diferentes sistemas disponibles de envasado los cuales son: a) contenedores

Tabla I. Desarrollo del envase a través de los años

Año	Suceso
1790	Nicholas Appert descubrió un método de conservar cualquier tipo de alimentos en contenedores
1809	Appert fue galardonado por el gobierno francés por desarrollar la tecnología conocida como enlatado
1810	Appert publicó el primer libro sobre enlatado
1811	Se hicieron las traducciones al inglés del libro publicado por Appert. El libro es publicado en Inglaterra
1817	William Underwood, comenzó el negocio de conservación de alimentos en envases de vidrio por el método Appert. Se produjo la primera bolsa de cartón
1823	Se desarrolló una lata con orificio en la parte superior, permitió que las latas se pudieran calentar en agua hirviendo
1831	Se destiló por primera vez estireno de bálsamo de un árbol
1841	Se utilizaron los primeros tubos de metal blando (empaque flexible) para pasta de dientes
1844	Francis Wolle, inventó la bolsa de papel comercial
1864	Louis Pasteur, descubre la relación entre técnicas de enlatado en base científica y propone las bases para nuevos métodos de enlatado
1870	Se diseñó la bolsa en forma de saco pegada. Se inventó el celuloide
1896	Max Ams, planteó el enrollado mecánico de latas en un cuerpo con una unión soldada por los lados
1900	Se utilizó la primera lata sanitaria abierta por la parte superior de doble unión y de tres piezas. Las cajas de cartón corrugado reemplazan a las cajas de madera para envíos
1920	Bohart desarrolló recubrimiento "C" para prevenir la decoloración de chicharos, maíz, frijol, mariscos y carne enlatados
1921	La lata sanitaria se adoptó para frutas y vegetales enlatados en Estados Unidos
1937	Se utilizó un recubrimiento electrolítico de estaño de la hojalata por el método "Aderezo caliente"
1947	Se introdujeron por primera vez las botellas flexibles
1950	Se realizó investigación acerca de la bolsa esterilizable por Reynolds Metal Company, la Continental Can Company y por U.S. Army Research and Development Command Laboratory. Se utilizó durante la guerra de Vietnam. Se procesaron las primeras cajas, bandejas y copas de espuma para alimentos
1958	Se crean las películas termosensibles
1960	Se utilizó por primera vez los tubos de aluminio colapsable como empaque de alimentos. Se utilizó el celofán en empaque de alimentos. Comenzó a utilizarse la bolsa preformada en alimentos y el sellado por temperatura
1963	Se utilizaron bolsas de polietileno para empacar pan

Tabla I. Desarrollo del envase a través de los años (continuación)

Año	Suceso
1967	Se comercializó la bolsa en Inglaterra bajo la Continental Can Company
1968	Se comercializó la bolsa en Japón
1969	Alimentos empaquetados en bolsas esterilizables usadas por la misión espacial Apolo
1970	Se utilizó el contenedor portátil de alimentos. Se usaron por primera vez las mini bolsas para cereal
1970	Media bandeja o bandeja de retorta fue introducida por la Central Status Can Company y por la FMC Corporation. Contenedor de dos piezas de hojalata con forma de una mitad de "steam tray", con una doble unión en la tapa. El envasado con vidrio se realiza en productos de alta calidad. Se utilizó para el programa espacial los "Space food sticks" que eran unos aperitivos portátiles envueltos en papel aluminio
1977	FDA y U.S. Department of Agriculture aprobaron el uso de una bolsa esterilizable para alimentos de baja acidez. Consiste de dos películas plásticas con hojas de aluminio en medio. La unión de la bolsa es sellada con calor. OTT Continental Baking Company introdujo en el mercado de los Estados Unidos con una línea de entradas empaquetadas en bolsas esterilizables.
1980	Investigación, el desarrollo y las pruebas de mercado fueron hechas en contenedores plásticos rígidos y semi-rígidos para su aplicación en productos enlatados, procesados y empacados asepticamente. Se empaca jamón y otros productos de llenado caliente en polietileno tereftalato (PETE). La compañía Capri Sun utilizó bolsas para empacar jugos
1981	Se utilizaron los empaques con atmósferas modificadas para extender la vida de anaquel. Las cajas asepticas para bebidas se introdujeron en E.U.
1986	Campbell Soup Co., utilizó bandejas de Polietileno tereftalato cristalizado para bandejas de cuatro compartimentos. Se introdujo un envase de cartón por Patterson Food para vegetales congelados llamado "cocinado en caja"
1987	Se utilizaron las bolsas termoresistentes para empacar entradas
1990	Las bolsas o "stand up pouches" reemplazan otro tipo de contenedores de alimentos en el mercado. Las bolsas termoestables reemplazan muchos contenedores de metal
1990	Las bolsas o "stand up pouches" reemplazan otro tipo de contenedores de alimentos en el mercado. Las bolsas termoestables reemplazan muchos contenedores de metal
Mediados de 1990	Fue introducido por Ritz y Snack Well la Nabisco Biscuit's snack pack, es decir, utilizó bolsas para empacar aperitivos
1998	Millar Brewing introdujo la botella de plástico para cerveza de 16 y 20 oz.
1999	Cryovac introdujo la película inhibidora de oxígeno, la cual elimina el oxígeno residual
2002	Se introdujo la sopa mega portátil en un contenedor que cabe en portavasos del automóvil

Appert, 1810; Anon, 1971; López, 1987a; López, 1987 b; Hook y Heimlich, s/a; S/A, 2003.

rígidos (estos incluyen lastas de metal y botellas de vidrio), b) contenedores semi-rígidos (que incluyen latas, botellas, tubos y copas de plástico y cartones laminados de papel) y por último, c) contenedores no-rígidos (en los que están las bolsas de plástico y las bolsas en caja) (Goddard, 1980).

La selección de los materiales correctos para el empacado es muy importante, especialmente la composición de los laminados a cartones y polímeros plásticos. Esto depende del producto alimenticio, la vida de anaquel requerida, la apariencia en el mercado y los costos.

Los materiales utilizados para el envase son:

Latas. Anteriormente los envases de alimentos se elaboraban a partir de estaño u hojalata, sin embargo, recientemente los contenedores son hechos de con aluminio y acero libre de estaño.

Las latas compuestas también se encuentran disponibles para el envasado aséptico, estas consisten de 7 capas compuestas de dos pliegos de papel Kraft para dar fuerza y resistencia, recubierto con polietileno en el exterior para ofrecer resistencia al agua y en el interior hay una capa de aluminio y una capa de polipropileno en contacto con el alimento. La capacidad de las latas varia de 100-1000 mL y la esterilización se lleva a cabo usando aire caliente.

Estas pueden ser de dos formas:

Latas de tres piezas

Las latas de dos piezas son cada vez más populares para algunas aplicaciones, pero las latas de tres piezas son las más económicas, seguras y aceptables que hay. Las latas de tres piezas pueden ser de dos tipos; las de soldadura blanda y las de soldadura fuerte.

Soldadura blanda

La manufactura de las latas de tres piezas con una unión, empieza con la recepción de la lámina en rollo, esta se corta en hojas y se alimenta a una máquina cortadora para producir los cuerpos de lata. Los cuerpos de lata se alimentan a un maquina en donde se remueve metal de la unión, se enrolla y se forman los ganchos en los dos extremos. Después de que el cilindro se elabora, pasa automáticamente

a un quemador seguido de un rollo de soldadura, el cual introduce soldadura derretida en los dobleces de la unión. Despues el exceso de soldadura es removido, y finalmente se aplica laca al interior y exterior de las superficies del lado de la unión para una mejor compatibilidad del producto.

Soldadura dura

La soldadura dura ofrece un ahorro del material, ya que la solapa usa menos metal que en la soldadura blanda, así como la unión es más fuerte, es más fácil unir los extremos y hay una mayor área para el decorado final. Este tipo de soldadura es libre del exceso de plomo, la soldadura debe ser recubierta para evitar que se filtren trazas de metal en bebidas o alimentos acidificados (Morgan, 1985).

En la figura 1 se puede apreciar el producto final del proceso de manufactura de una lata de tres piezas con soldadura dura. Los beneficios de usar latas de tres piezas incluye la libertad de tamaño de la lata, un amplio rango del espesor del plato, larga vida de anaquel, y compatibilidad con el llenado y retorta (Hanlon, 1984).



Fig. 1. Envase de tres piezas (Visy food, 2007)

b. Latas de dos piezas

En los años 70's, un método nuevo fue introducido: latas "dibujado-redibujado" y "dibujado y planchado". A continuación se describen estos procesos:

Dibujado-redibujado

Este método es el más simple para hacer una lata, debido a que necesita menor número de operaciones, y es adaptable a acero, hojalata o aluminio. La eliminación de una unión de lado mejora la estructura y elimina los problemas de fugas que ocasionalmente ocurren en las latas de tres piezas.

La formación de las latas empieza con la formación de una copa con pestaña de una lámina enrollada. En una segunda presión esta es "redibujada" a su tamaño ideal, cortada para la elaboración de pestañas y cortada. Se utilizan múltiples caladores, permitiendo la formación de más de una lata por cada golpe de prensa. La operación final se realiza en un "beader" en el cual se dobla el fondo para promover un apilado integral para las latas de alimentos. Esto confiere una gran estabilidad para apilar y da un bajo perfil de anaquel para un número determinado de latas (Malin, 1980).

Dibujado-planchado

Se realizan por medio de la alimentación de la hoja de lámina en la prensa, donde progresivamente se le da forma de un cuerpo de lata en una sola pieza. Estos cuerpos son "cortados", limpiados, impresos, recubiertos, se les forma un cuello, se les forma una pestaña y se apilan para embarque. Se puede utilizar aluminio o acero de bajo carbón.

El proceso empieza con la formación de una copa en la prensa. Despues es alimentado en una prensa de planchado donde el primer calado forma la copa alrededor del punzón de hierro. El punzón continua su trayectoria hacia abajo, empujando la copa a través de anillos progresivamente más pequeños. Este procedimiento hace más delgadas las paredes y empuja el metal para darle la altura deseada de la lata.

Los cuerpos de lata son cortados y las paredes recubiertas para incrementar la fuerza. Los cuerpos son lavados para remover los residuos de lubricante utilizado. Finalmente el exterior y el interior son recubiertos y horneados.

En la figura 2 se puede apreciar el producto final del proceso en el cual se hacen las latas con el método "dibujado-redibujado". Los beneficios de este proceso incluyen: una integridad superior, no es necesaria la soldadura (solo para una parte), se puede utilizar cualquier metal, se pueden apilar (Lopez 1987b).



Fig. 2. Envase de dos piezas (Visy food, 1007)

Botes y envases de vidrio. Una alternativa a los contenedores metálicos es el envase o bote de vidrio, estos pueden ser herméticamente sellados usando cierres hechos de hojalata o aluminio que están recubiertos de laca para prevenir la corrosión. La integridad del cierre es asegurada usando un anillo que fluye cuando la tapa es puesta. El cierre más común es el de rosca el cual es usado para

el envasado aséptico de pepinillos y salsas. Las tapas coronadas “crown caps” son utilizadas comúnmente para botellas de cerveza y jugos de frutas.

Las tapas enroscadas a prueba de derrame “roll-on-pilfer-proof” son puestas colocando una tapa blanca en la botella y después presionando el metal en la rosca del frasco. Finalmente un anillo de metal perforado se forma en la base de la tapa. Las tapas plásticas “snap on” son ajustadas en el cuello de la botella y es sellada. Los corchos son mayormente utilizados para sellar botellas de vino. Los corchos son mojados primero para que se introduzcan más fácilmente dentro de la botella y luego se expanden (Ánonimo, 2006).

Botellas de plástico. El polietileno y el polipropileno pueden convertirse en botes por el proceso de moldeado por soplado. El moldeado soplado por extrusión es usado para producir artículos huecos usando un extrusor plástico y cabezas caladas. El plástico es extendido axial y radialmente durante el proceso de moldeado final resultando en una orientación biaxial. Esto le confiere al material una mayor fuerza tensora, mejor propiedades de barrera y mejora en las propiedades físicas y químicas.

El mayor problema de los envases de polietileno y polipropileno es que transmiten la luz y son permeables al oxígeno. La transmisión de la luz puede reducirse añadiendo tintes o material inorgánico como dióxido de titanio o polvo de aluminio.

Contenedores plásticos (tarros y copas). El proceso principal para producir los tarros de una variedad de tamaños y formas se hace uso de la termoformación, en el cual la hoja de plástico es calentada,

suavizada y formada finalmente por un proceso de moldeado. Para copas más pequeñas o tarros, un tapón de hierro es usado para forzar el plástico en una forma determinada. Este proceso reduce el estrés en el material y controla la estructura mejor que la anterior. Este es uno de los procesos más importantes para la manufactura de envasado aséptico (Briston y Katan, 1974).

Cartón. Uno de los materiales de empaque más utilizados es cartón de papel laminado con plástico especialmente para porciones simples de jugo de fruta y bebidas lácteas con pajillas adheridas. El material también es usado para hacer cartones de leche con mayor capacidad, jugos de fruta y sopas. Un material típico para el laminado consiste en polietileno (capa exterior), una capa impresa, cartón, polietileno, hoja de aluminio y poliolefina en la capa interior en contacto con el alimento, un ejemplo excelente es el Tetra-brick (Robertson, 1992)

Empaque flexible. Una variedad diferente de materiales incluyendo películas plásticas, papel, celofán, hojas de aluminio y películas metalizadas son utilizadas en combinación o en forma laminada para formar bolsa flexibles de una capacidad deseable. Las principales técnicas de laminación son: a) afinación adhesiva, en la que cada capa es adjuntada a la siguiente usando un adhesivo a base de solvente, agua o contenido alto de sólidos, b) laminación por extrusión en la cual los materiales se adhieren por una capa de polímero derretido, c) coextrusión en el cual varios extrusores están conectados a un calador simple produciendo capas de material caliente las cuales se adhieren cuando se enfrian.

Los tipos de bolsa son los siguientes: 1) en forma de almohada formada por una red de material y doblada tal que la parte superior y la inferior permanecen abiertas con la juntura de lado que da la apariencia de almohada o tubo, un lado es sellado, se llena la bolsa y el otro lado es sellado, 2) se forman tres lados, se dobla de manera que sólo quedan dos uniones. Una vez que se sella un lado se llena y el otro lado se sella, 3) en la forma de una bolsa con una unión de lado, se unen dos redes por sellado de estos lados, llenándolos y después sellando la unión de la bolsa, 4) las bolsas son formadas por una extrusión por tubo y selladas en el extremo apropiadamente (Fellows, 1988)

Bolsa en caja. Consiste esencialmente de una bolsa de plástico hecha por material laminado, como nylon y poliestirenos de baja densidad los cuales tienen un gran impacto en la fuerza y la resistencia a la puntura, poliéster el cual es fuerte y resistente a la abrasión, etil polivinil alcohol, cloruro de polivinilideno, aluminio y películas metalizadas para limitar la permeabilidad del oxígeno (Holdsworth 1992).

Nuevas alternativas para el empaque de alimentos

Actualmente se ha investigado acerca del uso de nuevos materiales para el empaque de alimentos, siendo estos, tecnologías más amigables para el ambiente, para el consumidor y para la economía de las diferentes industrias. A continuación se describirán algunas de estas nuevas tecnologías:

Materiales biológicos. Estos materiales están hechos de recursos renovables como almidón, celulosa y proteína de soya. Lo que hace que esta tecnología se desarrolle

mejor es que ofrecen una alternativa de una dependencia reducida al aceite (la fuente primaria de muchos empaques). Estos materiales se basan en el ácido poliacético, pero no se ha podido industrializar esta tecnología ya que se necesitan de mayor investigación para conocer su compatibilidad con productos alimenticios (Brody, 2006). El ácido poliacético tiene mucho brillo, es transparente, puede ser termoformado. Los empaques termoformados tiene parecido con el poliestireno y con las versiones de poliéster y las botellas como contenedores de poliéster. Con esto se pueden producir bandejas, botellas de agua, copas y otras (Brody, 2006 a).

Nanotecnología. La aplicación de esta tecnología en el envasado de alimentos ha ido creciendo en los últimos años. Las nanoarcillas (nanopartículas de arcilla) se dispersan en matrices de plástico en la cual, pequeños porcentajes de estas partículas mejoran las propiedades como resistencia a la temperatura, fuerzas tensiles, rigidez, etc (Brody, 2007). Otra empresa como Nanocor, ha utilizado nanocomuestos en botellas de cerveza para elevar la vida de anaquel a 18 meses (Asadi y Mousavi, 2006).

Empaques inteligentes. Se basa en la integración de películas electrónicas en el empaque de alimentos con un adecuado monitoreo y verificación, así como acciones correctivas. Algunos mecanismos detectan sustancias volátiles, tiempo y temperatura, humedad, bacterias dañinas y comunica esta información a los fabricantes y consumidores por medio de radiofrecuencia (Brody, 2006 b).

Recubrimiento de empaques. En el 2004, la Asociación Europea de hojas de aluminio, dio a conocer una nueva rama en

el envasado de alimentos. El uso de hoja de aluminio como recubrimiento para envases flexibles utilizados en alimentos para mascotas. Este recubrimiento confiere una mayor resistencia a la esterilización por autoclave, mejorando la penetración del calor en el proceso y a su vez permitiendo que el producto se enfríe rápidamente. Así mismo, la utilización de esta tecnología de recubrimiento permite generar un menor peso del producto final, conservar al alimento de la descomposición y mejor aún, un ahorro de energía y de material (EAFA, 2004).

Conclusiones

El envasado de alimentos se ha utilizado desde el siglo pasado con el fin de incrementar su vida de anaquel. Desde el inicio, el enlatado de alimentos se realizó con latas de hojalata las cuales tenían algunas desventajas como eran la corrosión y la corta vida de anaquel de los productos alimenticios debidos a fugas en esta. Para contrarrestar estos problemas se utilizaron recubrimientos tanto en el interior (por el contacto con los alimentos) como en el exterior de las latas y así mismo el uso de otros materiales para su enlatado (por ejemplo, el uso de acero libre de plomo).

Por otra parte se utilizaron otro tipo de materiales para el empacado de alimentos como son los diferentes tipos de polímeros, vidrio, cartón, etc.

Se debe de seleccionar el material adecuado al alimentos que se quiere empacar, ya que entre estos debe de haber compatibilidad en cuanto a acidez, para que no haya corrosión del material, y también en lo que respecta a la permeabilidad tanto del oxígeno como de la humedad.

La ventaja de estos materiales es que pueden ser flexibles, aceleran los procesos de envasado, pueden adquirir diferentes formas o tamaños según se deseé y dependiendo del material, su costo no es tan elevado.

Se debe de escoger un material que así mismo tenga un costo menor o un poco mayor al alimento si este le confiere propiedades que de otra forma no podría adquirir.

Se conocieron algunas características de los materiales usados actualmente para el envase de los alimentos para así conocer que materiales se pueden usar para un determinado producto con características propias.

Referencias

- Anon. 1971. *The canning industry*. 6th Edition. Natl. Canners Assoc., Washington, D.C.
- Anónimo. 2006. *Packaging food in glass*. Encontrado en: http://www.itdg.org/docs/technical_information_service/packaging_food_in_glass.pdf. Accesado 17/09/2007.
- Appert, N. 1810. The art of preserving animal and vegetable substances for many years. En S.G. Goldblith, M.A. Joslyn y J.T.R. Nickerson (Eds). 1961. *An Introduction to the thermal processing of food*. AVI Publishing, Westport, Conn.
- Asadi, G. y Mousavi, M. 2006. *Application of nanotechnology in food packaging*. In 13th World Congress of Food Science & Technology iufost.
- Briston, J.H., y Katan, L.L. 1974. *Plastics in contact with food*. Food Trade Press. Londres, pp. 331-348.
- Brody, A. 2006 b. Defining the future of food packaging. *Journal of Food Technology*. 60(12):38-42.
- Brody, A. 2006 b. Sustainability and alternatives to today's foos packaging. *Journal of Food Technology*. 60(11):72-74.

- Brody, A. 2007. Case studies on nanotechnologies for food packaging. *Journal of Food Technology*. 61(7): 101-107.
- EAFA (European Aluminium Foil Association). 2004. *Pet Food*. En www.alufoil.org. Accesado 20/9/ 2007.
- Fellows, P. 1988. *Food processing technology: Principles and practice*. Editorial Ellis Horwood. Chichester, Inglaterra. pp. 429-431
- Goddard, R. R. 1980. Food packaging materials. En *Developments in food processing*. Conferencia The Mechanical Engineer's Contribution to Porcess Engineering. Institution of Mechanical Engineers, pp. 6-71.
- Gómez-Soberanes, D., González-Méndez, N., Zamorano-García, L., González-Ríos, H., Cumplido-Barbeitia, L. G., y Valenzuela-Melendres, M. s/a. *Estudio del enlatado y pasteurización bajo vacío (Sous vide) sobre dos productos con carne de aveSTRUZ en trozos*. Tesis de licenciatura. Área de investigación de productos cárnicos de la coordinación de tecnología de alimentos de origen animal. Hermosillo, Sonora, México.
- Hanlon, J. F. 1984. *Handbook of Package Engineering*. McGraw-Hill. New York.
- Holdsworth, S. D. 1992. Packaging operations. En S. D. Holdsworth. *Aseptic Processing and Packaging of food Products*. Gran Bretaña: Elsevier Applied Science. pp. 253-306.
- Hook, P., y Heimlich, J. s/a. *A history of packaging*. Ohio State University fact sheet. Columbus, Ohio.
- ILSI (International Life Science Insitute). 2000. *Packaging materials: Polyethylene terephthalate (PET) for food packaging applications*.
- Brussels, Belgium.Kljusurić, J. G. 2003. *Changes in polymer foils used in food packaging tested by using differential scanning calorimetry*. *S- adhan-a*. 28 (6) pp. 991-998.
- Lopez, A. 1987a. A brief history of canning Technology. En A. A. Lopez. *A complete course in canning and related processes*. Baltimore, Maryland, E.U.: The canning trade company. pp.5-9.
- Lopez, A. 1987b. Containers for Canned foods. En A. A. Lopez. *A complete course in canning and related processes*. Baltimore, Maryland, E.U.: The canning trade company. pp.5-9.
- Malin, J. D. 1980. Capítulo 1. Metal containers and clousures. En S. J. Palling. *Developments in Food Packaging 1*. AppliedScience Publishers Ltd., Inglaterra.
- Morgan, E. 1985. *Tinplate and modern canmaking technology*. Pergamon Press, Oxford, Inglaterra.
- Robertson, G.L. 1992. *Food packaging*. Editorial Dekker. Nueva York, Nueva York, E.U. pp. 144-146
- S/a. 2003. *Packages: Tracing an evolution. Packaging Digest*. En http://www.packagingdigest.com/articles/2003_12/35.php. Accesado 13/10/2007.
- Visy Food. 2007. Visy food can. En www.visy.com.au/uploads/3piececan.gif. Accesado 12/10/2007.



Desarrollo y estado actual de los equipos utilizados en el procesamiento térmico de los alimentos

M. M. Vázquez – Aguilar, T. G. Cerón – Carrillo, A. I. Gómez – Sánchez
y V. Rodríguez – Martínez

Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Universidad de las Américas – Puebla. San Andrés Cholula, Pue., México.

Resumen

Se llevó a cabo una revisión acerca del desarrollo y estado actual de los diferentes equipos utilizados en el tratamiento térmico de alimentos: sus antecedentes, principios de operación, ventajas y desventajas. El estudio se desarrolla a partir de dos grandes familias de esterilizadores: esterilizadores discontinuos y esterilizadores continuos. En cuanto a los esterilizadores discontinuos, se revisan: autoclaves de vapor, autoclaves con mezcla de vapor-aire, retorta con esperado de agua, retorta de inmersión completa en agua y retorta crateless. Respecto a los esterilizadores continuos, éstos se dividen en dos tipos: esterilizadores a presión (utilizando vapor de agua o agua caliente), y esterilizadores a presión atmosférica (empleando aire caliente o contacto directo con llama). En cuanto a los esterilizadores continuos a presión, se estudian: calentador-enfriador a presión, los rotatorios, el hidrostático y el Hydrolock. Respecto a los esterilizadores continuos a presión atmosférica, se revisan: esterilizador Ekelund, el Steriflame y el rotatorio a presión atmosférica.

Palabras clave: procesamiento térmico, retortas, esterilizadores.

Abstract

A review about the development and actual condition of different equipments used for food sterilization was realized, including their antecedents, fundamentals of operation, advantages and disadvantages. This study is developed considering two main retort groups: discontinuous and continuous. The discontinuous retort group includes the following equipments: steam retorts, steam-air retort, steam water spray retort, full water immersion retort and crateless retort. The continuous retort group is divided in two types: pressure sterilizers (using water vapor or hot water), and atmospheric pressure sterilizers (using hot air or direct flame contact). Among the continuous pressure sterilizers are: cooker-cooler pressure sterilizer, continuous rotary pressure sterilizers, Hydrostatic and Hydrolock sterilizer. With respect to continuous atmospheric-pressure sterilizers studied, these were: Ekelund, Steriflame and the rotary atmospheric pressure sterilizer.

Keywords: thermal process, retorts, sterilizers.

Introducción

En la conservación de alimentos el tratamiento más usado a lo largo de la historia ha sido el uso de calor, esto debido a que el uso de altas temperaturas inhibe el crecimiento de microorganismos evitando así el deterioro del producto y mejorando su calidad (Jelen, 1985).

El tratamiento térmico de productos envasados ha sido una técnica utilizada desde principios de 1800, como un proceso de conservación que genera un producto auto-estable y vida de anaquel amplia (Jelen, 1985); el procedimiento se basa en colocar el alimento dentro de un envase herméticamente sellado y aplicar calor por un determinado tiempo, hasta alcanzar la esterilidad comercial o eliminación de los microorganismos patógenos y sus esporas en el producto (Jelen, 1985; Fellows, 2000; Sharma et al., 2000).

En la actualidad, no sólo se considera la esterilización comercial como el objetivo principal sino también, minimizar el daño de ciertas características sensoriales y nutrimentales del alimento tratado; para lo cual se busca el uso de tratamientos térmicos menos severos y el desarrollo de equipos que preserven la calidad de los alimentos tratados (Jelen, 1985; Fellows, 2000).

En la selección del tratamiento térmico y equipo a utilizar para que cumpla los objetivos mencionados anteriormente es necesario considerar: la acidez del producto, la carga microbiana y sobre todo el microorganismo deteriorativo o patógeno presente; además de la naturaleza del medio de calentamiento; el tamaño, material y conductividad térmica de la lata; así como el tipo de transferencia

(convectiva o conductiva) dentro del alimento (Jelen, 1985; Sharma et al., 2000).

Revisión bibliográfica

Antecedentes

El tratamiento térmico de alimentos empacados surge a principios del siglo XIX, cuando el francés Nicolás Appert desarrolló una técnica de conservación utilizando frascos de vidrio llenados con diferentes alimentos, los cuales eran sellados y posteriormente calentados por un determinado tiempo en un baño de agua hirviendo. Unos años después, en 1810, el inglés Peter Durand realizó la primera patente de la técnica de enlatado tomando como base los conceptos de Appert, pero utilizando como envase una lata de acero cubierta con estaño. En 1860 se realizó una mejora al proceso de enlatado por Isaac Solomon, al agregar cloruro de calcio al baño donde se daba el tratamiento térmico, reduciendo del tiempo de proceso al incrementar la temperatura del medio por arriba de la temperatura de ebullición del agua. (Jelen, 1985; Blumenthal, 1990; Holdsworth, 1992; AMCORE, 2006; Stack, 2006).

El avance tecnológico más importante del siglo XIX fue la invención del cocedor a presión o retorta por A. Shriver en 1874, este equipo permitió el control de la temperatura durante el proceso. En los primeros años del siglo XX, surgieron nuevas patentes de procesos que terminaron en el desarrollo en 1921 del empacado aséptico; una tecnología donde el alimento y su envase son esterilizados por separado, para después en un medio aséptico llevar a cabo el llenado y cerrado

de los envases. Desde entonces y hasta la actualidad, los productos esterilizados han tenido un gran auge, teniendo un amplio desarrollo tanto en equipos como en envases (Holdsworth, 1992; e-CANNED, 2001; Rizvi, 2002).

A partir de la segunda mitad del siglo XX, diversas compañías generaron modificaciones al modelo clásico de la retorta, generando equipos que aseguraban un proceso adecuado para el alimento, al mantener la temperatura asignada de manera uniforme (Ramswamy y Marcotte, 2006).

Métodos de esterilización de alimentos preenvasados

Esterilizadores discontinuos siguen siendo muy utilizados, a pesar de la gran cantidad de mano de obra, energía y agua que requieren en comparación con los esterilizadores de sistemas continuos. Sin embargo pueden albergar envases de tamaños diferentes y emplearse en distintos tipos de proceso. Por su orientación se clasifican en verticales u horizontales, las autoclaves de tipo vertical (carga y descarga por la parte superior) (Fig. 1) requieren menos espacio que las autoclaves horizontales, aunque éstas últimas son más fáciles de cargar y descargar ya que la colocación de la tapa es lateral (Fig. 2). (Brennan et al., 2000).

El uso de este tipo de esterilizadores está recomendado para fabricación de grandes cantidades de alimentos diferentes y cuyo envase es de tamaño variable, ya que aportan la flexibilidad suficiente para responder de forma eficiente a las variaciones de tiempo y temperatura (Brennan et al., 2000).

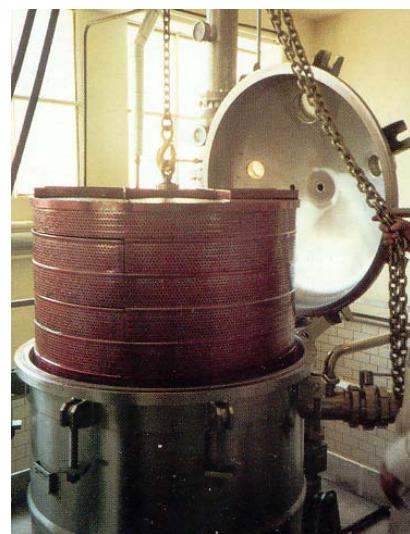


Fig. 1. Autoclave vertical discontinua (Bosques – Molina, 2007).



Fig. 2. Autoclave horizontal discontinua (Bosques – Molina, 2007).

Las autoclaves discontinuas, se clasifican dependiendo del sistema de calentamiento, en:

- a) Autoclave de vapor

Algunos equipos discontinuos o intermitentes están hechos de acero inoxidable y emplea como medio de calentamiento vapor de agua, que genera condiciones de sobre-presión al sistema de esterilización con lo que la temperatura aumenta y el tiempo de tratamiento disminuye. Esta versión

simple consta de un controlador para la temperatura de vapor y la presión en el interior; este equipo presenta una excelente distribución de temperatura lo que lo hace apropiada para procesos con latas de aluminio, frascos de vidrio, contenedores de plástico y envases flexibles (Ramsamy y Marcotte, 2006). Un diagrama del equipo y su instrumentación se presenta en la figura 3.

1) circulación forzada de vapor-aire para asegurar la uniformidad en la distribución de calor en toda la retorta, 2) un proceso de ventado, resultando en un importante ahorro de energía, 3) un control preciso de la mezcla de vapor-aire en el proceso, que resulta en un menor tiempo, aumento en la productividad y una calidad consistente, 4) un control adecuado de

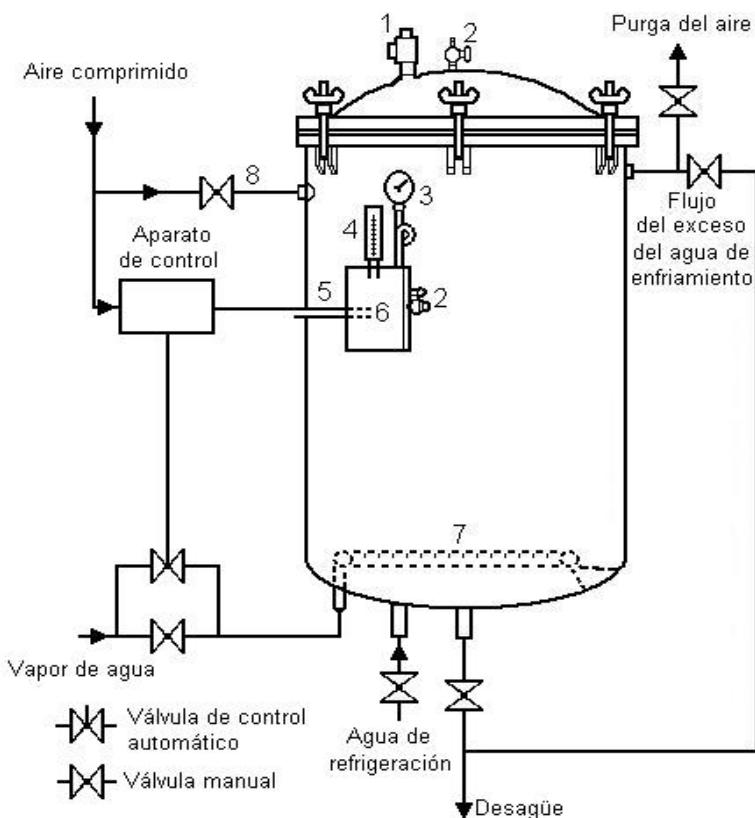


Fig. 3. Autoclave discontinua vertical de vapor. 1. Válvula de seguridad, 2. Válvula de escape para sangrar el vapor de agua durante el procesado, 3. Manómetro, 4. Termómetro, 5. Elemento sensor del aparato de control, 6. Caja con los indicadores de temperatura, 7. Distribuidor del vapor de agua, 8. Entrada de aire a presión para el enfriamiento (Brennan, 2006).

b) Autoclave con mezcla de vapor-aire

El autoclave que opera con una mezcla de vapor de agua y aire como el que se muestra en la figura 4, tiene las siguientes características:

temperatura de agua de enfriamiento manteniendo tasas de recuperación de temperatura y presión compatibles con el proceso, que minimiza la energía empleada y evitan la disminución de presión, y 5) reducción del tiempo de

proceso y las características óptimas de transferencia de calor, que permite al alimento mantener más de sus características naturales (Jackson y Shinn, 1979; Ramswamy y Marcotte, 2006).

circula a través del intercambiador de calor donde es calentada por vapor. La válvula de vapor es automáticamente monitoreada, dependiendo de los parámetros de temperatura programados. El agua condensada es automáticamente drenada y

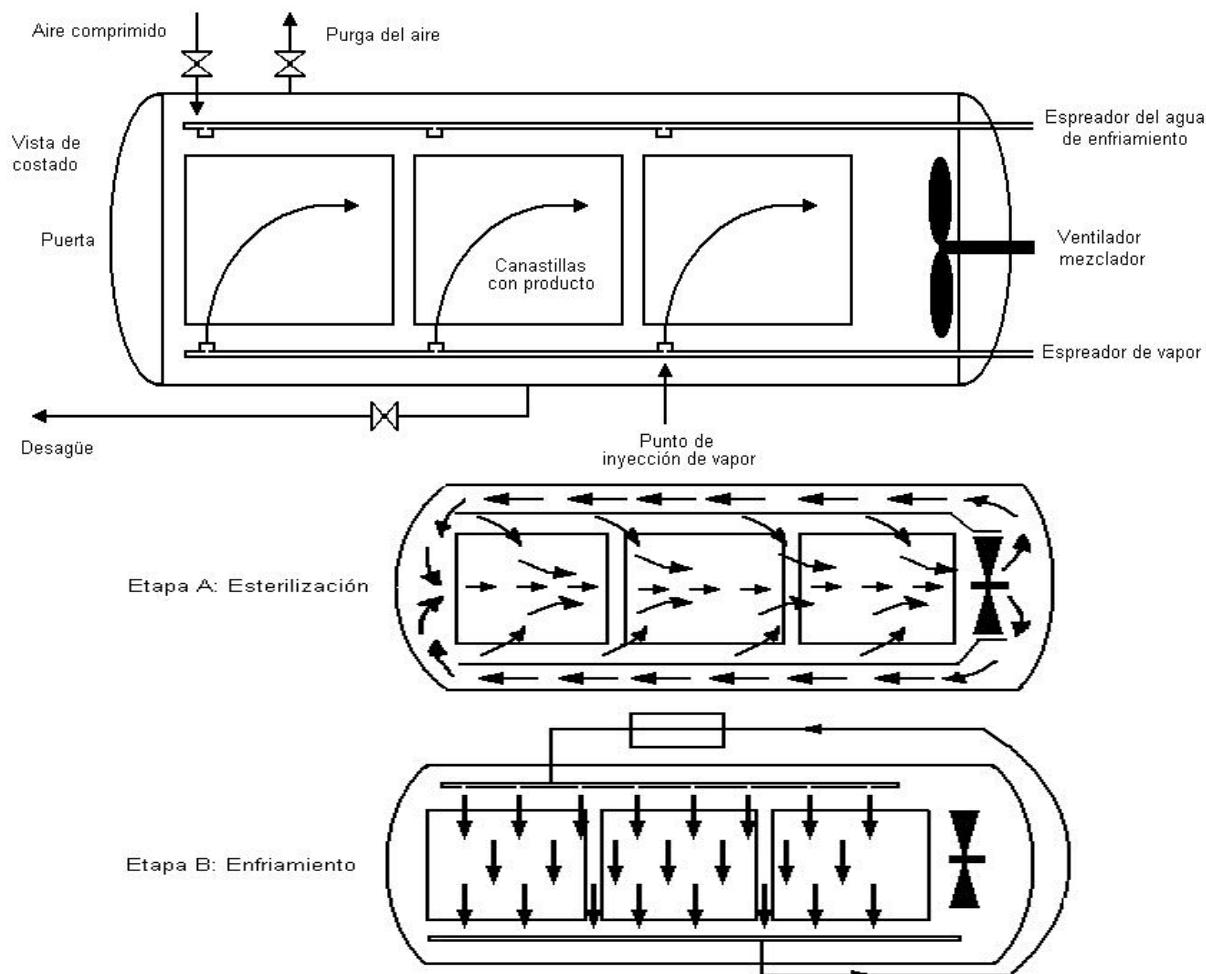


Fig. 4. Autoclave con mezcla de vapor – aire (Holdsworth, 1992; Richardson y Selman, 1991).

c) Retorta con esperado de agua

En la retorta de agua en espreada, como lo muestra en la figura 5, una pequeña cantidad de agua es almacenada en la parte superior de la retorta y circulada por una bomba con un flujo alto y espreada en los contenedores. Esta cantidad de agua

regresada al calentador. La presión es controlada por inyección o venteo de aire comprimido. La cantidad de agua que entra en el sistema y que viene del intercambiador es automáticamente monitoreada, dependiendo de los parámetros programados. El intercambiador permite el uso de varias calidades de agua, si problemas

de mezclarlas con el agua de proceso que esta en contacto con los contenedores (Ramswamy y Marcotte, 2006).



Fig. 5. Autoclave con esperado de agua (FMC Food Tech, 2007)

d) Retorta de inmersión completa en agua

En retorta de inmersión en agua, cierta cantidad de agua precalentada a una temperatura establecida y almacenada es almacenada en el tanque que esta situado encima de la retorta. Después de la colocación del producto, el agua caliente almacenada se transfiere al interior de la retorta. Una parte del agua en el interior de la retorta se recircula con una bomba para ser calentada con vapor y de esta manera mantener la temperatura constante en el interior durante el tiempo de tratamiento. Para el enfriamiento, el agua que se encuentra en la retorta pasa a través de un intercambiador de calor donde es gradualmente enfriada (Lagarde, 2007). Un esquema de este tipo de retorta se muestra en la figura 6.

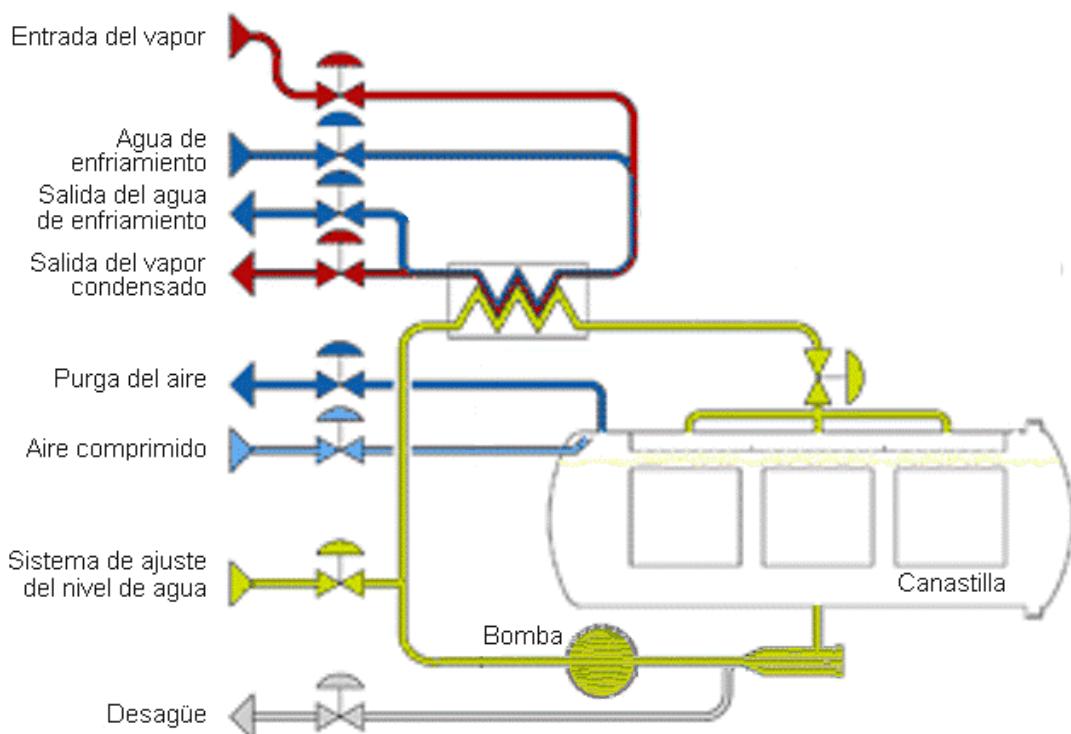


Fig. 6. Autoclave de inmersión completa en agua (Lagarde, 2007).

e) Retorta Crateless

La retorta Crateless, como se muestra en la figura 7, es un sistema semicontinuo que permite seleccionar el tamaño y configuración en función de la velocidad de la línea, el tamaño de lata, los requerimientos de cocción, y disponibilidad de espacio. Esta retorta esta diseñada para utilizar temperaturas hasta de 132°C (270°F). Las aplicaciones más comunes son vegetales de baja acidez, tomates, comida para animales, pescado, y productos cárnicos. En la primera etapa del proceso la retorta el llenada con agua para amortiguar, cierta cantidad de ésta es desplazada por las latas al momento del cargado de la autoclave. Las latas son llevadas al interior de la autoclave por medio de una banda transportadora y cuando la autoclave está llena, se replaza el agua por vapor e inicia el tratamiento térmico. Una vez terminado el tratamiento, la retorta es nuevamente llenada con agua a presión para llevar a cabo el enfriamiento y finalmente las latas son descargadas al final al sistema de canal para el enfriamiento

final, donde la temperatura es constantemente monitoreada (Mälo Inc., 2007; Ramswamy y Marcotte, 2006).

Esterilizadores continuos. Este tipo de esterilizadores puede realizar el tratamiento térmico utilizando vapor de agua o agua caliente a presiones mayores a la atmosférica), o bien a presión atmosférica utilizando aire caliente o flama directa. Los esterilizadores continuos a presión funcionan para varios tipos de latas sin requerir cambios mayores, por otro lado los esterilizadores a presión atmosférica se pueden utilizar para latas pequeñas capaces de soportar las altas presiones desarrolladas en su interior (Ryan et al., 1976; Brennan et al., 2000).

Esterilizadores a presión continuos

- i. *Calentador-enfriador, a presión, continuo* es un esterilizador que no permite la agitación del contenido de los envases. Arrastrados por transportadoras de rodillos o cadenas, los envases atraviesan las secciones de

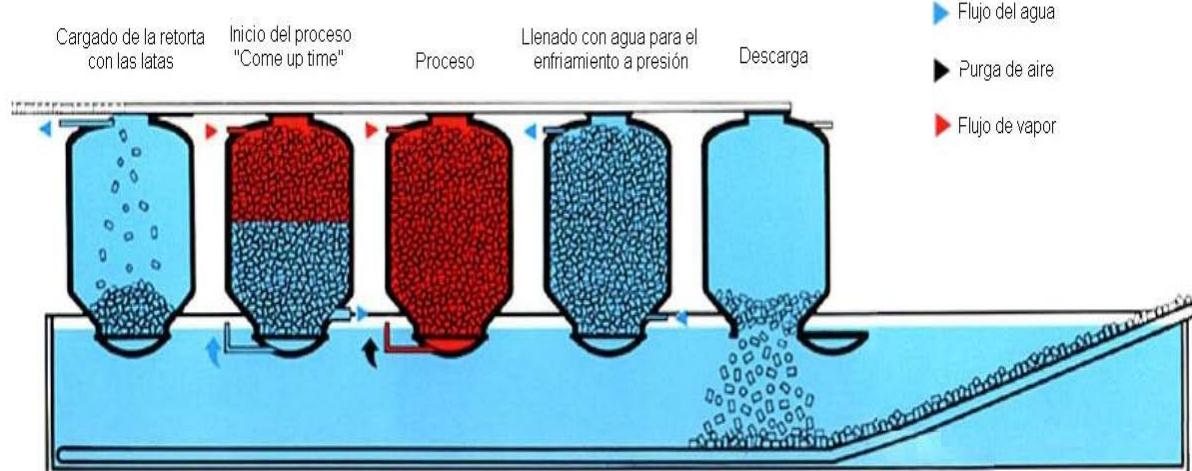


Fig. 7. Retorta Crateless (Mälo Inc., 2007).

precalentamiento, esterilización y enfriamiento. Cada una de estas secciones se encuentra a diferentes presiones (Brennan et al., 2000).

ii. *Esterilizadores rotatorios*, en este tipo de equipo como se puede apreciar en la figura 8, los envases pasan de manera continua desde la cerradora a una bobina de tipo revolver que gira lentamente desplazando los envases a través de un espiral estático interno. Utilizando un sistema de esclusas de presión para la entrada, la salida y el paso entre una sección y otra. El contenido de los envases se ve agitado por el giro y el desplazamiento, a medida que los envases recorren el espiral; lo anterior permite que la penetración de calor en producto sea mayor, reduciendo el tiempo de tratamiento. Una vez terminado el tratamiento térmico, los envases son transportados de la misma manera a una unidad de enfriamiento que utiliza el mismo sistema, haciendo el proceso de enfriamiento más lento. Los esterilizadores rotatorios son adaptables a varios tipos de productos

y tamaños de envase, además de tener una buena capacidad y un procesado uniforme, si se tiene control de la viscosidad del producto y el espacio de cabeza. Sin embargo, cualquier avería es grave debido a la cantidad de envases que se procesa y por otro lado si no se tiene el control adecuado pueden generarse deformaciones en el producto por cambios de presión y choques térmicos (Brennan et al., 2000; Ramswamy y Marcotte, 2006; FMC Food Tech, 2007a).

iii. *Esterilizador hidrostático*, este tipo de equipo ha incrementado su uso desde 1936, año en que se utilizó por primera vez en Europa. El proceso se efectúa desplazando los envases a través de una torre de vapor cuya presión dentro del equipo es soportada por la presión de agua. El sistema de transportación de los envases está constituido por cadenas de rodillos gemelos con soportes transversales, los recipientes son arrastrados en posición horizontal para facilitar la transferencia de calor en el interior. Entre sus ventajas se encuentran: 1) minimizan el choque

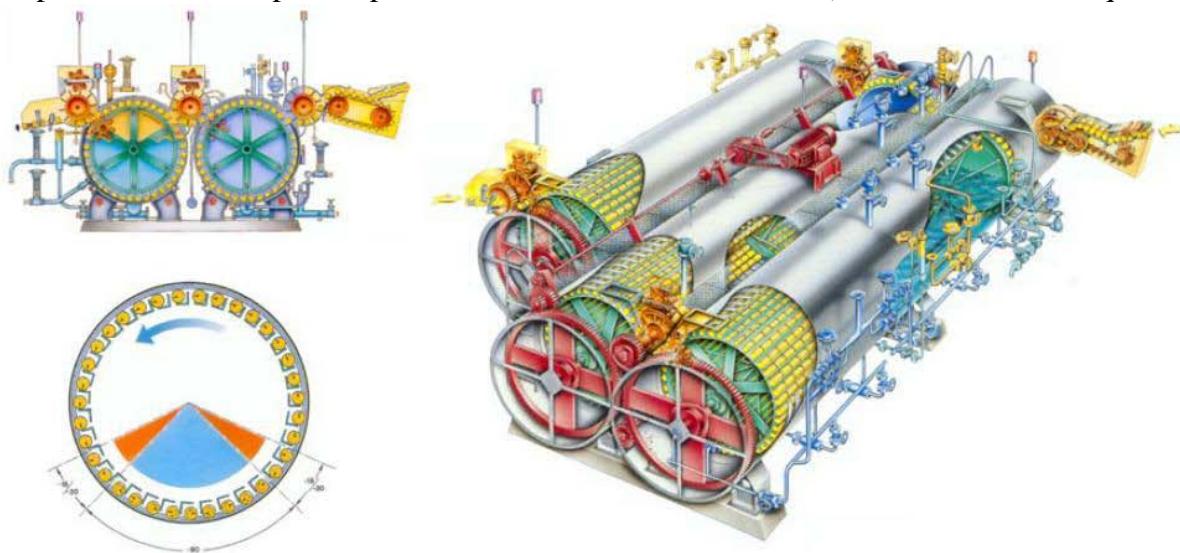


Fig. 8. Esterilizador continuo rotatorio (FMC Food Tech, 2007a).

térmico y por presión del alimento o el envase, 2) permiten un alto grado de automatización, 4) tiene una buena eficiencia en el uso del vapor y el agua, 5) proporcionan control del proceso y un tratamiento térmico uniforme de los envases, 6) las características de los envases que se pueden esterilizar incluyen diferentes tamaños y materiales (plástico, vidrio o metal), 7) requieren superficies no muy grandes sin embargo puede alcanzar 20m o más de altura tal como se muestra en la figura 9, 8) Pueden tener diversas capacidades de entre 60 y 1000 latas por minuto. Algunas marcas como la FMC FoodTech permiten utilizar diseños de cadenas simples, dobles o triples, así como carga y descarga cuidadosa de los envases (Brennan et al., 2000; Ramswamy y Marcotte, 2006; FMC Food Tech, 2007b).

horizontal capaz de soportar altas presiones, a lo largo del cual son arrastrados los recipientes que se encuentran en contenedores movidos por cadenas, como se muestra en la figura 10. Este sistema permite el tratamiento continuo de latas a través de una mezcla vapor aire, de manera similar al esterilizador hidrostático, con la diferencia de que las latas son introducidas y extraídas del ambiente presurizado a través de una válvula rotatoria que lo deposita en un baño de agua y pasan después a la cámara presurizada con vapor. Después de el tiempo de tratamiento térmico, los envases se preenfrían y salen a través de la válvula rotatoria para el enfriamiento atmosférico antes de la descarga. Esta máquina permite economizar vapor, espacio, mano de obra y agua sin embargo la válvula rotatoria puede generar daño en la lata

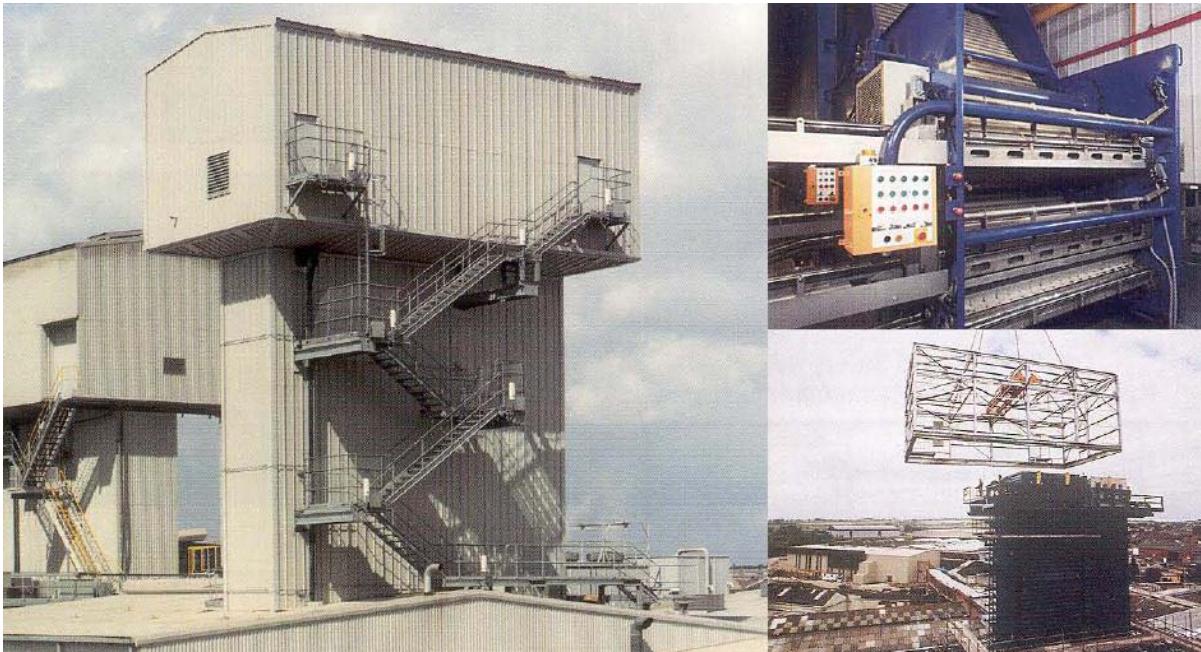


Fig. 9. Esterilizador hidrostático (FMC Food Tech, 2007b).

- iv. *Esterilizador Hydrolock* Introducido a mediados de la década de los sesenta, consta de un recipiente cilíndrico

por la presión ejercida durante la carga y descarga (Brennan et al., 2000).

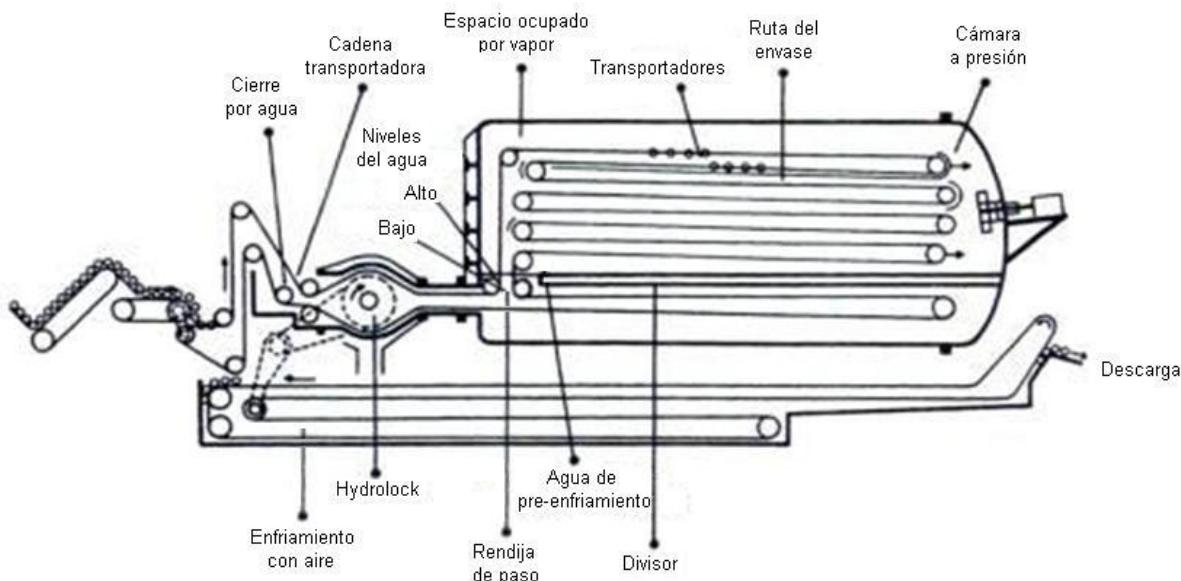


Fig. 10. Esterilizador Hydrolock (Karel y Lund, 2003).

Tanto el esterilizador hidrostático como el Hydrolock los envases que contienen a los alimentos son procesados horizontalmente para asegurar que la agitación del contenido permita un calentamiento uniforme (Fellows, 2000).

Esterilizadores continuos a presión atmosférica

- i. Esterilizador Ekelund de aire caliente ha sido utilizado para esterilizar leche en envases metálicos, en países como Suecia. El proceso involucra precalentamiento de la leche y posteriormente se envasa en latas estériles que después de cerrarlas se transportan a la parte más alta de una cámara, calentada a 145°C por convección forzada con aire, de donde a través de rieles bajan rodando. El tratamiento térmico se da en un tiempo de 15 minutos, después de los cuales los envases son enfriados con agua (Brennan et al., 2000).
- ii. Esterilización a la flama (Steriflame), es un proceso de calentamiento rápido en el cual los envases metálicos son

precalentados en una cámara con vapor de agua y pasan a la cámara de esterilización (tal como se muestra en la figura 11) a través de un movimiento rotatorio (120 rpm) entrando en contacto directo con una flama producida por la combustión de un gas a una temperatura de entre 1300 y 1770 °C. Los envases se calientan hasta de 97°C a 125°C en aproximadamente 45 segundos y después pasan a una cámara de retención la cual está calentada con vapor y posteriormente son enfriados con agua. El corto tiempo de procesado genera alimentos de alta calidad y reduce el consumo de energía en un 20%, en comparación con el enlatado comercial. Sin embargo este tipo de esterilización es sólo recomendada para alimentos líquidos y determinados productos en salmuera, jarabe o jugo envasados en latas pequeñas, ya que la presión generada dentro del producto (275×10^3 Pa a 130°C) puede generar la explosión del envase; además a diferencia de los sistemas calentados

por vapor o aire, el proceso no tiene un control tan exacto (Brennan et al., 2000; Fellows, 2000; Pflug y Gould, 2000).



Fig. 11. Esterilizador a la flama vista externa e interna (Jorgensen Engineering, 2007).

- iii. Esterilizador rotatorio a presión atmosférica, como se puede ver en la figura 12, es un sistema que de manera automática y continua puede esterilizar productos alimenticios envasados en contenedores cilíndricos. Consiste en una coraza de calentamiento y otra de enfriamiento, independientemente controladas, donde los envases son ingresados a través de un riel de tipo revolver que los transporta por el interior iniciando la agitación del producto lo que incrementa el intercambio de calor, alcanzando hasta

temperaturas de hasta 100°C. Una vez realizado el calentamiento, los envases son transportados a una segunda coraza donde el enfriamiento se da de manera similar (Ramswamy y Marcotte, 2006; FMC Food Tech, 2007c).



Fig. 12. Esterilizador rotatorio a presión atmosférica (FMC Food Tech, 2007c).

Conclusiones

Realizando una comparación entre los esterilizadores discontinuos y los esterilizadores continuos, se puede decir que: los esterilizadores discontinuos han sido hasta la fecha los más utilizados en la industria procesadora de alimentos por calor, a pesar de consumir mayor cantidad de mano de obra, energía y agua. Asimismo, en los esterilizadores discontinuos y continuos a presión se pueden procesar envases de tamaños diferentes y emplearse en distintos tipos de procesos, a diferencia de los

esterilizadores continuos a presión atmosférica en los cuales se usan latas pequeñas generalmente.

Los esterilizadores continuos tienen una capacidad de proceso mayor que los esterilizadores discontinuos y una mayor posibilidad de proporcionar un procesado uniforme en el producto, beneficiando a la calidad del mismo. Sin embargo, las deformaciones debidas a la presión y el choque térmico pueden ser más frecuentes, y las consecuencias en caso de ésta o de una avería son muy graves, debido a la gran cantidad de envases procesados.

En cuanto a costos, los esterilizadores continuos son de significativamente mayor costo que los esterilizadores discontinuos. A pesar de ello, su uso se está incrementando cada vez más, debido a las necesidades actuales de los consumidores hacia los productos procesados térmicamente, las cuales exigen un producto seguro, con características sensoriales y nutrimentales satisfactorias.

Referencias

- AMCOR. 2006. *The history of Canning..*http://www.can-news.com.au/files/library/pdfs/History_can.pdf, accesada 16/10/2007.
- Blumenthal, D. 1990. *The Canning Process: Old Presercation Technique Goes Modern.* FDA Consumer Magazine, No. 7 <http://www.fda.gov/bbs/topics/CONSUMER/CN00042a.html>, accesada 15/10/2007.
- Bosques – Molina, E. 2007. *Autoclave, apuntes de tecnología de frutas y hortalizas I.* Universidad Autonoma Metropolitana. Inédito. <http://docencia.itz.uam.mx/elbm/233210/index.htm>, accesada 15/10/2007.
- Brennan, J. G. (Ed.). 2006. *Food processing handbook.* Wiley-VCH. Alemania. pp. 53 – 63.
- Brennan, J. G., Butters, J. R., Cowell, N.D., Lilley, A. E. V. 1998. *Las operaciones de la ingeniería de los alimentos.* 3^a edición. Editorial Acribia. España. pp.319 – 332.
- e-CANNED. 2001. *Current State Assessment Report, Deliverable 2.1.* <http://www.anfaco.es/ecanned/docs/D2.1.pdf> pp. 4 – 6, accesada 16/10/2007.
- Felows, P. J. 2000. *Food processing technology. Principles and practice.* Woodhead Publishing Limited. 2a edición. Inglaterra. pp. 250 – 253.
- FMC Food Tech. 2007. *Steam Water Spray Automated Batch Retort.* http://www.fmctechnologies.com/upload/sws_spanish.pdf, accesada 02/11/2007.
- FMC Food Tech. 2007a. *Continous Rotary Pressure Sterilizer.* http://www.fmctechnologies.com/upload/rotar_yrps.pdf, accesada 03/11/07.
- FMC Food Tech. 2007b. *Hydrostatic Sterilizer.* http://www.fmctechnologies.com/upload/hydrostatic_001.pdf, accesada 03/11/07.
- FMC Food Tech. 2007c. *Continuous Rotary Atmospheric Sterilizer.* [http://www.fmctechnologies.com/upload/rotaryatmospheric\(pdf.411kb\).pdf](http://www.fmctechnologies.com/upload/rotaryatmospheric(pdf.411kb).pdf), accesada 03/11/07.
- Holdsworth, S. D. 1992. *Aseptic processing and packaging of food products.* Elsevier Science Publising Co. Gran Bretaña. pp. 10 – 15.
- Jackson, J. M. y Shinn, B. M. 1979. *Fundamentals of food canning technology.* Editorial AVI publishing Company. Connecticut, E.E.U.U. pp. 174 – 178.
- Jelen, P. 1985. *Introduction to Food Processing.* Reston Prentice Hall, Inc. Nueva Jersy, E.E.U.U. pp. 236 – 241.
- Jorgensen Engineering. 2007. *Filling lines for sweetened condensed milk.* http://www.jorgensen.dk/solutions.php?id=sc_m, accesada 03/11/2007.
- Karel, M. y Lund, D. B. 2003. *Physical Principels of Food Preservation.* 2a Edición. CRC Press-Nueva York, E.E. U.U. p. 230.
- Lagarde. 2007. *Full Water Immersion/ Technology.* <http://www.lagarde-autoclaves.com/php-gb/fo/page.php?page=techno1.htm>, accesada 02/11/2007.
- Mālo Inc. 2007. *Mālo Crateless Retort.* <http://maloinc.com/crateless-retort.htm>, accesada 02/11/2007.
- Pflug, I. J. y Gould, G. W. 2000. *Heat treatmen.* En B. M. Lund, A. C. Baird – Parker y G. W. Gould. *The microbiological safety and quality of food.* Vol. I Aspen Publisher. Maryland, E.E. U.U. p 55.

- Ramswamy, H. y Marcotte, M. 2006. *Food Processing. Principles and Applications.* Taylor & Francis. Nueva York. pp. 126 – 127.
- Richardson, P. S. y Selman, J. D. 1991. Heat processing equipment. En J. A. G. Rees y J. Bettison. *Processing and packaging of heat preserved foods.* AVI publishing. Nueva York. p. 53.
- Rizvi, S. 2002. *Food Processing and Preservation Technologies.* Cornell University. <http://ip.cals.cornell.edu/courses/intag402/readings/processingtech.pdf>, accesada 15/10/2007.
- Ryan J. P., Barrera E. A., Laymon R. T. y Ziemba J. V. 1976. 3-in-1 hydrostatic cooker replaces 33 retorts. *Food Process.* 37(2): 54 – 56.
- Sharma, S. K., Mulvaney, S. J. y Rizvi, S. S. H. 2000. *Food Process Engineering. Theory and laboratory experiments.* Wiley-Interscience. A John Wilwy & Sons, Inc., Publication. Canada. pp.96 – 97.



Atmósferas controladas: principios, desarrollo y aplicaciones de esta la tecnología en alimentos

T. G. Cerón – Carrillo, V. Rodríguez – Martínez

Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Universidad de las Américas – Puebla. San Andrés Cholula, Pue., México.

Resumen

Para lograr preservar alimentos frescos por un mayor tiempo, se ideó el concepto de atmósferas controlada. Definiéndose éste como la preservación de dichos productos mediante la modificación de la concentración de tres principales gases como son O₂, CO₂ y N₂, con el fin de disminuir la velocidad de respiración. Para la generación y control de estas condiciones de almacenamiento, se utilizan sistemas tanto de remoción y/o generación de O₂, como de CO₂ y en algunas ocasiones sistemas de remoción de etileno. El objetivo principal de este trabajo es dar a conocer el desarrollo de esta tecnología, sus principios y aplicaciones; concluyendo que éste es un buen sistema de preservación de productos frescos, siempre y cuando se tome en cuenta las características del producto.

Palabras clave: Atmósferas controladas, velocidad de respiración

Abstract

In order to preserve fresh food for a longer time, the concept of modified atmosphere was ideated. This concept is defined as the preservation of fresh produce by the modification of the level of the three principal gases like O₂, CO₂ and N₂, to finally reduce its respiration rate. To achieve the generation and control of this storage conditions, it is used O₂ and CO₂ removal and/ or generator systems and some times ethylene removal systems too. The aim of this paper is to present the development of this technology, as well as its fundamentals and applications. Concluding that it's a great preservation system of fresh produce, as long as the product characteristics have being considered.

Keywords: Controlled atmosphere, rate of breathing

Introducción

La industria de alimentos frescos y procesados ha buscado continuamente alternativas para incrementar la vida de aquello de productos frescos, ya que durante el almacenamiento la calidad

disminuía y como consecuencia había pérdida de humedad y daños fisiológicos. Proponiendo controlar el ambiente de la cámara de almacenamiento, siendo las técnicas más usadas la reducción de la

temperatura, el incremento de humedad y el cambio en la composición del aire las más usadas (Raghavan et al., 2003).

La preservación de alimentos por medio de la remoción de oxígeno o modificando las concentraciones de los tres principales gases del aire (nitrógeno N₂, oxígeno O₂ y dióxido de carbono CO₂), es comúnmente conocido como almacenamiento en atmósfera controlada (AC). La base fundamental de esta técnica es la reducción de la velocidad de respiración, sin embargo, al remover oxígeno se están generando condiciones no favorables para la reproducción de la mayoría de los microorganismos deteriorativos, lo cual prolonga la vida de anaquel siempre y cuando se consideren las barreras de aquellos microorganismos anaeróbicos patógenos. Otra de las bases es que al cambiar la composición de los gases en el aire se puede retardar reacciones oxidativas no producidas por microorganismos (Kyzlink, 1990).

Además de las condiciones de almacenamiento adecuados, algunos factores responsables de extender la vida de anaquel son: manejo cuidadoso del alimento para evitar daño mecánico, llevar a cabo la cosecha en el tiempo de madurez óptimo y tener buenas prácticas higiénicas (Kyzlink, 1990; Moleyar y Narasimham, 1994; Lee et al., 1996).

La atmósfera controlada es el proceso tecnológico más avanzado usado para controlar de manera precisa la composición atmosférica en el almacenamiento de productos frescos ya sea en cámaras de almacenamiento o en contenedores para su transporte, pues incrementa la vida post-cosecha de alimentos frescos dos o tres veces más

que otros métodos de conservación (APL, 2007).

Por lo mencionado anteriormente, el objetivo principal de este trabajo, es dar a conocer el desarrollo de esta tecnología a lo largo del tiempo, los principio en los cuales se basa este proceso y por último las aplicaciones que se le han dado desde sus inicios.

Revisión bibliográfica

Inicios de esta tecnología

La conservación de alimentos ha sido un tema de gran interés para el hombre y desde las antiguas civilizaciones se ha buscado prolongar la vida útil de los alimentos, desde siglo II antes de cristo, los egipcios y samarios guardaban porciones de sus cosechas en criptas hechas de piedra para prolongar su vida de anaquel. Pero no es sino hasta 1819, cuando Jacques – Étienne Bernard, identificó los beneficios que el control del ambiente podía generar en los productos frescos, sin embargo su uso comercial tardaría un siglo en concretarse (Sing y Mannapperuma, 2000).

Franklin Kidd y Cyril West a principios del siglo XX, junto con sus colaboradores desarrollaron un método para prolongar la vida útil de manzanas y otras frutas en la Estación de Investigación de Bajas Temperaturas de Cambridge, cuando se almacenaban en un ambiente impermeable a temperaturas entre 39 y 40 °C, el dióxido de carbono reducía la velocidad de senescencia (Filder y Mann, 1966)

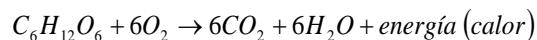
A principios de 1960 este tipo de sistemas, aumentó la posibilidad de que la industria de alimentos prolongara la vida de anaquel de alimentos frescos. Mejores procesos de sanitización y control de

distribución complementaron esto ya que demostraron que tenían tanta importancia como las tecnologías de empacado (Brody, 1989)

La ciencia que respalda el empaque con atmósferas controladas (AC) fue desarrollada a finales a mediados del siglo XX para almacenes y operaciones de distribución, y su uso se incrementó en las décadas de los sesenta y setenta debido a que fue aplicada para la venta al por menor. A partir de 1980, esta tecnología se ha ido desarrollando y adaptando hasta generar un empacado a menor escala para el consumidor (Brody, 1989).

Principios de la Atmósferas controladas

Es necesario considerar que después de la cosecha, la actividad metabólica de los vegetales continúa lo cual genera el deterioro de los tejidos y la pérdida de nutrientes. Por ello es necesario controlar la respiración de frutas y verduras, cuya reacción (Ec. 1) en el interior de las cámaras de almacenamiento resulta en la producción de dióxido de carbono, agua y calor (Jelen, 1985).



Ec. 1

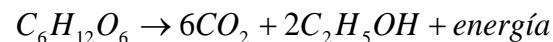
Lo que se requiere en estos casos es modificar y mantener las concentraciones de gases como O₂, CO₂ y N₂ en ciertos niveles dentro de las cámaras de almacenamiento, logrando con esto, la reducción de la velocidad de respiración y prolongar la vida del producto fresco. A este proceso se le conoce comúnmente como almacenamiento en AC (Jelen, 1985)

La velocidad de respiración es única para cada producto y depende fuertemente de la temperatura, el coeficiente de respiración (QR) o volumen de CO₂ producido por volumen de O₂ consumido característico del producto y que comúnmente como uno debido a que se busca una respiración aerobia (Wills et al., 1981).

El almacenamiento de alimentos con este sistema usa un simple incremento de niveles de CO₂ hasta un valor determinado que no genere daño en el alimento. Los excesos de CO₂ deben ser removidos y el O₂ debe ser incrementado para lo cual se puede utilizar ventilación ventila con aire a una velocidad controlada (Sharples y Stow, 1986).

Así como las bajas concentraciones de O₂ prolongan la vida de anaquel, mejoran la firmeza y la textura de frutas; se ha observado que se deterioran propiedades en el alimento como el sabor y el aroma, pero se puede mejorar incrementando las concentraciones de O₂ durante las últimas semanas de almacenamiento (Sharples y Stow, 1986).

En caso de no existir la suficiente cantidad de oxígeno se llevaría a cabo una respiración anaeróbica, cuya reacción (Ec. 2) generaría la producción de dióxido de carbono, energía y alcohol (Jelen, 1985).



Ec. 2

Concentraciones de oxígeno menores a la del aire conducen a una maduración más lenta, debido a la reducción de la velocidad de reacción de varios procesos fisiológicos como la producción de etileno y la actividad enzimática relacionada con el ablandamiento celular (Peppelenbos, 1997; Thompson, 1998). La generación de etileno se ve

inhibida significativamente con niveles de O₂ del orden del 3% (Silva *et al.*, 1999).

La producción de etileno es parte del proceso de maduración de frutas y hortalizas, su función es acelerarla. Como ya se comentó en el almacenamiento con atmósferas controladas la disminución de la concentración de O₂ disminuye la producción de etileno, pero para garantizar en mayor medida el retardo de la maduración se utilizan sistemas que pueden remover el etileno del ambiente en la cámara de almacenamiento. (Dover, 1983).

Sistemas de control para atmósferas modificadas

Las cámaras de almacenamiento en atmósferas controladas además de mantener la temperatura en cierto nivel, deben encontrarse cerradas herméticamente y contar con alguna técnica o equipo que permita el control y regulación de la composición del aire al interior de la misma. El sistema de refrigeración debe ser diseñado para que la diferencia de temperatura entre el alimento y la superficie de enfriamiento sea pequeña, para mantener una alta humedad relativa en el ambiente y minimizar los requerimientos de descongelado. Para maximizar el almacenamiento de frutas, la temperatura del almacén recomendada deberá de ser cerca de a la temperatura mínima a la que el alimento puede ser expuesto sin que le ocurra daño (Bartsch y Blanpied, 1984)

Conjuntamente con los sistemas mencionados anteriormente se utilizan sistemas de remoción de O₂, de CO₂ y de etileno para mantener las condiciones

adecuadas. Entre los sistemas utilizados se encuentran los siguientes:

➤ Sistemas de Remoción de Oxígeno

Como ya se mencionó anteriormente se requieren bajas concentraciones de O₂ dentro de la cámara de almacenamiento, pero además debe llegarse al nivel adecuado rápidamente para incrementar el beneficio de este tipo de almacenamiento. Se recomienda que la temperatura del producto y la composición de la atmósfera deseada se alcancen un periodo máximo de 7 a 10 días después de colocar el alimento en almacenamiento, antes de que se inicie la maduración, es decir cuando el etileno en la fruta sea menor a 1 ppm (Bishop, 1990). Entre los mecanismos de remoción de oxígeno se encuentran los siguientes:

Respiración natural. Muchos de los productos frescos almacenados en este tipo de atmósferas controladas tienen una alta velocidad de respiración lo cual reduce las concentraciones de O₂ naturalmente hasta el nivel recomendado en un periodo de 7 a 10 días. Sin embargo, cuando la respiración no basta para llegar a la concentración deseada en el tiempo indicado, se requiere remover el oxígeno por medio de un equipo (Bishop, 1990).

Bombeo de nitrógeno. Este tipo de equipo disminuye rápidamente los niveles de O₂, al inyectar N₂ en forma de gas o de líquido dentro de la cámara y desplazando el O₂ en exceso, además de ser un sistema económico. La ecuación 3 puede ser usada para obtener la cantidad de nitrógeno que se requerido (Bartsch y Blanpied, 1984).

$$V = A \log_e (C_0 / C)$$

Ec. 3

Donde V es el volumen de gas inyectado, A es el espacio vacío de almacén, C_0 es la concentración inicial de O_2 y C es la concentración de O_2 que se requiere.

Separadores de Amonio. El amonio reacciona a alta temperatura con el O_2 de la atmósfera generando N_2 y agua. Este tipo de equipo se muestra en la figura 1 (Bishop, 1990).

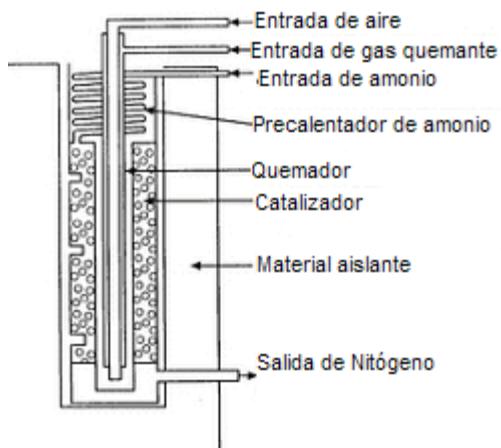
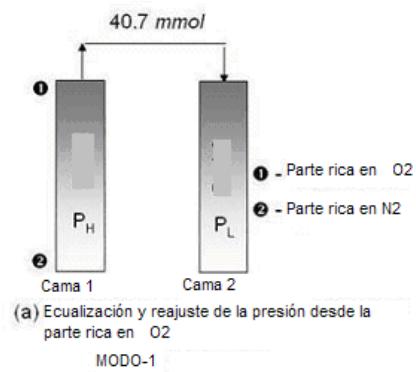


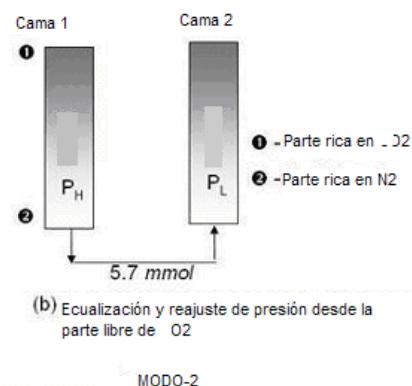
Fig. 1. Sistema de remoción de oxígeno como separador de amonio (Kordesch et al., 2003)

Cambiadores de presión. Incrementan la concentración de nitrógeno en la cámara, separando el oxígeno del aire atmosférico a través de un cernidor molecular de carbono. Este sistema, como se muestra en la figura 2, tiene dos camas de carbono que se usan alternadamente para permitir su limpieza en ciclos de 60 segundos. El equipo requiere que el aire entre a alta presión (Bishop, 1990).



(a) Ecuación y reajuste de la presión desde la parte rica en O_2

MODO-1



(b) Ecuación y reajuste de presión desde la parte libre de O_2

MODO-2

Fig. 2. Sistema de remoción de O_2 por cambio de presión (Sivakumar et al., 2006)

Quemadores de propano. Usa la combustión del propano para convertir el oxígeno a CO_2 y agua. Puede ser de dos tipos: a) quemador de llama abierta que reduce el O_2 en aire atmosférico fresco, b) quemador con un catalizador, el cual permite la combustión hasta obtener un nivel de O_2 de hasta del 3%. Este equipo, cumple una doble función ya que también genera CO_2 , lo único que requiere es un filtro para controlar el exceso que se genera de éste gas (Bishop, 1990; Raghavan et al., 2003).

➤ Sistemas de Remoción de dióxido de carbono

Filtros de cal para CO_2 . Es el más simple de los métodos para controlar la concentración de dióxido de carbono dentro de una cámara de almacenamiento, utiliza de cal hidratada ($CaOH_2$) que es capaz de

absorber el CO₂. Este filtro se coloca a un costado de la cámara de refrigeración como se muestra en la figura 3, comúnmente se diseña para mantener la mitad de la cal requerida durante el tiempo total de almacenamiento y puede funcionar por convección natural o utilizando un ventilador (Smith, 1963; Raghavan et al., 2003).

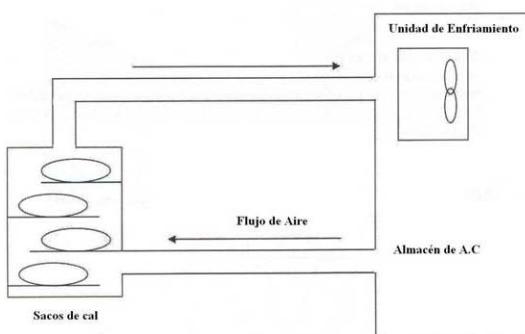


Fig. 3. Filtro de cel para la remoción de CO₂ (Vigneault et al., 1994)

Filtros de agua para CO₂. En este sistema se hace pasar la mezcla de gases del interior del almacén a través de un purificador que contiene agua, la cual recoge el CO₂ presente. Posteriormente el agua con CO₂ es bombeada y pasar por un aereador donde el gas es liberado. Este sistema es muy efectivo en el control del CO₂ pero además permite mantener humedades relativas altas (Smith, 1963; Raghavan et al., 2003).

Generadores atmosféricos a base de nitrógeno líquido. Se utilizan para reducir el CO₂ del almacén, el equipo utilizado es el mismo que para la remoción de O₂. Sin embargo, éste último requiere una bombeo mayor en comparación con el utilizado en la remoción de CO₂ (Raghavan et al., 2003; Hardenburg et al., 1986).

Separadores de gas. Se utilizan para crear corrientes de gas enriquecidas con

nitrógeno que favorezcan la generación de la atmósfera controlada en un menor tiempo, y una vez alcanzado la concentración deseada de O₂ se usa para controlar los niveles de CO₂ (Raghavan et al., 2003).

➤ Sistemas de remoción de etileno

Absorción con cristales de permanganato de potasio. Permite una buena absorción del etileno pero su uso en almacenes a largo plazo es poco factible debido a que encarece el proceso sin embargo, pueden utilizados exitosamente en el transporte de productos frescos (Lister et al., 1985).

Intercambio térmico. Desarrollado en Polonia, en sistema este se hacen pasar los gases a través de intercambiador de calor poroso en direcciones alternadas, cómo se muestra en la figura 4 (Wojciechowski y Haber, 1982).

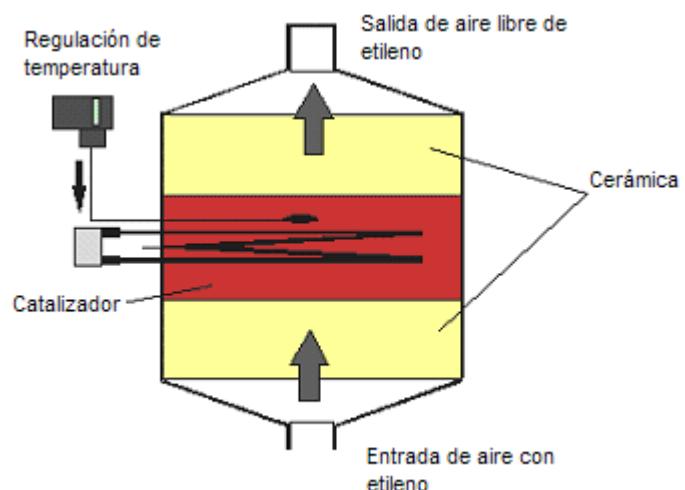


Fig. 4. Sistema de remoción de etileno con catalizador (Absorger, 2007)

Removeros de etileno con luz UV. El proceso se realiza elevando la temperatura, sin embargo esta tecnología no se ha utilizado comercialmente (Shorter y Scott, 1986).

➤ Medición de temperatura

Por ser este un parámetro tan importante, se debe de monitorear constantemente, ya que si la temperatura es baja demasiado, pueden ocurrir daños por frío y si por el contrario aumenta, el tiempo útil del alimento se puede reducir significativamente. La temperatura del aire y del producto deben ser monitoreadas y para ello los sistemas más utilizados son:

Controles electrónicos (con una exactitud de $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$). Se recomienda que estén distribuidos a lo largo de la cámara, para un almacén de 50 toneladas debe tener un mínimo de tres termómetros y en el caso de tener una capacidad de 100 toneladas se deben usar cuatro (Bishop, 1990).

Termómetros simples de mercurio. Deben colocarse suspendidos en medio del almacén haciendo visible a través de una ventana, este tipo de equipos además de ser más costosos ya no son tan utilizados (Bishop, 1990).

Termopares. Son otro tipo de sensor de temperatura que a pesar de ser más económicos que los anteriores tienen una exactitud estándar de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, lo cual es insuficiente y por requieren calibración individual. Permiten registrar correctamente temperaturas altas, sin embargo, no sucede lo mismo a bajas temperaturas (Bishop, 1990).

➤ Medición de oxígeno

El oxígeno ha demostrado ser el gas crítico en la conservación de alimentos por atmósferas controladas, por este motivo es importante su medición. Entre

los medidores de oxígeno se encuentran los siguientes:

Sensores paramagnéticos. Basa sus mediciones en las características paramagnéticas del oxígeno, requieren ser calibrados con aire con una concentración de oxígeno de 21%. Se debe de almacenar en un cuarto con temperatura controlada ya que se utiliza por largos períodos y puede sobrecalentarse (Lougeed y Bishop, 1984).

Analizador tipo celda. Es una alternativa más barata sin embargo, no es tan exacto y requiere de intercambios del sensor-meditor que son de un costo elevado.

Celdas de circonio. Son muy buenos sensores cuando las concentraciones de O_2 no son tan elevadas pero se requiere de un estricto control de temperatura para lograr una buena exactitud (Lougeed y Bishop, 1984).

➤ Medición de CO_2

Analizadores de absorción de luz infrarroja. Aseguran la medición específica de la concentración de CO_2 . La longitud de onda del espectro infrarrojo se selecciona con filtros ópticos y la radiación es dirigida a una celda simple que contiene la mezcla de gases del aire en la cámara antes de ser medido con el detector. Se requiere calibrar, el valor de cero se registra con aire y se usa una mezcla de nitrógeno y dióxido de carbono para el ajuste a escala completa (Lougeed y Bishop, 1984).

Indicadores químicos de CO_2 . Diseñado para análisis de gas de combustión, permite la cuantificación del CO_2 por cambio de volumen, en un líquido definido, medido en una escala graduada. Este método no es muy exacto pero puede ser usado en el almacén sin problemas (Lougeed y Bishop, 1984).

➤ Medición de etileno

Este gas es difícil de medir ya que las concentraciones permitidas dentro del almacén es demasiado pequeña. Sin embargo se pueden encontrar los siguientes sistemas:

Analizador de arrastre. Permite medir concentraciones superiores a 1 ppm, utiliza un sistema de tubos que contienen sustancias químicas que cambian de color (Bishop, 1990).

Cromatógrafos de gases. Se utilizan para mediciones entre 0.01-1 ppm, sin embargo es un equipo costoso que requiere de conocimientos específicos y por lo tanto operadores entrenados (Bishop, 1990).

➤ Medición de humedad

Para el almacén en atmósferas controladas se necesita cierto nivel de humedad, el cual se encuentra entre 90-98%. Es muy difícil obtener una medición significativa en este rango de humedad y los sensores con los que se cuentan, no son utilizables para niveles tan altos, por lo que se considera un error de al menos 10%. Las excepciones para este tipo de medición son el medidor de punto de condensación tipo espejo refrigerado y un termómetro de bulbo húmedo y seco (Bishop, 1990).

➤ Sistema de toma de muestra de gases

Para los sistemas de análisis se debe tener un sistema para obtener la muestra, del aire al interior de la cámara, limpia, libres de gotas de agua y que sea representativa la mezcla de gases. El tiempo de toma de muestra debe de ser

corto para evitar fugas considerables del aire dentro del sistema. El muestreo debe hacerse en el centro del almacén. Se puede colocar un filtro a la salida del tubo de muestreo, para evitar que cualquier tipo de residuos entre en el sistema de análisis. El tubo de muestreo debe de tener al menos 6 mm de diámetro para evitar cualquier tipo de bloqueo con agua, se debe tomar en cuenta la posibilidad de condensación cuando la temperatura del ambiente es menor que la temperatura del almacén. El equipo debe contar con una bomba para succionar la muestra y para proveer suficiente presión para los analizadores, no debe permitir la succión de aire del ambiente (debido a fugas) y la entrada debe estar libre de grasa (Bartsch, s/a).

Aplicaciones

La disponibilidad del proceso de atmósferas controladas es importante en la apertura de nuevos mercados debido a que permite el transporte marítimo de productos frescos, en lugar de utilizar transporte aéreo que resulta más costoso. Algunos de los productos que son beneficiados por el almacenamiento en atmósferas controladas son: cerezas dulces, nectarinas, duraznos, brócoli, espárragos, aguacates, mangos, flores y carne (APL, 2007).

El fruto mayormente almacenado con esta técnica es la manzanas, cuyas condiciones de almacenamiento depende de la variedad, la región y la estación de cosechadas. Para una mejor conservación, es necesario controlar adecuadamente las concentraciones de los gases que se utilizan (Bintar, 1978). También es importante demorar el mayor tiempo posibles la aparición de alteraciones por almacenamiento tales como la semilla amarilla en la variedad de manzana "Cox's Orange Pippin" (1% CO₂ y 2% O₂) y el

agrietado en la “Jonagold” (1% de CO₂ y 1.25 % de O₂) (Smock, 1979).

En la pera, la lesión por dióxido de carbono puede causar oscurecimiento del corazón y la carne, especialmente en la fruta madura. Las mejores condiciones de almacenamiento, al principio de la estación son 5% de CO₂ y un 1% de O₂ a una temperatura de 0°C, pero a medida que avanza la estación la cantidad de CO₂ irá reduciéndose hasta cero. El albaricoque “Blenheim”, ha sido almacenado en atmósfera controlada durante 7 semanas en presencia de un 2.5-3.5% de CO₂ y de un 2 a 3% de O₂ a 0°C (Smock, 1979).

La variedad de melocotón “Fray Elberta”, se conserva bien durante 6 semanas con un 5% de CO₂ y 2% de O₂ a 0°C antes del envasado. Cabe destacar que la calidad (durante la conservación) de melocotones y nectarinas varía mucho, y a menudo se agrietan y pudren. Para el almacenamiento de aguacate se emplean niveles de 10% de CO₂ con 1-2% de O₂ a 5 – 7 °C (Smock, 1979).

Los cítricos no pueden ser almacenados en atmósferas controladas porque el CO₂ tiende a producir putrefacción del pedúnculo, y debido también al riesgo de explosión por el etileno acumulado. Otras frutas como el mango y la papaya no responden tampoco a las atmósferas controladas (Smock, 1979).

Las coles pueden almacenarse bien en atmósfera controlada para mantener su color, sin embargo, sus condiciones de almacenamiento cambian con la variedad. Los resultados de estudios con zanahoria y papa en cuanto a las

condiciones de almacenamiento óptimo son muy variados (Isenberg, 1979).

Diversos investigadores han determinado que a menor concentración de oxígeno se afencitan procesos como la degradación del almidón y la clorofila, así como la síntesis de licopeno, b-caroteno y azúcares solubles (Thompson, 1998).

En el almacenamiento de tomate cv. Diva en atmósferas con niveles de oxígeno menores al 5%, y libres de dióxido de carbono y etileno, se alarga la vida de poscosecha. La concentración más adecuada de O₂ para esa variedad es del 3% (Gómez y Camelo, 2002).

Sin embargo, concentraciones de O₂ por debajo del 5% ocasionan un retraso en el desarrollo del color y ablandamiento, sin afectar significativamente el sabor. Los efectos observados parecen estar asociados no sólo a la menor tensión de oxígeno sino también a la ausencia de etileno (Sritananan et al., 2006).

En el almacenamiento con atmósferas controladas de higos de diferentes variedades, se observó también la disminución de la producción de olores desagradables y la velocidad de descomposición (Crisosto et al., 2007)

En otro estudio se observó que el almacenamiento en atmósferas controladas reduce la pérdida de clorofila y el cambio en el color de la cáscara, así como la disminución en la producción de etileno y la disminución en la velocidad de respiración en lima (Sritananan et al., 2006).

Conclusiones

La tecnología de atmósferas controladas ha sido un gran avance en la conservación y

transporte de productos fresco, ya que permite mantener frutas y verduras por periodos de tiempo mayores manteniendo sus características físicas. El principio básico de esta tecnología es la modificación de la composición del aire en el interior de una cámara o contenedor, generalmente disminuyendo la cantidad de oxígeno presente e incrementando la concentración de dióxido de carbono, utilizando equipos de medición, generadores y removedores de gases. Para su uso adecuado es necesario entender perfectamente el proceso de respiración del alimento que se va a almacenar así como tener en cuenta los límites de O₂ y CO₂ que mantienen condiciones de respiración aerobia.

Referencias

- Absorger. 2007. *Ethylene scrubber.* http://www.absoger-atmosphere-controlee-azote.com/ang/fruits_vegetables_preservation/absoger_ethylene_scrubbers.php, accesada el 09/11/2007
- APL Limited. 2007. *Modified/controlled atmosphere.* <http://www.apl.com/reefer/html/atmosphere.html>, accesada 22/10/2007.
- Bartsch, J. s/a . CA Storage. EF 8, Department of Agricultural Engineering, Cornell University. Ithaca, Nueva York.
- Barstch, J. y Blanpied, G.D. 1984. *Refrigeration and controlled atmosphere storage for horticultural crops.* NARAES-22, Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Cornell University. Ithaca, Nueva York.
- Bintar, W.G. 1978. Biochemical and physiological effects of modified atmospheres and their role in quality maintenance. En H.O. Huiltn y M. Milner (Eds.). *Post harvest biology and biotechnology.* Food and Nutrition Press. Westport, Connecticut.
- Bishop, D. 1990. Controlled atmosphere storage. En C.V.J. Dellino (Ed.). *Cold and Chilled Storage Technology.* Blackie and Son Ltd. Glasgow, Nueva Zelanda.
- Brody, A.L. 1989. *Controlled/modified atmosphere/vacuum packaging of foods.* Food and Nutrtition Press, Inc. Trumbull, Connecticut. pp. 1-2.
- Crisosto G., Bremer, V., Dollahite, S., Crisosto, C. H., Stover, E., y Ferguson, L. 2007. *Effect of controlled atmosphere storage on the quality of three fresh fig cultivars.* University of California Agriculture and Natural resources.
- Dover, C. 1983. *The control of superficial scald of Bramley's seedling apples by removal of ethylene from the storage atmosphere.* Proc. 16th Int. Conf. Refrigeration. pp. 165-170.
- Filder, J. C. y Mann, G. 1966 *Thirty-five years of controlled atmosphere storage.* Annex Bulletin 1966-1, International Institute of Refrigeration. Paris. p.41
- Gómez P. A., Camelo, A. F. L. 2002. Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. *Horticultura Brasileira.* 20(1): 38-43.
- Hardenburg, R. E., Watada, A. E. y Wang, C. Y. 1986. *The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks.* USDA-ARS, Agr. Handbook 66. Department of Agriculture.
- Isenberg, F.M.R. 1979. Controlled atmosphere storage of vegetables. En J. Janick (Ed.). *Horticultural Reviews (1).* AVI Publishing Company. Westport, Connecticut.
- Jelen, P. 1985. *Introduction to Food Processing.* Reston Prentice Hall, Inc. Nueva Jersy, EE.UU. pp. 73 – 77.
- Kordesch, K., Hacker, V., Frankhauser, R., y Faleschini, G. 2003. *Ammonia cracker for production of hydrogen.* United States Patent 20030232224. Disponible en: www.freepatentsonline.com/20030232224.html. Adquirido el 9/11/2007
- Kyzlink, V. 1990. *Principles of food preservation.* Elsevier Science Publishing Co. Inc. Checoslovaquia. pp. 457, 469 – 472.
- Lee, L. Arul, J. Lencki, R. y Castaigne, F. 1996. A review on modified atmosphere packaging and preservation of fresh fruits and vegetables: physiological basis and practical aspects – part 2. *Packaging Technology Science.* 9: 1 – 17. Citado en: FDA. 2001. *Microbiological Safety of Controlled and Modified Atmospheres Packaging of Fresh and Fresh – Cut Produce.* <http://www.cfsan.fda.gov/~comm/ift3-6.html>, accesado 23/10/2007.
- Lister, P. D., Lawrence, R., Blanpied, G. D. y McRae, K. B. 1985. Laboratory evaluation of potassium permanganate for ethylene removal

- from CA apple storages. *Trans. ASAE.* 28: 331-334.
- Lougheed, E. C. y Bishop, D. J. 1984. Electronic monitoring and control of carbon dioxide and oxygen in controlled atmosphere. *Acta Horticulturae.* 157, 51-56.
- Moleyar, V. y Narasimham, P. 1994. Modified atmosphere packaging of vegetables: an appraisal. *Journal of Food Science and Technology.* 31 (4): 267 – 278. Citado en: FDA. 2001. *Microbiological Safety of Controlled and Modified Atmospheres Packaging of Fresh and Fresh – Cut Produce.* <http://www.cfsan.fda.gov/~comm/ift3-6.html>, accesado 23/10/2007.
- Raghavan, G. S. V., Gariépy, Y., Vigneault, C. 2003. Controlled Atmosphere Storage. En D. R., Heldman. *Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering.* Marcel Dekker, Inc. Nueva York. pp. 148 – 152.
- Sharples, R. O. y Stow, J. R. 1986. *East malling research station annual report for 1985.* pp. 165-170.
- Shorter, A. J. y Scott, K. J. 1986. Removal of ethylene for air and low oxygen atmospheres with Uv radiation. *CSIRO.* 19(2): 176-179.
- Sing, R. P. y Mannapperuma, J. D. 2000. Minimal Processing of Fruits and Vegetables. En J. E. Lozano, C. Añón, E. Parada – Arias y G. V. Barbosa – Cánovas. *Trends in food Engineering.* pp. 191 – 203.
- Sivakumar, S. V., Kumar, P., y Rao, D. P. 2006. *CO₂ Capture from Flue Gas Using a Modified Duplex Pressure-Swing Adsorption.* Indian Institute of Technology Kanpur. Kanpur, India.
- Smith, W.H. 1963. The use of carbon dioxide in the transport and storage of fruits and vegetables. *Advances in food research.* 12: 96.
- Sritananan, S., Uthairatanakij, A., Srilaong, V., Kanlayanarat, S. y Wongs-Aree, C. 2006. Efficacy of controlled atmosphere storage on physiological changes of lime fruit. *Acta Horticulturae.* (ISHS) 712:591-598.
- Smock, R. M. 1979. Controlled atmosphere storage of fruits. En J. Janick (Ed.). *Horticultural Reviews (1).* AVI Publishing Company. Westport, Connecticut.
- Vigneault, C., Raghavan, V. G. S. and Prange, R. 1994. Techniques for controlled atmosphere storage of fruits and vegetables. (Techniques d'atmosphère contrôlée pour le stockage de fruits et légumes) Research Branch, *Agriculture and Agri-Food Canada, Technical Bulletin.* 1993-18E.
- Wills, R. H. H., Lee, T. H., Graham, D., McGlasson, W. B. y Hall, E. G. 1981. Postharvest an introduction to the physiology an Handling of fruit an Vegetables. Westport, CT. AVI. pp. 161
- Wojciechowski, J. y Haber, J. 1982. Swingtherm-a new economic process for the catalytic burning flue gases. *Applied Cataysisl.* 4: 275-280.



Tecnología de empacado en atmósferas modificadas: principios, desarrollo en investigación y aplicaciones

A. I. Gómez – Sánchez y M. M. Vázquez – Aguilar

Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Universidad de las Américas – Puebla. San Andrés Cholula, Pue., México.

Resumen

Se realiza una revisión sobre la tecnología de conservación de alimentos por atmósferas modificadas (AM): sus principios, avances en investigación y aplicaciones. Inicialmente, se revisan los fundamentos, las diferentes terminologías usadas en AM, los gases comúnmente empleados y los efectos de las AM en los microorganismos. Asimismo, se comentan los diferentes materiales de empaque más empleados y las técnicas de empacado. Respecto a los avances en investigación, se revisan diversos desarrollos en películas de empaque y sistemas de empacado: envasado inteligente, modelación matemática predictiva, combinación de tratamientos, películas de alta permeabilidad y detección de fugas. Finalmente, se citan aplicaciones del envasado por AM en frutas y vegetales mínimamente procesados, así como algunas condiciones recomendadas para el envasado en AM de diversos productos.

Palabras clave: atmósfera modificada, película, permeabilidad, mínimamente procesado.

Abstract

A review is realized about the technology of food preservation by modified atmospheres (MAP): its principles, advances in research and applications. First, the fundamentals, related terminologies in MAP, gases commonly used and effects of MAP on microorganisms are reviewed. Also, the most used packaging materials and its packaging methods are commented. With respect to the advances in research, developments in packaging films and packaging systems are reviewed: “intelligent” packaging (or “smart” films), predictive/mathematical modeling, combination treatments, high-permeability films, and leak detection. Finally, some applications of MAP on fruits and vegetables minimally processed are cited, and a summary of some suggested MAP conditions in different foods is given.

Keywords: modified atmosphere, film, permeability, minimally processed.

Introducción

La refrigeración disminuye el deterioro de los alimentos almacenados, pero si la atmósfera que rodea a los productos se modifica mediante la reducción de la concentración de oxígeno, la vida de anaquel de los alimentos se incrementará considerablemente, debido a la reducción tanto en la velocidad de las reacciones de oxidación química, como en el crecimiento de microorganismos aerobios (Parry, 1993).

La vida de anaquel de un alimento puede ser incrementada modificando la composición gaseosa del aire, por ejemplo, aumentando o disminuyendo el contenido de oxígeno (O_2) y/o aumentando el nivel de dióxido de carbono (CO_2). Los niveles de nitrógeno (N_2) pueden ser diversos, ya sea para desplazar el oxígeno, o para actuar como gas inerte en empaques flexibles, evitando el colapso de éstos (Molin, 2000).

El envasado en atmósferas modificadas (AM) tiene la habilidad de prolongar la vida de anaquel de los alimentos, y ha producido cambios considerables en el almacenamiento, la distribución y mercadotecnia de alimentos frescos (Church, 1994).

El uso de AM tiene una historia considerable. En el siglo XIX, el químico francés Berard reportó los beneficios del primer estudio del uso de atmósferas modificadas para incrementar la vida útil de los productos. Sin embargo, no fue sino hasta la década de 1970 cuando la técnica fue introducida para la comercialización de productos en

Europa. En el Reino Unido en 1979, Marks y Spencer introdujeron carne empacada en AM. Durante los dos años siguientes ampliaron la gama de productos para incluir tocino, chuletas, carne cocinada fileteada, pescado fresco y ahumado, y mariscos cocidos. El éxito de estas iniciativas promovió rápidamente que los otros grandes distribuidores de alimentos, desarrollaran sus propios productos envasados en AM (Phillips, 1996; Al-Ati y Hotchkiss, 2002).

Actualmente, las tecnologías de AM son usadas en una amplia gama de productos frescos o refrigerados, incluyendo: carnes crudas y cocidas, aves, pescados, crustáceos, pastas frescas, frutas (incluyendo ensaladas, frutas peladas y picadas), vegetales (incluyendo ensaladas con aderezos), café, té, botanas fritas, nueces, productos lácteos, y productos de pastelería y panadería (muffins, croissants, pizzas y quiches). Con la excepción de productos con estabilidad microbiológica al almacenamiento, tales como nueces y botanas fritas, se requiere el almacenamiento en refrigeración, para asegurar que la tecnología de AM sea exitosa y segura. Asimismo, se deben cumplir las Buenas Prácticas de Manufactura durante los procesos (Parry, 1993; Goodburn y Halligan, 1988; Day, 1992).

Revisión bibliográfica

Fundamentos y Terminología de AM

El empacado o envasado en atmósfera modificada (AM) se define como el envasado de un alimento perecedero en una atmósfera modificada de tal manera que la mezcla de gases en ella es diferente a la composición del aire (78.08% N_2 , 20.96% O_2 , 0.03% CO_2 , cantidad variable de vapor de agua y trazas de gas inerte) (Hintlian y Hotchkiss, 1986; Dodds, 1995).

El propósito de modificar la atmósfera no es necesariamente crear una mezcla de gases para incrementar la vida de los productos, sino, controlar la atmósfera del empaque donde se va a almacenar el producto. AM crea una composición de gas predeterminada, la cual cambia con respecto al tiempo. Las variables que se relacionan con la fisiología del producto (velocidad de respiración, edad, entre otras), factores físicos del ambiente (temperatura, HR, presión) y las propiedades de permeabilidad del material de empaque, determinan la composición específica del gas en el equilibrio (Al-Ati y Hotchkiss, 2002).

Existen varias técnicas para modificar la atmósfera que rodea a un producto, y esto origina confusiones con la terminología usada, tal y como se puede apreciar en la tabla I.

La distinción entre Atmósferas Modificadas y Atmósferas Controladas

puede dejar de ser tan clara debido a los avances en las tecnologías de empaques, tales como: películas de “barrera fuerte”, empacado inteligente, empaques de charola, secuestrantes de gases, y productores de gases (Parry, 1993; Church, 1994).

Existen 3 tipos de mezclas de gases que son utilizados para el envasado en atmósfera modificada: Cobertura inerte (N_2), Atmósfera semi- activa (CO_2/N_2 , $O_2/CO_2/N_2$), Atmósfera completa/activa (CO_2 , CO_2/O_2). La combinación de gases a utilizar depende de muchos factores, como tipo de producto, material de empaque y la temperatura de almacenamiento.

Gases empleados en AM

Los tres gases más usados comercialmente para AM son oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono.

1. Oxígeno (O_2). El oxígeno probablemente es el gas más importante: es utilizado por los microorganismos aerobios

Tabla I. Diferentes terminologías usadas en tecnologías Am^a

Terminología	Descripción
Envasado en Atmósfera Modificada (MAP).	Reemplazo del aire por un gas o una mezcla de gases. No existe control sobre la composición inicial. La composición de la atmósfera es cambiante con el tiempo, debido a la difusión de los gases dentro y fuera del producto, la permeabilidad de los gases dentro y fuera del paquete, y los efectos de respiración del alimento y del metabolismo microbiano.
Envasado en Atmósfera Controlada (CAP) y Almacenamiento en Atmósfera Controlada (CAS).	El tipo de mezcla gaseosa así como la proporción de cada gas son controlados al nivel original durante todo el período de almacenamiento, sin considerar las variaciones de temperatura y de otros factores ambientales. Estas técnicas son usadas principalmente para el almacenamiento a granel y para el transporte de productos, y requieren de un control y monitoreo constantes de la composición gaseosa dentro del envase.
Envasado en Atmósfera Modificada en Equilibrio (EMA)	Usado para frutas frescas y vegetales. El empaque es impregnado con la mezcla de gases requerida o el producto es sellado dentro del paquete sin modificación de la atmósfera. La respiración del producto y la permeabilidad del empaque al gas hacen posible que se alcance una atmósfera modificada de equilibrio. Esta técnica también es llamada “modificación de atmósfera pasiva” (PAM).
Empacado al Vacío (VP)	El producto se coloca en un paquete de baja permeabilidad al oxígeno, el aire se evaca y el paquete se sella herméticamente. La atmósfera se modifica durante el almacenamiento (debido al metabolismo microbiano y del producto, y a la permeabilidad del gas).
Empacado con Película al Vacío (VSP)	Estos métodos consisten en aplicar una película de recubrimiento sobre el producto, de modo que mediante la aplicación de vacío, se forme una “piel” sobre éste. Esto permite el empacado al vacío de productos frágiles y delicados, así como de productos que por su naturaleza romperían los empaques (por ejemplo, langosta).

^a Church (1994); Philips (1996)

que provocan la descomposición de los tejidos vegetales, y participa en algunas reacciones enzimáticas en los alimentos, sin embargo, puede inhibir el crecimiento de anaerobios estrictos (Farber, 1991). Por estas razones, en el envasado en AM éste se elimina o reduce hasta niveles tan bajos como sea posible. Las excepciones se presentan cuando el oxígeno es necesario para la respiración de frutas y hortalizas, la retención de color, como la carne roja (Hood y Riordan, 1973), o para evitar las condiciones anaerobias en el caso del pescado blanco (Al-Ati y Hotchkiss, 2002).

2. Nitrógeno (N_2). El nitrógeno es un gas inerte, insaboro (Inns, 1987), de baja solubilidad en agua y grasas. Se utiliza fundamentalmente en atmósferas modificadas para desplazar al oxígeno, y así retardar la rancidez oxidativa e inhibir el crecimiento de microorganismos aerobios, previniendo también el enranciamiento de frutos secos. Debido a su baja solubilidad, es usado como gas de relleno para prevenir el colapso de empaques conteniendo altas concentraciones de CO_2 (Gill y Penney, 1988; Farber, 1991; Church, 1994; Davies, 1995).

3. Dióxido de Carbono (CO_2). El dióxido de carbono ejerce un fuerte efecto bacteriostático y fungicida sobre los microorganismos en AM (Wolfe, 1980; Dixon y Kell, 1989). Su mecanismo de acción no está demostrado por completo (Rizvi, 1981; Daniels et al, 1985; Inns, 1987; Hotchkiss, 1988); sin embargo, éste depende de la disolución del gas (solubilidad en agua y grasa) en el producto empacado (Church et al, 1995). El efecto inhibidor se presenta como una

extensión de la fase lag del crecimiento microbiano, y un decremento en la velocidad de crecimiento en la fase logarítmica (Farber, 1991). Este efecto bacteriostático es función de la concentración de CO_2 , la edad y carga inicial microbiana, la temperatura de almacenamiento y el tipo de producto que será empacado. *C.botulinum* y *C. perfringens* no son afectados por la presencia de CO_2 , y se ha encontrado crecimiento de ellos en atmósferas modificadas con condiciones anaerobias.

El CO_2 en exceso de 5% v/v, tiene un efecto inhibitorio en contra del crecimiento de la mayoría de los microorganismos que crecen en condiciones de refrigeración. Particularmente, el CO_2 es efectivo contra bacterias gram-negativas aerobias y deteriorativas, tales como *Pseudomonas sp.* que provocan pérdida de color y malos olores en carnes, aves y pescados; sin embargo, no retrasa el crecimiento de las bacterias ácido-lácticas, el cual se incrementa en su presencia; tampoco tiene efecto sobre las levaduras. Este gas es soluble tanto en agua como en lípidos, por lo que la absorción de CO_2 depende en gran medida de los contenidos de humedad y grasa de los productos. Las concentraciones elevadas de CO_2 pueden provocar la decoloración y el desarrollo de sabores ácidos en carnes rojas y aves. Algunos productos lácteos, como cremas, son muy sensibles a la concentración de CO_2 , el cual favorece la aparición de manchas. Este gas se difunde a través de la película de envasado alrededor de 30 veces más rápido que cualquiera de los otros gases empleados en el envasado de productos alimenticios (Reddy et al., 1992; Church, 1994; Davies, 2002; Al-Ati y Hotchkiss, 2002).

4. Otros gases. Se ha comprobado que el monóxido de carbono (CO) es muy

efectivo para conservar el color rojo en las carnes frescas, debido a la formación de carboximioglobina, aunque no se emplea por ser un gas altamente tóxico (Davies, 2002; Al-Ati y Hotchkiss, 2002). Asimismo, otros gases que se han investigado experimentalmente son: SO₂, óxido nitroso (N₂O), óxido nítrico (NO), ozono (O₃), He, H₂, Ne, Ar, óxido de propileno, etileno y Cl₂; sin embargo, su uso es limitado, debido a factores de seguridad, legislación, respuesta adversa del consumidor, costo y efectos negativos en las propiedades organolépticas de productos empacados (Church, 1993).

Efectos de AM en microorganismos

En general, los microorganismos aerobios son sensibles al CO₂. Las bacterias Gram-negativas son generalmente más sensibles al CO₂ que las Gram-positivas (Lambert et al., 1991; Reddy et al., 1992). En el almacenamiento refrigerado de alimentos con contenido proteínico, tales como carne y pescado, la aplicación de AM inhibe el crecimiento de bacterias Gram-negativas, tales como: *Pseudomonas spp.*, *Acinetobacter spp.*, *Moraxella spp.* y Enterobacterias, mientras que las bacterias ácido lácticas Gram-positivas y *Brochothrix thermosphacta* son los organismos dominantes (Church, 1994; Davies, 2002; Al-Ati y Hotchkiss, 2002).

Debido a que los mohos tienen una absoluta necesidad de O₂, el envasado anaeróbico en AM puede ser extremadamente benéfico para prolongar la vida de aquaquel de productos alimenticios donde el deterioro por mohos es la principal preocupación, tales como productos de panadería o quesos

madurados. Si además se usa CO₂ para producir AM, existe el beneficio adicional de su actividad antibacterial y fungicida (Church, 1994; Davies, 2002; Al-Ati y Hotchkiss, 2002).

Si bien la capacidad de AM para extender la vida útil de muchos productos es un hecho bien conocido, existe un riesgo de seguridad para ciertos productos (Church, 1993; Avery, 1994). Históricamente, las cepas de *Clostridium botulinum* han sido la principal preocupación de seguridad. Estas cepas pueden crecer y producir su toxina sin un deterioro visible del producto (Thatcher et al., 1962; Church, 1994).

Las AM en pescado y productos de pescado han sido causa de preocupación con respecto al *Cl. botulinum*, y como resultado, las agencias reguladoras han prohibido empacar este tipo de producto en atmósferas modificadas hasta que se compruebe la seguridad y estabilidad de los sistemas (Davis, 1993). Un enfoque que probablemente provee la seguridad requerida del pescado en AM con respecto al *Cl. botulinum* es el uso de pre-tratamientos en combinación con atmósferas modificadas. Por ejemplo, sorbato de potasio, cloruro de sodio e irradiación en combinación con AM han mostrado ser efectivos (Stammen et al., 1990).

En alimentos mínimamente procesados, el potencial de contaminación microbiana es alto, debido a su exposición a diversas condiciones, ambientes y procesos (Corlett, 1989; Hurst y Schuler, 1992; Madden, 1992; Swanson et al., 1995); las poblaciones microbianas en vegetales frescos pueden variar desde 10² hasta 10⁹ UFC/g (Ahvenainen, 2000), llegándose a encontrar especies de bacterias patógenas mesofílicas tales como *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp.*, *Shigella spp.* en productos almacenados a temperatura ambiente (Saddik et al., 1985; Brocklehurst et al., 1987; Church et al., 1995), y organismos patógenos psicrotróficos tales

como *Listeria monocytogenes*, *Aeromonas hydrophila* y *Yersinia enterocolitica* (Brocklehurst et al, 1987; Sizmur y Walker, 1988; Berrang et al, 1989) tanto en productos almacenados a temperatura ambiente como en refrigeración. Se ha recomendado la sanitización con cloro (100 µm/lit durante 5 minutos), particularmente a vegetales con hojas, aunque existe duda de su efectividad en *L.monocytogenes* (Brackett, 1987; Berrang et al, 1989; Beauchat y Brackett, 1990). Teóricamente, existe la posibilidad de toxicidad debida a la presencia de *Cl.botulinum* (tipos E, y cepas no proteolíticas B y F) en atmósferas anaerobias y con temperaturas incrementadas (debido a un aumento en la velocidad de respiración, y consecuente consumo de oxígeno (O'Beirne, 1990) o al uso de materiales de empacado equivocados (Day, 1993)), aunque existe poca evidencia de esto (Church et al, 1995). Zagory y Kader (1988) demostraron que la acumulación de toxina de *Cl.botulinum* en vegetales no se presenta sin algún indicio de cambio sensorial, siendo apoyados por los estudios de Malizio y Johnson (1991) realizados en champiñones (1991), y en

pocos riesgos de salud pública debido a su relativo bajo pH (Church et al, 1995).

Materiales de empaque

A pesar de la gran diversidad de materiales de empaque disponibles para el envasado en AM, la mayoría de los empaques están elaborados a partir de cuatro polímeros básicos: cloruro de polivinilo (PVC), tereftalato de polietileno (PET), polietileno (PE) y polipropileno (PP), dependiendo de las características requeridas y el uso pretendido. Algunos factores que deben considerarse al elegir una película de empaque se presentan en la tabla II.

El polietileno es generalmente uno de los componentes de las películas, puesto que proporciona la propiedad del sellado hermético, y tiene características antiempañantes y de fácil separación (Greengrass, 1993).

La atmósfera dentro del producto es influenciada por el tipo de material usado en el procedimiento de empacado y la mezcla de gas inicial usada (Phillips, 1996).

Se han desarrollado modelos matemáticos para predecir los efectos de algunas propiedades de películas, tales como

Tabla II. Factores a considerar en la selección de una película^b

Factor	Característica(s) deseada(s)
Propiedades de barrera	Permeabilidad a diversos gases. Velocidad de transferencia de vapor de agua.
Capacidad de maquinado	Capacidad para soportar problemas de operación (ej., resistencia a la ruptura, facilidad de termo-formado).
Confiabilidad de sellado	Habilidad de auto-sellado
Propiedades anti-empañantes	Buena visibilidad del producto.
Características especiales	Posibilidad de calentar el producto sin sacarlo del paquete. Sellos fáciles de abrir.

^b Smith (1993).

tomates por Hotchkiss et al (1992). Respecto a las frutas, éstas presentan

el tamaño y el número de microperforaciones por empaque, en la

concentración gaseosa del producto, así como para definir los requerimientos mínimos de homogeneidad para el empaque (Renault et al, 1994). Dichos modelos pueden ser usados para predecir la efectividad de nuevos materiales desarrollados para el envasado en AM de vegetales de elevada velocidad de respiración, tales como champiñones (Lopez-Briones et al, 1993).

Técnicas de envasado en AM

La maquinaria usada para el empacado en AM puede dividirse en cuatro grandes grupos: máquinas empacadoras-selladoras de charolas semi-rígidas (Fig.1), máquinas de empacado flexible de flujo horizontal (Fig.2), máquinas de empacado flexible y llenado de flujo vertical (Fig.3) y máquinas empacadoras de tambor en cajas.



Fig.1. Sellador de charolas para empacado en AM
(Globalspec, 2007)



Fig.2. Equipo para empacado a flujo horizontal con AM (PFM Group, n.d.)



Fig.3. Equipo para llenado y sellado en flujo vertical con AM (M-TEK, 2007)

Avances en AM

Existe un gran potencial tecnológico para mejorar la seguridad del uso de atmósferas modificadas, y por consiguiente extender esta tecnología a un mayor rango de alimentos y países (Church, 1994).

Envasado Inteligente. El desarrollo de “películas inteligentes”, también conocido como empaque inteligente o activo, probablemente sea una de las áreas de desarrollo más significativas dentro de la tecnología de AM. Este tipo de empaque tiene la habilidad de absorber o emitir gases y vapores, y sus tecnologías se clasifican en: (1) Compactadores de oxígeno, (2) Liberadores de dióxido de carbono (3) Eliminadores de aroma (4) Eliminadores de sabor, (5) Eliminadores de etileno, (6) Emisores de etanol, (7) Eliminadores de agua, (8) Películas comestibles. Estas técnicas han sido descritas por Labuza y Breene (1989), Labuza (1990), Robertson (1991) entre otros. De estas técnicas, la compactación de oxígeno tiene probablemente la mayor aceptación comercial. Dos enfoques para el desarrollo de sistemas compactadores de oxígeno han sido examinados. El más exitoso y comercial es el uso de sobres que son puestos en el empaque; el segundo y más interesante es el desarrollo de películas

compactadoras de oxígeno. Rooney (1994) reportó una evaluación de dos tipos de plásticos compactadores de oxígeno. Los primeros usan una luz visible para evitar la difusión del oxígeno del espacio de cabeza dentro del empaque de plástico y compactarlo en él, mientras que el segundo tipo es activado en diferentes maneras, independientes de la iluminación. La composición básica de este tipo de películas fue diseñada para retener esta actividad en por lo menos 100 días en ausencia de oxígeno (Davies, 1995). Los compactadores de oxígeno son usados para muchos productos, incluyendo postres, galletas, pizza y pastas, carnes curadas y ahumadas, pescado seco, queso, papas fritas, huevos deshidratados, especies, cacahuates, café y chocolate.

Modelación matemática predictiva. Brinda el potencial para hacer mejoras significativas en al menos dos áreas de AM. La primera es la optimización (cantidad de gas, permeabilidad de la película, etc.) de AM para productos específicos, principalmente frutas y vegetales. El segundo aspecto es la predicción de la seguridad microbiológica y la vida de los alimentos (Davies, 1995). La Microbiología Predictiva emplea ecuaciones matemáticas para estimar el crecimiento, sobrevivencia y muerte de los microorganismos, y cómo se ve afectado por los parámetros extrínsecos (procesamiento y condiciones de almacenamiento) e intrínsecos del alimento (concentración de sal, pH o aw) (Davies, 1995).

Combinación de tratamientos. El uso de pre-tratamientos en combinación con AM puede incrementar el potencial de

seguridad y la vida de los productos. Un enfoque muy atractivo es controlar el crecimiento de patógenos en combinación con la temperatura (Davies, 1995). Dentro de los pre-tratamientos, los químicos que han sido examinados son: adición de sorbato de potasio, polifosfatos, cloruro de sodio, ácido linoleico y nisina. Las combinaciones de tratamientos (químicos e irradiación) han mostrado en ocasiones mejora y beneficios en la vida útil, seguridad, calidad y/o una combinación de éstos factores. Ocasionalmente, un efecto sinérgico de tratamientos y AM ha sido observado (Davies, 1995).

Películas de alta permeabilidad. Muchos desarrollos han sido en el diseño de películas de alta permeabilidad para empaques de frutas y vegetales. Estos incluyen películas en las cuales la humedad y la permeabilidad del gas cambia bajo condiciones específicas de temperatura, las cuales que se establecen de tal manera que no se exceda la velocidad de respiración del producto (Day, 1993). Muchos de estos trabajos se han enfocado para productos de venta individual, para microondas y resellables; así como el desarrollo de empaques triples y el empaque con vacío (Day, 1993).

Detección de fugas. Uno de los avances más importantes en equipos es el desarrollo de líneas detectoras de fugas y no destructivas. La detección de fugas es uno de los mayores retos de los productores de AM (Davies, 1995).

Aplicaciones de AM

Empacado de Frutas y Vegetales Mínimamente Procesados

El empacado en AM es una tecnología empleada para mejorar y prolongar la vida

útil de frutas y vegetales fisiológicamente activos (Hotchkiss y Banco, 1992; Hintlian y Hotchkiss, 1986; Zagory y Kader, 1988; Kader, 1986; Kader et al, 1989; Watada et al, 1990), así como de alimentos mínimamente procesados (Hintlian y Hotchkiss, 1986).

Las frutas frescas se deterioran como consecuencia de la respiración. En ausencia de O₂, se presenta respiración anaeróbica, lo que genera malos sabores y olores así como daño metabólico, y eventualmente los tejidos mueren por falta de O₂. Cuando la presión parcial del O₂, disminuye alrededor de 10 Kpa, ocurre respiración anaeróbica, y se generan CO₂, etanol, acetaldehído y ácidos orgánicos. El metabolismo anaeróbico causa cambios de textura y sabor debido al consumo de azúcar, almidón u otras fuentes de energía de los tejidos. Otro de los problemas que ocasiona la respiración es la producción de vapor de agua, que se condensa en el empaque y se convierte en agua libre disponible para el deterioro y crecimiento de microorganismos patógenos. Otro producto de la respiración es la producción de calor, por lo que debe controlarse la temperatura durante el almacenamiento y distribución (Al-Ati y Hotchkiss, 2002).

El principio básico del empacado en AM es que se puede crear pasivamente una atmósfera modificada usando materiales de empaque permeables, o crear ésta activamente usando una mezcla de gas específica junto con empaques permeables. El objetivo de ambas técnicas es crear un balance de gases óptimo dentro del empaque, en el cual la actividad respiratoria del

alimento sea lo más baja posible, y por otra parte, las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono no sean perjudiciales al producto. En general, se recomienda mantener una composición gaseosa de 2-5% CO₂, 2-5% O₂, y el resto de N₂ (Kader et al, 1989; Powrie y Skura, 1991; Day, 1993). Las velocidades de respiración se ven influidas por la concentración inicial del gas, tal que por ejemplo, reduciendo la concentración de oxígeno a 2% y aumentando la concentración de dióxido de carbono a 5%, se obtiene una reducción considerable en la velocidad de respiración de vegetales, tales como floretes de brócoli (Zagory y Kader, 1988). Por lo tanto, la composición inicial del gas debe ser determinada para cada producto (fruta o vegetal), y así evitar maduración irregular, obscurecimiento y cambios indeseables en propiedades organolépticas (Kader et al, 1989). La fijación del color es importante, y se ha demostrado que en pimientos rojos el uso de AM aumenta la retención de carotenoides y reduce el obscurecimiento (Lee et al, 1992). La vida de anaquel de coliflor, brócoli y espárragos se incrementa aproximadamente a 7 días con el uso de dióxido de carbono, el cual ejerce un efecto inhibitorio sobre la flora microbiana aeróbica de los productos (Berrang et al, 1990).

El empacado en atmósferas modificadas también se puede aplicar a vegetales cortados y preparados. En tales productos, el obscurecimiento enzimático es generalmente el factor limitante para la vida de anaquel (Joslyn y Ponting, 1951; O'Beirne, 1990; Ahvenainen, 2000). Esto se resuelve reduciendo el nivel de O₂, a un nivel superior al cual se presenta la respiración anaeróbica, y almacenando a temperatura de refrigeración. Esto permite extender la vida de anaquel, desde 1 a 3 días hasta 5 a 7 días (O'Beirne, 1990). Ballantyne et al (1988)

determinó que para lechuga cortada en tiras, se requiere una atmósfera de 5% O₂, / 5% CO₂ / 90% N₂ v/v para prevenir el obscurecimiento. El método de corte determina la magnitud del daño celular, y por lo tanto, el grado de obscurecimiento; éste puede ser disminuido mediante el rebanado (no picado) usando un cuchillo bien afilado y lavando con agua después del cortado (Bolin et al, 1977; Ahvenainen, 2000). En productos tales como manzana y papa peladas y rebanadas, el obscurecimiento enzimático no puede ser controlado únicamente mediante el lavado con agua y el empacado (Keijbets, 1988; Wiley, 1994; Church, 1995; Ahvenainen, 2000), sino requiere de un tratamiento adicional con algún inhibidor del obscurecimiento. Tradicionalmente, los sulfitos han sido usados para la prevención del obscurecimiento. Sin embargo, el uso de sulfitos tiene desventajas, ya que pueden causar efectos secundarios de riesgo en la salud de personas asmáticas. Por esta razón, la FDA (U.S. Food and Drug Administration) restringió parcialmente el uso de sulfitos (Anónimo, 1991; Ahvenainen, 2000). Una alternativa es el uso de ácidos cítrico o ascórbico (O'Beirne y Ballantyne, 1987; O'Beirne, 1988). La mayoría de las películas no proporcionan atmósferas óptimas en cuanto a O₂, y CO₂, especialmente cuando el producto tiene alta velocidad de respiración (maíz dulce, coliflor y poros). Una alternativa es realizar micro-perforaciones de tamaño y cantidad definidos en el empaque, para evitar condiciones de anerobiosis (Exama et al, 1993); este procedimiento

mejora significativamente la vida de anaquel de zanahorias ralladas (Ahvenainen et al, 1998); el uso de charolas de PVC rígidas con envoltura a base de una película de PVC micro-perforada, prolonga la vida de poros (Stewart et al, 1992; Yang, 1995). Otras alternativas son la combinación de acetato-vinil etílico (EVA) con polipropileno orientado (PP) y polietileno de baja densidad (LDPE), o la combinación de materiales cerosos con polietileno. Estos materiales tienen significativamente mayor permeabilidad a los gases, y pueden ser usados en el empacado de ensaladas, poseen buenas propiedades de sellado y están disponibles en el mercado; la vida útil de calabazas en tiras y zanahorias ralladas empacadas en éstos materiales es de 7 a 8 días a 5°C (Ahvenainen, 2000). Con el uso de una atmósfera de 1-3% O₂, y 5-6% CO₂ y una película de polietileno de baja densidad (LDPE) de 35 µm de espesor, se duplica la vida útil de lechuga cortada en tiras y almacenada a 4°C (Ballantyne et al, 1988; Yang, 1995).

Condiciones recomendadas para el almacenamiento de alimentos en AM

La tabla III presenta valores de AM reportados para diferentes productos.

La información presentada indica que las combinaciones y proporciones usadas de cada gas son diferentes, y dependen del tipo de producto y de las necesidades de los consumidores y productores. La elección está influenciada por: la flora microbiana presente en el producto, la sensibilidad del producto al oxígeno y al dióxido de carbono, y los requerimientos de estabilidad del color (Phillips, 1996).

Tabla III. Condiciones recomendadas para productos almacenados en AM^c

Producto	% CO₂	% O₂,	% N₂
Pescado blanco	40	30	30
Pescado graso	40 - 60	40 - 60	
Tocino	20 - 35	65 - 80	
Aves cocinadas	30	70	
Aves	100		
	25 - 30		70 - 75
	20 - 40	60 - 80	
	60 - 75	5 - 10	20
Carne curada	20 - 50		50 - 80
Carne fresca	30	30	40
	15 - 40	60 - 85	
Pasta (con carne)	50 - 80		20 - 80
Queso	0 - 70		0 - 30
Panadería			100
	100		
	20 - 70		20 - 80
Frutas y Vegetales	3 - 8	2 - 5	87 - 95
Pasta			100

^c Farber (1991); Church (1993)

Conclusiones

La tecnología en atmósferas modificadas constituye una potente herramienta en las áreas de conservación de alimentos y empacado. La aplicación y el desarrollo de tecnologías de empacado y almacenamiento en atmósferas modificadas debe obedecer a la satisfacción de las necesidades de los consumidores, las cuales requieren de productos seguros, con características sensoriales y nutricionales satisfactorias. Asimismo, los fabricantes requieren de tecnologías que ofrezcan mayores economías y facilidades de producción. Debido a ello, es fundamental e imprescindible el fortalecer la investigación y el desarrollo continuo en materiales de empaque (películas), en tecnologías de envasado y en la implementación de maquinaria y equipo.

Referencias

- Al-Ati, T., y Hotchkiss, J. H. 2002. Capítulo 10. Application of Packaging and Modified Atmosphere to Fresh-cut Fruits and Vegetables. En O. Laminka (Ed.). *Fresh-cut Fruits and Vegetables*. CRC Press, Nueva York. p. 306.
- Ahvenainen, R. et al. 1998. factors affecting the quality retention of minimally processed carrot.COST 94 Post harvest treatment of fruits and vegetables: Current status and future prospects. Proceedings of the Sixth International Symposium of the European Concerted Action Program.Oosterbek, 19-22 Octubre 1994. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburgo. pp. 41-47.
- Ahvenainen, R. 2000. Capítulo 16. Minimal Processing of Fresh Produce. En S. S. Alzamora. *Minimally Processed Fruits and Vegetables. Fundamentals Aspects and Applications*. Aspen Publishers, Inc., USA. pp. 277-289.
- Anónimo, 1991. Sulphites banned. Food Ingredients Process. (11) : 11.
- Arritt, F. M., Eifert, J.D., Jahncke, M. L., Pierson, M. D. y Williams, R.C. 2007. Effects of Modified Atmosphere Packaging on Toxin Production by *Clostridium botulinum* in Raw Aquacultured Summer

- Flounder Fillets (*Paralichthys dentatus*). *Journal of Food Protection*. 70(5): 1159-1164.
- Avery, S. 1994. Food Technol. 24(1):16.
- Berrang, M.E., Brackett, R. y Beuchat, L. 1989. Growth of *Aeromonas hydrophila* on fresh vegetables stored under a controlled atmosphere. *Applied and Environmental Microbiology*. 55(9): 2167-2171.
- Berrang, M.E., Brackett, R.E., y Beuchat, L.R. 1990. Microbial, color and textural qualities of fresh asparagus, broccoli and cauliflower stored under controlled atmosphere. *Journal of Food Protection*. 53 (5): 391-395.
- Bolin, H. R., Stafford, A. E., King, A. D., y Huxsoll, C. C. 1977. Factors affecting the storage stability of shredded lettuce. *Journal of Food Science*. 42(5):1319-1321.
- Ballantyne, A., Stark, R., y Selman, J. D. 1988. Modified atmosphere packaging of shredded lettuce. *Journal of Food Science and Technology*. 23 (3):267-274.
- Beuchat, L.R., y Brackett, R. 1990. Survival and growth of *Listeria monocytogenes* on lettuce as influenced by shredding, chlorine treatment, modified atmosphere packaging and temperature. *Jounal of Food Science*. 55 (3):755-758.
- Brackett, R. E. 1987. Microbiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. *Journal of Food Quality*. 10:195-206.
- Brocklehurst, T.F., Zaman-Wong, C. M., y Lund, B. M. 1987. A note on the microbiology of retail packs of prepared salad vegetables. *Journal of Applied Bacteriology*. 63(5):409-415.
- Corlett, D. A. 1989. Refrigerated foods and use of hazard analysis and critical control point principles. *Food Technology*. 42:91.
- Church, N. 1993. Meat Products. En R. T. Parry (Ed). *Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Food*. London. Blackie Academic & Professional, Glasgow. pp. 229-268.
- Church, N. 1994. Developments in modified-atmosphere packaging and related technologies. *Trends in Food Science & Technology*. 5:345-352.
- Church, I. J., y Parsons, A. L. 1995. Modified Atmosphere Packaging Technology: A Review. *Journal of Science in Food Agriculture*. 67:143-152.
- Daniels, J. A., Krishnamurthi, R., y Rizvi, S. S. H. 1985. A review of effects of carbon dioxide on microbial growth and food quality. *Journal of Food Protection*. 48:532-537.
- Davies, A. R. 1995. Capítulo 14. Advances in modified-atmosphere packaging. En G. W. Gould (Ed). *New Methods of Food Preservation*. Blackie Academic & Professional. p. 304.
- Davis, H.K. 1993. Fish. En R. T. Parry. *Principles and Applications of Modified Atmospheres Packaging of Food*. Blackie Academic & Professional, Glasgow. Pp.229-268.
- Day, B. P. F. 1992. *Guidelines for the Good Manufacturing and Handling of Modified Atmosphere Packed Food Products*. Campden Food and Drink Research Association. Chipping Campden, UK.
- Day, B. P. F. 1993. Fruit and vegetables. En R. T. Parry (Ed). *Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Food*. Blackie, Glasglow, UK. pp.114-133.
- Dixon, N. M., y Kell, D. B. 1989. The inhibition by CO₂ of the growth and metabolism of microorganisms. *Journal fo Applied Bacteriology*. 67:109-136.
- Doods, K.L. 1995. Capítulo 1. Introducción. En M. J. Faber y K. L. Dodds. (Eds). *Principles of Modified-atmosphere and sous vide product packaging*. pp.1-11 .
- Exama, A., Arul, J., Lencki, R. W., Lee, L. Z. y Toupin, C. 1993. Suitability of plastic films for modified atmosphere packaging of fruit and vegetables. *Journal of Food Science*. 58(6):1365-1370.
- Farber, J. M. 1991. Microbiological aspects of modified-atmosphere packaging - a review. *Journal of Food Protection*. 54:58-70.
- Gill, C. O., y Penney, N. 1988. The effect of the initial gas volume to meat weight ratio on the storage life of chilled beef packaged under carbon dioxide. *Meat Science*. 22:53-63.
- Globalspec. 2007. *Semi-automatic map tray sealer & cup sealer*. En http://www.globalspec.com/FeaturedProducts/Detail/PACMachineryGroup/SEMIAUTOMATICMAP_TRAY_SEALER_CUP_SEALER_15299/0 Accesada 02/11/07.
- Goodburn, K. E., y Halligan, A. C. 1988. *Modified Atmosphere Packaging: A Technology Guide*. Leatherhead Food RA, Leatherhead, UK.
- Greengrass, J. 1993. Films for MAP of foods. En R. T. Parry. *Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Food*. Blackie Academic & Professional, Glasgow.
- Hintlian, C. B., y Hotchkiss, J. H. 1986. The safety of modified atmosphere packaging: A Review. *Food Technology*. 39(12):70-76.
- Hood, D. E., y Riordan, E. B. 1973. Discolouration in pre-packaged beef: measurement of reflectance spectrophotometry and shopper discrimination. *Journal of Food Technollogy*. 8:333-343.

- Hotchkiss, J. 1988. Experimental approaches to determining the safety of food packaged in modified atmospheres. *Food Technology*. 42(9): 55, 60-62, 64.
- Hotchkiss, J. H., y Banco M. J. 1992. Influence of new packaging technologies on the growth of microorganisms in produce. *Journal of Food Protection*. 55(10): 815-820.
- Hotchkiss, J. H., Banco, M. L., Busta, F. F., Genigeorgis, C. A., Kociba, R., Rheume, L., Smoot, L. A., Schuman, J. D., y Sugiyama, H. 1992. The relationship between botulinal toxin production and spoilage of fresh tomatoes held at 13 and 23°C under passively modified and controlled atmospheres and air. *Journal of Food Protection*. 55 (7):522-527.
- Hurst, W. C., y Schuler, G. A. 1992. Fresh produce processing: An industry perspective". *Journal of Food Protection*. 55(10): 824-827.
- Inns, R. 1987. Modified atmosphere packaging. En F. A. Paine (Ed). *Modern Processing, Packaging and Distribution Systems for Food*. Blackie, London, UK. pp.36-51.
- Kader, A. A. 1986. Biochemical and physiological bases for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technology*. 39(5):99-104.
- Kader, A. A., Arul, J., Lencki, R. W., Lee, L. Z., y Toupin, C. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables (Crítica). *Food Science and Nutrition*. 28(1):1-30.
- Keijbets, M. 1988. Vacuum and gas packaging of peeled fresh potatoes. *Voedingsmiddelen technologie*. 21(7):61-70.
- Lambert, A. D., Smith, J. P., y Dodds, K. L. 1991. Effect of headspace carbon dioxide concentration on toxin production by *Clostridium botulinum* in MAP, irradiated fresh pork. *Journal of Food Protection*. 54:588-592.
- Lee, D. S., Chumg, S. K., y Yam, K. L. 1992. Carotenoid loss in dried red pepper products. *International Journal of Food Science and Technology*. 27:179-185.
- Lopez-Briones, G., Varoquaux, P., Bureau, G., y Pascat, B. 1993. Modified atmosphere packaging of common mushroom. *International Journal of Food Science and Technology*. 28(1):57-68.
- Malizio, C. J., y Johnson, E. A. 1991. Evaluation of the botulism hazard from vacuum-packaged Enoki mushrooms (*Flammulina velutipes*). *Journal of Food Protection*. 54:20-21, 27.
- Madden, J. M. 1992. Microbial pathogens in fresh produce: The regulatory perspective. *Journal of Food Protection*. 55(10):821-823.
- Molin, G. 2000. Capítulo 10. Modified Atmospheres. En B. M. Lund, T. C. Baird-Parker y G. W. Gould (Eds). Vol. 1. *The Microbiological Safety and Quality of Food*. Aspen Publishers, Inc. USA. pp. 214-234.
- M-TEK.2007. News. En <http://www.mtekcorp.com/news.htm> Accesada 02/11/07.
- O'Beirne, D. 1988. Modified atmosphere packaging of ready to use potato and apple slices. *Journal of Food Science and Technology*. 12: 94-95.
- O'Beirne, D. 1990. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. En T. Gormley (Ed). *Chilled Foods: The State of the art*. Elsevier Applied Science. Barking, UK. Pp. 183-199.
- O'Beirne, D., y Ballantyne, A. 1987. Some effects of modified atmosphere packaging and vacuum packaging in combination with antioxidants on quality and storage life of chilled potato strips. *Journal of Food Science and Technology*. 22:515-523.
- Parry, R. T. 1993. *Principles and Applications of Modified Atmospheres Packaging of Food*. Blackie Academic & Professional, Glasgow.
- Phillips, C. A. 1996. Review: Modified atmosphere packaging and its effects on the microbiological quality and safety of produce. *International Journal of Food Science and Technology*. 31:463-479.
- PFM Group. s/a. *Horizontal flow pack machine*. En http://www.pfm.it/pages_282.html. Accesada 02/11/07.
- Powrie, W. D., y Skura, B. J. 1991. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. En B. Ooraikul., y M.E.Stiles (Eds). *Modified Atmosphere Packaging of Food*. Ellis Horwood, Chichester, UK. pp.169-245.
- Reddy, N. R., Armstrong, D. J., Rhodehamel, E. J., y Kautter, D. A. 1992. Shelf-life extension and safety concerns about fresh fishery products packaged under modified atmospheres: a Review. *Journal of Food Safety*. 12(2): 87-118.
- Renault, P., Houal, L., Jacqmin, G., y Chambroy, Y. 1994. Gas exchange in modified atmosphere packaging: experimental results with strawberries. *International Journal of Food Science and Technology*. 29(4):379-394.
- Rizvi, S. S. H. 1981. Requirements for foods packaged in polymeric films. *Crit. Food Science and Nutrition*. 14:111-134.
- Rogers, C. E. 1985. Capítulo 2. Permeation of gases and vapor in polymers. En J. Comyn. *Polymers permeability*. Elsevier Applied Science Publishers. pp. 11.
- Saddik, M. F., El-Sherbeeny, M. R., y Bryan, F. L. 1985. Microbiological profiles of Egyptian raw vegetable salads. *Journal of Food protection*. 48:883-886.

- Sizmur, K., y Walker, C. W. 1988. *Listeria* in prepacked salads. *Lancet.* 1(8595-1167) p.1988.
- Stammen, K. et al. 1990. Modified atmosphere packaging of seafood. *Crit. Food Science and Nutrition.* 29: 301-331.
- Stewart, R. F., Mohr, J. M., Budd, E. A., Phan, L. X., y Arul, J. 1992. Temperature compensating films for modified atmosphere packaging of fresh produce. *Package Alimentary'92.* Session C-1.June 1992. Chicago, IL.
- Swanson, B. G. 1995. Selection of Packaging Materials for Minimally Processed Foods : Safety Considerations. En D. Torreggiani., G. V. Barbosa-Canovas., y J. Welti-Chanes (Eds). *Food Preservation by Moisture Control. Fundamentals and Applications. Isopow Practicum II.* Technomic Publishing Co. USA. pp.807-819.
- Thatcher. 1962. *Journal of Applied Bacteriology.* 25:120-124.
- Watada, A. E., Abe, K., y Yamuchi, N. 1990. Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. *Food Technology.* 43(5):116-122.
- Wiley, R. C. 1994. *Minimally Processed Refrigerated fruits and Vegetables.* Chapman & Hall, New York.
- Wolfe, S. 1980. Use of CO and CO₂ enriched atmospheres for meats, fish and produce. *Food Technology.* 34(3):55-58,63.
- Yang, T. C. S. 1995. The use of films as suitable packaging materials for minimally processed foods-A Review. En D. Torreggiani., G. V. Barbosa-Canovas., y J. Welti-Chanes (Eds). *Food Preservation by Moisture Control. Fundamentals and Applications. Isopow Practicum II.* Technomic Publishing Co. EE.UU. pp. 831-848.
- Zagory, D., y Kader, A. A. 1988. Modified atmosphere packaging of fresh produce. *Food Technology.* 41(9):70-77.



Aspectos tecnológicos de la congelación en alimentos

A. I. Gómez-Sánchez; T. G. Cerón-Carrillo; V. Rodríguez-Martínez; M. M. Vázquez-Aguilar.

Departamento de Ingeniería Química y de Alimentos, Universidad de las Américas-Puebla, Cholula, Pue., México.

Resumen

La congelación como método de conservación de alimentos, es una tecnología aplicada a frutas, hortalizas, productos cárnicos, del mar, preparados y lácteos, entre otros. En este documento, se presenta una revisión de su uso, así como los métodos para el cálculo de los tiempos de congelación, los factores que influyen en el cálculo de estos tiempos y las variables que afectan la congelación de los alimentos. Es bien conocido que este método de conservación puede afectar las características organolépticas y por consiguiente la calidad de los productos alimenticios. Es por ello que se deben de evaluar las características de los alimentos y las condiciones de los sistemas de congelación que se van a aplicar a alimentos. Entre las variable que se revisan en este documento se encuentran los tratamientos aplicados a los alimentos previos al proceso de congelación, las condiciones recomendadas para la congelación de alimentos, el empaque y almacenamiento; así como la composición del sistema alimenticio.

Palabras clave: Nucleación, IQF, pretratamientos, condiciones de congelación.

Abstract

Freezing as a method of food preservation, is a technology apply to fruit, vegetables, meat products, seafood, prepared products and dairy products, among others. This paper presents a review of the applications of freezing technology, the methods for calculating freezing times, the factors that influence the calculation of those times and the variables that affect the food freezing. It is well known that this method of preservation can affect the organoleptic characteristics and hence the quality of foodstuffs. For that reason its necessary to assess the characteristics of the food and conditions of freezing systems to be applied to food freezing. Among the variable that are reviewed in this paper are the treatments applied to food before undergoing freezing, the recommended conditions for food freezing, conditions of packing and storage, as well as the composition of the food system.

Keywords: Nucleation, IQF, pretreatments, freezing conditions.

Introducción

La preservación de alimentos por congelación ocurre por diversos

mecanismos, la reducción de la temperatura por debajo de los 0°C

favorece la reducción significativa tanto la velocidad de crecimiento de microorganismos, como el correspondiente deterioro de los productos por la actividad de éstos. Además la disminución de la temperatura, ocasiona la reducción de la actividad enzimática y de las reacciones oxidativas, debido a la formación de cristales de hielo que modifican la disponibilidad del agua y evitan que se favorezcan las reacciones deteriorativas (Singh y Heldman, 2001).

Por consecuencia, el empleo de congelación como método de conservación, generalmente resulta en el incremento de la calidad de los productos; sin embargo, dicha calidad se ve influenciada por el proceso de congelación y las condiciones de almacenamiento. La velocidad y el tiempo de congelación son factores importantes que determinan la calidad final del producto. Para algunos productos, la congelación rápida es requerida para asegurar la formación de cristales pequeños en la estructura del producto y con ello minimizar el daño a la textura. En otros productos que no requieren cuidado de la textura, no se justifica el gasto de una congelación rápida. Sin embargo, existen productos que por su configuración geométrica y tamaño no es posible que se les aplique una congelación rápida. Las condiciones de almacenamiento influyen de gran manera a la calidad de los productos congelados, debido a que si durante esta etapa no hay un adecuado manejo y control de la temperatura, se puede presentar el defecto de recristalización, provocando pérdidas de calidad y modificación de la estructura del producto (Welti-Chanes, 2007).

Revisión Bibliográfica

Generalidades

Los alimentos son sometidos comercialmente a tratamientos de conservación empleando bajas temperaturas (-10 °C ó inferiores) cuando se desea preservar su calidad, obtener una estructura y consistencia especial (por ejemplo, helado y yogurt congelado), ó para llevar a cabo determinados procesos de producción (Lund, 2000). A pesar de la creciente investigación y desarrollo de métodos de conservación, la congelación sigue siendo el proceso más utilizado (Rahman y Vélez – Ruiz, 2007).

La efectividad de éste método se relaciona con la disminución de la actividad fisicoquímica y bioquímica del alimento, la disminución de las reacciones enzimáticas y no enzimáticas, además de que a temperaturas por debajo de los -18°C el crecimiento microbiano se ve detenido (George, 1993; Moharram y Rofael, 1993).

El proceso de congelación consiste de diferentes etapas:

a) Sub-enfriamiento. Se debe de pasar una barrera energética antes de que ocurra el proceso de cristalización como punto inicial de congelación (Franks, 1985). El proceso de sub-enfriamiento se observa cuando se retira calor sensible por debajo de 0 °C sin cambio de fase, resultando en un estado termodinámico inestable que inicia la formación de agregados submicroscópicos de agua llegando a una interface conveniente que es necesaria para la transformación de líquido a sólido. El grado de subenfriamiento está dictaminado por el inicio de la nucleación. Sin embargo, cuando no hay una interface

estable, no se inicia la separación de fases ya que las moléculas de líquido no son capaces de alinearse por sí mismas (Reid, 1993).

b) Nucleación. La nucleación se define como el agrupamiento de átomos en fase líquida en un núcleo estable pequeño. Para un grupo de radio r , el proceso está gobernado por la energía libre de formación acompañada por una condensación líquido-sólido ($\Delta G_{l \rightarrow s}$), y esta dada por la ecuación 1

$$\Delta G_{l \rightarrow s} = \frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v + 4\pi r^2 \gamma \quad (1)$$

donde r es el radio de la partícula ΔG_v es la diferencia de energía libre entre la fase sólida y la acuosa, γ es la energía libre interfacial por unidad de área entre el hielo y la fase sin congelar (Franks, 1982).

De manera termodinámica, la agrupación de partículas a temperaturas por debajo del punto de fusión inicial no es favorable debido a que la relación entre la superficie y el volumen de los nucleos es muy grande y por lo tanto la energía interfacial con el líquido se vuelve una barrera (Sahagian y Goff, 1996).

El proceso de nucleación se divide en:

Nucleación homogénea. Las fluctuaciones de densidad en la fase líquida resultan en la formación de un núcleo en un patrón tridimensional puro. Se da en sistemas puros en ausencia de impurezas o cualquier tipo de sustancia que ayude a la nucleación. La probabilidad de que se dé este tipo de nucleación en agua a 0 °C es cercana a cero, sin embargo, al disminuir la temperatura la probabilidad de que el núcleo llegue a un

tamaño crítico incrementa y alcanza 1 cerca de -40 °C (Franks, 1982; Reid, 1983; Franks, 1985).

Un parámetro importante que se toma en cuenta al estudiar la nucleación del hielo, es la velocidad a la cual el núcleo aparece por volumen por unidad de tiempo. La relación generalizada se establece por medio de la ecuación 2.

$$J(T) = A * \exp(B\theta) \quad (2)$$

donde $J(T)$ es la velocidad de nucleación a temperatura T , A y B son constantes que representan los parámetros físicos del hielo y el agua, y θ describe la dependencia de temperatura, $((\Delta T)^2 T^3)^{-1}$, donde ΔT es el grado de sub-enfriamiento y T es la temperatura absoluta. Se observa que al incrementar ΔT , existe un punto característico del sistema donde la velocidad de nucleación se incrementa rápidamente (Franks, 1984; Franks, 1987).

Nucleación heterogénea. Este tipo de nucleación es el más importante en el proceso de congelación de alimentos. Ocurre cuando las moléculas de agua se ensamblan en un agente de nucleación como las paredes del contenedor donde se encuentra, en cuerpos extraños o en material insoluble (Welti-Chanes, 2007). La congelación de agua debido a este tipo de nucleación se lleva a cabo en temperaturas más altas, ya que las partículas tienden a incrementar la estabilidad de la agrupación facilitando el proceso. Esto se traduce en una reducción de la energía de activación a cualquier temperatura y sugiere que es controlado por algún mecanismo catalizador (McBride, 1992).

c) Propagación de cristales de hielo. Una vez que se inicia la nucleación y el

crecimiento de cristales, las moléculas de agua se mueven rápidamente para alcanzar la estabilidad termodinámica como hielo hexagonal, el cual es el arreglo estructural favorecido energéticamente (Hobbs, 1974). El crecimiento de los cristales ocurre cuando el número de moléculas de agua se difunden a través de la interfase y la orientación hacia un sitio de crecimiento es mayor que el número de moléculas desviadas. El mecanismo y la velocidad de crecimiento de cristales dependen de la concentración y de la morfología de la superficie. Los mecanismos incluidos en el desarrollo de la morfología de los cristales durante la congelación son complejos y se ven afectados por diversos factores (Fennema, 1973).

También es fuertemente afectado por variables termodinámicas, (propiedades de transferencia de calor), variables cinéticas (propiedades de transferencia de masa) y variables propias del alimento (ej., composición y tamaño). La modificación de éstas variables puede conducir a grandes cambios en la distribución del hielo y por consecuencia en la calidad del producto (Sahagian y Goff, 1996).

Congelación rápida individual (IQF)

La calidad de diferentes alimentos congelados se pude mejorar por un cambio rápido de temperatura y por formación de cristales de hielo pequeños en la estructura del producto. Este concepto involucra la exposición del producto a bajas temperaturas por un periodo de tiempo corto. En muchos casos, la velocidad de congelación se incrementa por medio de un contacto íntimo entre el producto y el refrigerante.

En los alimentos de congelación rápida la zona de máxima cristalización se

alcanza y supera lo más rápido posible, el tiempo depende del tipo de producto (SI, 1990), y se mantienen a temperaturas de -18 °C ó inferiores con las mínimas fluctuaciones (Lund, 2000). Es recomendable almacenar estos productos a temperaturas de -18 °C ó inferiores, y no superiores nunca los -12 °C (SI, 1990; CAC, 1994).

Estimación del tiempo de congelación

Uno de los factores principales a considerar en el diseño y operación de un sistema de congelación es el tiempo de congelación. Cuando se considera el sistema de congelación, el tiempo requerido para el congelado establecerá la velocidad de movimiento del producto a través del sistema y por lo tanto la eficacia del sistema (Welti-Chanes, 2007).

La calidad del producto congelado será directamente dependiente de la velocidad a la cual se remueve el calor latente de fusión y por lo tanto la velocidad la cual se mantienen los cristales pequeños de hielo. Debido a la importancia del tiempo de congelación, es importante desarrollar métodos para estimar estos tiempos tan exactos como sea posible (Heldman y Hartel, 1997).

Factores que influyen sobre el tiempo de congelación

Los factores que influyen en el tiempo de congelación de productos alimenticios se deben principalmente a las características del alimento y las condiciones del equipo en el cual se va a llevar a cabo el proceso. Referente al alimento, es necesario conocer su conductividad térmica, sus dimensiones y su temperatura inicial. De las condiciones del equipo, se debe de considerar el

coeficiente convectivo de transferencia de calor, el medio de congelación y la temperatura a la cual se encuentra éste (Heldman y Hartel, 1997).

La aproximación para estimar el tiempo de congelación, usa la ecuación de Planck (ec. 3), la cual fue desarrollada para sistemas ideales

$$t_f = \frac{\lambda\rho}{T_F - T_M} \left[\frac{PL}{h} + \frac{RL^2}{k} \right] \quad (3)$$

donde ρ es la densidad del producto congelado, λ es el calor latente de fusión, h es el coeficiente convectivo de transferencia de calor, k es la conductividad térmica del producto congelado, P y R son las constantes dependiendo de las dimensiones y forma del producto, L es el espesor del producto (o la dimensión horizontal del mismo), T_M es la temperatura del medio de congelación y T_F es la temperatura inicial del producto.

Los valores para tres formas de productos más comunes son el plato infinito, el cilindro infinito y la esfera, y estos se presentan en la tabla I, se puede observar que productos con una forma más esférica, tendrán menores tiempos de congelación que los productos con una forma cilíndrica; y los productos con forma cilíndrica tendrán valores de tiempo

de congelación más bajos que los productos con forma de placa.

El espesor del producto (L) tiene un influencia directa sobre el tiempo de congelación (t_f). Al incrementar el espesor el tiempo de congelación incrementa. Por otra parte, el gradiente de temperatura ($T_F - T_M$) se encuentra indirectamente relacionado al tiempo de congelación. A su vez, si el gradiente de temperatura incrementa, el tiempo de congelación disminuye. Otro factor que tiene una relación inversa al tiempo de congelación es el coeficiente convectivo de transferencia de calor (h), debido que al incrementar éste en la superficie del producto, el tiempo de congelación decrece. En la tabla II se muestran las magnitudes del coeficiente convectivo de calor para diversos tipos de sistemas de congelación, el cual puede variar en un factor mayor a 100. Estas diferencias tienen una gran influencia en el tiempo de congelación, si se tiene altos valores de este coeficiente el tiempo del proceso disminuye (Heldman y Hartel, 1997).

Tabla I. Valores de las constantes de la ecuación de Plank

Forma	P	R
Placa infinita	1/2	1/8
Cilindro infinito	1/4	1/16
Esfera	1/6	1/24

Heldman y Hartel, 1997

La conductividad térmica del producto congelado, es otro factor que influye en el tiempo de congelación, este valor es inversamente proporcional al tiempo, en la tabla III se muestran valores de conductividad, calor específico y calor latente para algunos productos alimenticios. Para la mayoría de los productos la conductividad térmica se acercará a los valores de conductividad térmica para el hielo y por lo tanto, su

Existen cambios en la calidad de los productos cuando son sometidos a procesos de congelación. Por ejemplo, un producto sin congelar tendrá 70% de agua y 30% de sólidos totales a cualquier temperatura por encima de la temperatura inicial para la cristalización de hielo. Sin embargo, con un cambio de temperatura

Tabla III. Propiedades termofísicas de algunos alimentos ^a

Alimento	k (W/m K)	Cp (kJ/kg K)		Calor latente de fusión (kJ/kg)
		Arriva de T fusión	Debajo de T fusión	
Manzanas	0.513 (antes de congelar, agua 84.9%)	3.65	1.90	281
Plátanos	0.481 (antes de congelar, agua 75.7%)	3.35	1.78	251
Pollo		3.32	1.77	247
Helado	0.460 (antes de congelar, a 0°C)	2.95	1.63	210
Lecha (entera)	0.473 (antes de congelar, agua 87.0%)	3.79	1.95	294
Naranjas	0.580 (antes de congelar, agua 85.9%)	3.75	1.94	291
Camarones	0.490 (antes de congelar, agua 75.3%, grasa 1.2%)	3.62	1.89	277
Fresas	0.462 (antes de congelar/1.125 a -15.5°C)	3.86	1.97	301
Tomato (maduro)	0.571 (antes de congelar, agua 92.3%)	3.99	2.02	314
Pavo	0.343 (antes de congelar, agua 92.8%, grasa 12.4%) 1.437 (agua 92.8%, grasa 12.4%, a -9.4°C) 1.627 (agua 92.8%, grasa 12.4%, a -23.3°C)	2.98	1.65	214
Sandía	0.571 (antes de congelar, agua 92.8%)	3.96	2.01	311
Aqua	0.594 (antes de congelar a 0°C)	4.23 (a 0°C)	2.01	334

^a Rahman y Vélez-Ruiz, 2007**Tabla II.** Coeficientes convencitivos de transferencias de calor durante la congelación

Condición	Coeficiente de transferencia de calor (W/m ² K)
Circulación natural	5
Chorro de aire	22
Congelación por contacto de placas	56
Circulación lenta en salmuera	56
Circulación rápida en salmuera	85
varia	
Nitrógeno líquido	
Lado lento placas horizontales donde se expande el gas	170
Parte superior de las placas horizontales	425
Ebullición del líquido	568
ción	
Heldman y Singh, 1981	
no	
será significativa. El último factor que está relacionado con el tiempo de congelación son las constantes de forma (P y R) (Heldman y Hartel, 1997).	

El último factor que está relacionado con el tiempo de congelación son las constantes de forma (P y R) (Heldman y Hartel, 1997).

Congelado y calidad de productos

de 5 ° por debajo de la temperatura inicial de congelación, un producto podría tener 30% de agua sin congelar, 40% de agua

congelada o hielo y el mismo 30% de sólidos totales. Este cambio se presenta de manera gradual y por cada grado de

cambio de temperatura, habrá cambios en la composición del producto.

Al disminuir la temperatura, el porcentaje de hielo incrementará en oposición al agua sin congelar. A una temperatura mucho menor que la inicial a la de congelación, una pequeña fracción de agua permanecerá en el estado líquido y será agua no congelandeble (Heldman y Hartel, 1997).

Muchos atributos de calidad se encuentran influenciados por la velocidad de congelación. Si el cambio de temperatura entre la temperatura inicial de congelación y 5 grados por debajo de esta es rápido, los cristales de hielo formados en la estructura del producto serán pequeños. Por otro lado, si se reduce la temperatura con una velocidad más lenta, los cristales de hielo serán más grandes. El atributo de calidad que más se ve afectado por los cambios de temperatura, es la textura, especialmente en productos donde el agua se encuentra contenida en la estructura celular, en estos casos, la formación de cristales grandes puede romper las paredes celulares y producir pérdidas de la estructura del producto que no se recuperarán al descongelarlos (Heldman y Hartel, 1997)

Almacenamiento de alimentos congelados

Aunque los cambios en la calidad disminuyen conforme disminuye la temperatura, mantener la calidad es costoso. En los sistemas de congelación con gran capacidad es necesario disminuir

las temperaturas del producto durante el proceso de congelación. Temperaturas más altas en el almacenamiento de alimentos congelados se deben evitar debido a la sensibilidad de los alimentos a la temperatura inicial de congelación. Existen diferentes tipos de cambios en calidad que pueden ocurrir durante el congelado de alimentos. Las temperaturas por debajo de la inicial de congelación no eliminan la oportunidad para la actividad microbiana. Sin embargo, el crecimiento de la mayoría de microorganismos es despreciable a -18 °C.

Una segunda categoría de cambios relacionados a la calidad del producto incluye reacciones bioquímicas que pueden ocurrir durante el almacenamiento de alimentos congelados, pero a velocidades bajas siempre y cuando la temperatura sea mantenida a -18 °C o menores. Otro cambio asociado a la calidad de alimentos está relacionado con las enzimas. Las reacciones enzimáticas ocurrirán a temperaturas de congelación típicas, pero a velocidades más bajas (Heldman y Hartel, 1997).

Existe poca información acerca del tiempo de almacenamiento de alimentos congelados, en la tabla IV se presenta información aproximada referente a este tema (Lund, 2000).

La información anterior muestra que en general, los alimentos que presentan menor tiempo de vida son: mariscos, helado y pan; por el contrario, los alimentos de mayor duración son: frutas,

Tabla IV. Tiempor de vida en almacenamiento congelado para diversos alimentos, a -18 °C y -24°C.^a

Grupo de alimentos	Vida de almacenamiento (meses)	Vida de almacenamiento (meses)
	a -18°C	a -24°C
Frutas	18 - 24	> 24
Hortalizas	6 - 24	15 -> 24
Carnes y aves	10 - 24	15 -> 24
Mariscos	5 - 9	9 -> 12
Crema y mantequilla	12 -> 24	14 -> 24
Helado	6	24
Pasteles y masa para panadería	12 - 15	18 - 24
Pan	3	-

hotarlizas, carnes y aves.

Los alimentos congelados se caracterizan por su seguridad y calidad. La temperatura mínima de crecimiento de la mayoría de las bacterias causantes de deterioro en carnes y otros alimentos es, para propósitos de índole práctico es de -2 °C a -3 °C; así mismo, la temperatura mínima de crecimiento para mohos es aproximadamente de -8 °C. Sin embargo, muchos microorganismos pueden sobrevivir en alimentos congelados, se han reportado casos de enfermedades por el consumo de helado y otros alimentos congelados (Lund, 2000).

Aplicaciones

1. Congelación de Frutas

La influencia de la congelación, almacenamiento congelado y descongelado sobre la calidad de los productos ha sido investigado extensamente por varias décadas. La congelación de frutas constituye un proceso de conservación importante, debido a que pueden ser transportadas a mercados remotos o pueden ser almacenadas para la manufactura de jaleas, jugos y jarabes (Skrede, 1996).

La mayoría de las frutas son suaves en textura incluso antes del congelado y descongelado, sin embargo la congelación tiende a alterar la estructura y destruir la turgencia de las células vivas en los tejidos. Los métodos de preparación para

frutas que se van a congelar se ven influenciados por la fragilidad de tejidos de frutas y deberán de ser escogidos cuidadosamente, a diferencia de las hortalizas donde fibras permiten mantener la estructura después del congelado. Regularmente entre los pretratamientos se encuentran: el lavado, el pelado, el rebanado o cortado, el escaldado, también están el procesado de la fruta (generación de jugos o néctares) y el empacado (Skrede, 1996).

Para establecer las condiciones de congelación es necesario considerar las velocidades del proceso de congelación, con la finalidad de minimizar la ruptura de la pared celular (tabla V), ya que se tiene como objetivo disminuir las pérdidas de calidad, causadas por las diferentes velocidades de congelación a las que pueden ser sometidos los alimentos, así, se deberá elegir la velocidad y condiciones más adecuadas para el producto en cuestión (Skrede, 1996).

El empacado de frutas es utilizado para excluir el aire desde el tejido de la fruta. El reemplazo del oxígeno por azúcares o gas inerte, los cuales consumen el oxígeno por la glucosa-oxidasa y/o el uso de vacío y de películas impermeables al oxígeno para prevenir y retardar el oscurecimiento y otros cambios de color. Las frutas son empacadas en bolsas de plástico, botes de plástico, bolsas de papel, latas o en bolsas de polietileno (Gradziel, 1988; Venning et al., 1989).

2. Congelación de Hotarlizas

Tabla V. Condiciones de congelación para algunas frutas

Producto	Condiciones de congelación		Observaciones	Referencias
	Medio	Temperatura (°C)		
Fresas	Nitrógeno líquido	-20 y -30	Mejor textura y menor pérdida por goteo en periodo de almacenamiento de 6 a 12 meses	Holdsworth, 1970
Rebanadas de mango	Congelación profunda	-20	Buen pretratamiento al secado, al rehidratar el producto mejora la textura debido a que facilita la rehidratación del tejido	Ramamurty y Bongirvar, 1979
	Congeladores en placas	-40		
Manzanas y duraznos	Nitrógeno líquido	-196	Se encontró que una alta velocidad de secado en combinación con una rápida descongelación por microondas da como resultado una estructura más firme y minimiza el exudado de las frutas	Phan y Mimault, 1980
	Congelador en túnel	-20 (1h)		
	Congelación convencional	(13h)		

Las hortalizas congeladas son seguras y nutritivas en tanto se utilicen materiales crudos de alta calidad, se empleen Buenas Prácticas de Manufactura y los productos sean almacenados a temperaturas adecuadas. El congelado se considera como la forma más natural y simple para conservar las hortalizas, por lo que los

productos al alcance del consumidor son de alta calidad (Cano, 1996)

Para que la calidad de los productos congelados sea la óptima, se debe de considerar el estado de en el que se encuentre antes de someterse a cualquier pretratamiento, es por eso que las características del material crudo es el factor más importante relacionado a la calidad final del producto congelado, este factor está relacionado con la especie, producción de cultivo, maduración del cultivo, prácticas de cosecha, transporte y recepción en fábrica. El cultivo vegetal escogido para el proceso debe tener un excelente aroma y sabor, un color uniforme, textura deseable, madurez uniforme, debe ser resistente y con altos

rendimientos (Mazza, 1989). Si la cosecha se retrasa más allá del punto de madurez óptima, la calidad se deteriorará y el cultivo puede volverse inaceptable (Lee, 1989). Las prácticas de cosecha tienen un efecto profundo en la retención de calidad de vegetales congelados. Ocasionalmente, las hortalizas están sujetas a golpes y

ablandamiento durante la cosecha. Retrasos en la post-cosecha de los vegetales a ser procesados producen deterioración del sabor, textura, color y pérdida de nutrientes. Sin embargo, estos retrasos son inevitables y se usará refrigeración al momento de la cosecha, durante el transporte o al momento de recepción del producto en la planta procesadora (Lee, 1989).

El escaldado es una de las operaciones más importantes que preside a otros métodos como empacado, congelado y deshidratación. Es utilizado para prevenir reacciones enzimáticas durante el procesado. El término de escaldado se utiliza o se asocia a la destrucción de la actividad enzimática. El agua caliente para

el escaldado se lleva a temperaturas entre 75 y 95 °C y entre 1 a 10 minutos, dependiendo del tamaño de la pieza del vegetal. Las que se obtienen de este pretratamiento son la estabilización de la textura, color, sabor, aroma y calidad nutricional, destrucción de microorganismos, y el marchitado de hortalizas con hojas. Por otra parte, las desventajas son la perdida de parte de la textura, formación de sabor cocido, perdidas de sólidos solubles e impacto ambiental adverso (Williams et al., 1986)

Para la selección de empaque de éste tipo de productos se debe de buscar que: proteja al alimento del oxígeno atmosférico, de la perdida de humedad, de contaminación, entrada de microorganismos, daño mecánico y exposición a la luz. Además debe tener una alta tasa de transferencia de calor para que el congelado sea más rápido (Harrison y Croucher, 1993).

Durante el almacenamiento hay una perdida gradual y acumulativa de la calidad con respecto al tiempo (IIR, 1986). Las temperaturas de almacenamiento, las fluctuaciones de temperatura y los tiempos de almacén son los factores principales que afectan la calidad del producto y estos se conocen como factores TTT (tiempo-temperatura-tolerancia). La vida de anaquel de casi todos los alimentos congelados, hasta los vegetales, incrementa al disminuir las temperaturas de almacén al menos entre -25 a -40 °C.

Una temperatura de -18 °C es aceptada como el límite superior para el almacenamiento de la mayoría de los vegetales de una temporada a otra. En el caso de la mayoría de los vegetales, la vida de anaquel congelado puede exceder un año (IIR, 1986). Los vegetales más

frágiles como los champiñones y espárragos blancos, tienen una vida de menos de 1 año a -18 °C. Para la mayoría de los vegetales, si se requiere una extensión de vida de anaquel, se usará el escaldado (Katsabokakis, 1984).

A continuación (tabla VI) se presenta las condiciones de temperatura para almacenamiento de frutas y hortalizas, y la vida de anaquel que pueden alcanzar si son manejadas apropiadamente.

3. Congelación de Carnes.

La vida útil de la carne se incrementa considerablemente mediante el empleo de la congelación. La carne está compuesta de un grupo complejo de sustancias bioquímicas, incluyendo proteínas solubles y estructurales, grasas y electrolitos. La combinación de estas sustancias le imparte a la carne ciertas características que deben ser consideradas durante el almacenamiento congelado y la descongelación. Debido a ello, se debe monitorear el historial del producto antes de su congelación, para asegurar así obtener un producto deseable desde el punto de vista organoléptico, y con estabilidad química y microbiológica (Devine et al, 1996).

El factor biológico dominante que afecta la calidad de la carne es el glicógeno muscular (Bendall, 1973). Posterior a la matanza, el glicógeno muscular es convertido en ácido láctico, el cual causa la disminución gradual del pH muscular hasta el valor final alcanzado en el rigor mortis, determinado "pH final". El valor de este "pH final" para un animal que fue bien alimentado y sacrificado es aproximadamente 5.5. Si el animal presentó elevado stress previo a su sacrificio, el pH final es mayor a 6.0, lo

cual ocasiona que la carne sea obscura, firme y seca (Dutson,1981;Young,1993). A valores extremos de pH, la carne es suave, pero a valores intermedios ésta es dura (Purchas, 1990; Jeremiah, 1991; Devine et al., 1993; Purchas y Aungsupakorn, 1993).

El proceso de glicólisis puede ser acelerado a través del uso de estimulación eléctrica (Chrystall y Devine,1986). El efecto inmediato de la estimulación es la liberación de ácido láctico y disminución del pH del músculo debido a una contracción muscular intensa. Posteriormente, el pH continúa disminuyendo, ocasionando un inicio prematuro del rigor mortis. En ovejas, la estimulación eléctrica de alto voltaje produce el rigor mortis dentro de un período de 3 horas post-matanza. Es difícil generalizar y cuantificar los efectos de la estimulación debido a la amplia variedad de sistemas y rangos de longitudes de onda usadas, variando desde 14.3 pulsos/seg a 50 ó 60 Hz con intervalos de 1 seg. La estimulación eléctrica generalmente no es usada en carne de cerdo para evitar las altas temperaturas y las condiciones de bajo pH que causan que la carne sea pálida, suave y exudada (Devine et al,1996). Sin embargo, se puede usar ésta seguida de una rápida refrigeración (Taylor y Martoccia,1992).

Un proceso empleado antes de la congelación es el deshuesado en caliente, en este proceso, la carne es separada del hueso antes del rigor mortis. Estos procedimientos se aplican generalmente a carnes de res y puerco, pero también se pueden aplicar a carne de cordero (McLeod et al, 1973). La estimulación eléctrica y el siguiente enfriamiento controlado, pueden ser procedimientos

adjuntos al deshuesado en caliente (Van Laack,1989; Chrystall,1986).

En cuanto a la congelación, es simplemente la cristalización del hielo en el tejido muscular, e incluye los subsecuentes procesos de nucleación y crecimiento de cristales. Estos procesos son claves para los efectos en las velocidades de crecimiento y la calidad de la carne. Un concepto importante es el “tiempo de congelación característico”, el cual es una medida de la velocidad de congelación local, y se define como el tiempo durante el cual la temperatura disminuye desde -1 °C (inicio de la congelación) hasta -7°C (cuando 80% del agua es congelada). El crecimiento de cristales de hielo extracelulares ocurre a expensas del agua intracelular. Esto conduce a una deshidratación parcial de las fibras musculares y a una distorsión subsecuente. A tiempos elevados (congelación lenta), los cristales de hielo son mayores, y la distorsión del tejido es mayor.

El tipo de congelación que deberá ser usado depende de la velocidad de congelación requerida y de las características del producto. La cantidad de resistencia externa a la transferencia de calor en la congelación de carne varía desde la congelación en aire mediante convección natural (usando un coeficiente de transferencia de calor superficial de 2 a 5 W/m²K), hasta la congelación en aire por convección forzada (10 a 30 W/m²K), congelación por inmersión (>100 W/m²K), congelación criogénica (>1000 W/m²K), o congelación en placas (velocidad de transferencia de calor superficial infinita). De esta forma, se puede cambiar la velocidad de congelación mediante el cambio del método de congelación. El tamaño de los cortes de carne es una

característica dominante para la velocidad de congelación. Los animales pequeños tales como conejos, se congelan rápidamente. Suponiendo que el acortamiento por frío se evita, y la maduración de la carne es apropiada, los animales de éste tamaño se congelarían en forma similar a los cortes de carne con las mismas dimensiones. En los casos de res, cordero y puerco, las principales diferencias son en cuanto a tamaño, lo cual afecta el tratamiento post-matanza. Mientras que el cordero puede ser congelado en cortes enteros, las carnes de res y cerdo son generalmente deshuesadas en frío y colocadas en cajas antes de ser congeladas (Devine et al, 1996).

La congelación de carne descubierta en aire forzado puede causar pérdidas de peso significativas, por ello, puede ser necesario empacarla previamente a la refrigeración o a la congelación. Asimismo, se requiere el empacado para la carne congelada en un sistema de inmersión líquida para prevenir que el producto entre en contacto directo con el refrigerante secundario. En la congelación criogénica se puede evitar el empacado, ya que los refrigerantes pueden entrar en contacto directo con los alimentos. La congelación en placas puede ser realizada con o sin empacado, y los

beneficios del contacto directo entre la placa refrigerante y el alimento a congelar se reducen en caso del uso de empaques (Devine et al, 1996).

Durante el almacenamiento congelado, se presenta una adicional desnaturalización de proteínas, debida a una concentración de soluciones por la formación de cristales de hielo; una máxima desnaturalización ocurre a -3 °C en carne de res (Love, 1966). Asimismo, ocurre una re-crystalización del hielo, lo que provoca movimiento del agua, y consecuentemente, el crecimiento de cristales a expensas de los de pequeño tamaño ya presentes (Fennema, 1975). El almacenamiento de carne congelada generalmente ocurre a temperaturas inferiores a -18 °C (I.I.R., 1986). Sin embargo, es común que las temperaturas fluctúen por arriba de estos valores, ya sea dentro o fuera de la cámara de almacenamiento. Los cambios ambientales son frecuentes, y las superficies de los cortes de carne, o de los empaques, cambian su temperatura más rápido que las capas internas del producto. Las variaciones de temperatura son

posiblemente la principal causa de los cambios de calidad indeseables. Por ello,

Tabla VII Condiciones de almacenamiento para productos cárnicos
(Res, cerdo y ternera)

Producto	Tiempo de conservación (meses)	Temperatura (°C)
Carne de cerdo		
asada, chuletas	1	-15
picada	4 - 6	-18
ahumada	8 - 10	-23
Carne de vacuno	12 - 14	-29
filetes asados	6 - 8	-18
carne picada	3 - 4	-18
	5 - 7	-18
Carne de ternera, asada, chuletas	18 - 12	-18
Carne de ovino, asada, chuletas	18	-24
	12	-18
	4 - 8	-18
Herrman, 1977		

se debe mantener una cadena de frío con las mínimas variaciones de temperatura posibles (Devine et al, 1996).

Conclusiones

En las tablas VII, VIII y IX se muestran condiciones de almacenamiento congelado para carnes, aves y pescados.

Tabla VIII. Condiciones de almacenamiento para productos derivados de aves

Producto	Tiempo de conservación (meses)	Temperatura (°C)	Observaciones
Pollo sin envasar	1 a 1.5	-18	A las 4 semanas perdida de peso de 1 a 2 % y piel con aspecto decrepito
Pollo envasado	10 - 14	-20	Presencia de superficies picadas de viruela o afectadas por quemaduras
	8 - 10	0.9	
Pato	9	-18	No hay cambios en el sabor y aroma
	9 - 12	-23	
Ganso	Maximo 8	-18	Despues de 8 meses hay cambios en sabor y aroma
Pavos	6 - 8	-18/-20	
Aves asadas, a la parilla	2	-18	Ligeras variaciones en el sabor, se deben almacenar en atmosfera inerte

Lane, 1964

En la industria, la congelación es

utilizada para la conservación de

alimentos, para la obtención de un tipo de

estructura en particular y por último para

el proceso de fabricación de algunos

productos como el helado. Este proceso se

lleva a cabo por medio de tres pasos o

etapas; el subenfriamiento, la nucleación y

la propagación de cristales de hielo. Uno

de los parámetros más importantes en el

diseño de sistemas de congelación es el

tiempo de congelación, el cual se relaciona

con parámetros como el coeficiente

convectivo de transferencia de calor del

medio de enfriamiento; la conductividad

térmica, el espesor y la forma del

alimento, y las temperaturas tanto del

producto como del sistema de

enfriamiento, con la finalidad de obtener

los tiempos y velocidades de congelación

eficientes para los sistemas alimenticios.

Esta relación se da a través de la ecuación

de Planck. Por otra parte, el tamaño de

cristales es un factor muy importante en la

calidad de los productos alimenticios

conservados por esta tecnología, sin

embargo, también se relaciona con los

cambios o las fluctuaciones entre las

temperaturas, las reacciones enzimáticas y

la supervivencia de los microorganismos

en el sistema. El factor de mayor

relevancia para obtener las estructuras

deseadas es la velocidad de congelación,

debido a que la estructura de los alimentos

se ve modificada principalmente por este

parámetro, el cual modifica la nucleación

y crecimiento de cristales. Si se toma en

cuenta los factores citados y las

características de los alimentos, la calidad

de los alimentos congelados puede llegar a

ser la óptima o deseada, considerando que

durante las condiciones de

almacenamiento, manejo y transporte comercial la temperatura se mantenga

estable o sea la que el producto requiera, el alimento va a llegar al consumidor con la

Tabla IX. Condiciones de almacenamiento para pescados, sus derivados y otros productos de mar.

Especie de Pescado	Tiempo de conservación (meses)	Temperatura (°C)
Platija	7 - 12	-18
Trucha	9	-30
Merluza, filetes	6	-18
Halibut	12	-29
	9	-23
	6	-18
	7 - 12	-18
Arenque, glaseado	6 - 8	-29
	6 - 7	-20
	4 - 6	-18
Bacalao, Dorsch	9 - 10	-23
	8 - 9	-20
Filetes	6 - 8	-18
	9	-18
	6 - 12	-18
Carpas	5 - 9	-18
con 5 % de glaseado	4 - 5	-18
con 7 % de glaseado	8 - 10	-18
Caballa	4	-18
	4 - 6	-18
Abadejo	7 - 12	-18
Filetes	10	-18
Gallineta Nordica	6 - 8	-23
	12	-23
	5 - 9	-18
Filetes	6 a 8	-18
Filetes	10	-18
Eglefino	10	-23
Filetes	11 - 12	-18
	7 - 12	-18
Merlán	5 - 9	-18
Dedos de pescado fritos	8	-18
Camarones y quisquillas	7 - 12	-18
	6 - 9	-18
Cangrejos	12	-18
Cangrejo Dungeness	6	-23
Ostras	9	-29

Lane, 1964.

calidad que el industrial le haya otorgado.

Referencias

- Bendall, J. R. 1973. Post-morten changes in muscle. En: The Structure and Function of Muscle. Vol.11. Bourne, G.H. Academic Press. New York. Pp.244.
- Cano, P.M. 1996. Vegetables. En L. E. Jeremiah (Ed.). Freezing effects of food quality. Marcel & Dekker. Nueva York pp. 247-298.
- Chrystall, B.B. 1986. Hot processing in New Zealand. En: Proceedings International Symposium Meat Science & Technology, Lincoln, Nebraska. Franklin, K.R., H.R. Cross. National Live Stock and Meat Board. Chicago. Pp.211.
- Chrystall, B.B. y C.E. Devine. 1986. Electrical stimulation developments in New Zealand. Advances in Meat Research. Vol.1.
- Pearson, A.M., T.R. Dutson. AVI Publishing Westport, CT, Pp.73.
- Codex Alimentarius Comisión (CAC) 1994. Code of practice for the processing and handling of quick frozen foods (CAC/RCP 8-1976.). En *Processed and Quick Frozen Fruits and Vegetables*. Vol.5A. 2a.ed. Food and Agriculture Organization, Roma.
- Devine, C. E., Graham-Bell, R., Lovatt, S., Chrystall, B. B., y Jeremiah, L. E. 1996. Red meats. En L. E. Jeremiah (Ed). *Freezing Effects on Food Quality*. Marcel Dekker, Inc. USA. pp.51-84.
- Dutson, T.R. 1981. Electrical stimulation of antemortem stressed beef. En: The Problem of DarkCutting in Beef. Hood, D.E., P.V. Tarrant. Martinus Nijhoff Publishers. The Netherlands. Pp.253.
- Fennema, O.R. 1973. Nature of freezing process. En Fennema, O.R., Powrie, W.D., y Marth, E.H. (eds.). Low-Temperature Preservation of Foods and Living Matter. Marcel Dekker. Nueva York, EE.UU. p. 153. Citado en Sahagian M. E. y Goff, H. D. 1996. Fundamental aspects of the freezing process. En L. E. Jeremiah (Ed.) *Freezing effects on food quality*. Marcel Dekker, Inc. Nueva York, EE. UU.
- Fennema, O.R. 1975. Principles of Food Science Part II. En: Physical Principles of Food Preservation. Karel, M. et al. Marcel Dekker, New York. Pp.173.
- Franks, F. 1982. The properties of aqueous solutions at sub-zero temperatures. En Franks, F. (ed.). Water: A comprehensive treatise. Vol.7. Plenum Press, New York. p. 215-338. Citado en Sahagian M. E. y Goff, H. D. 1996. Fundamental aspects of the freezing process. En L. E. Jeremiah (Ed.) *Freezing effects on food quality*. Marcel Dekker, Inc. Nueva York, EE. UU.
- Franks, F. 1985. *Biophysics and biochemistry at low temperatures*. Cambridge University Press. Cambridge, EE. UU. p. 21. Citado en Sahagian M. E. y Goff, H. D. 1996. Fundamental aspects of the freezing process. En L. E. Jeremiah (Ed.) *Freezing effects on food quality*. Marcel Dekker, Inc. Nueva York, EE. UU.
- Franks, F. 1987. Nucleation: A maligned and misunderstood concept. Cryo-Letters 8 p. 53. Citado en Sahagian M. E. y Goff, H. D. 1996. Fundamental aspects of the freezing process. En L. E. Jeremiah (Ed.) *Freezing effects on food quality*. Marcel Dekker, Inc. Nueva York, EE. UU.
- Gradziel, P.H. 1988. The effects of frozen storage time, temperature and packaging on the quality of the tomato cultivars Pink-red and Nova. Diss Abstr. Int. B. 8 (9) p. 2609. Citado en G. Skrede. 1996. Fruits. En L.E. Jeremiah (ed.). *Freezing effects on food quality* Marcel Dekker, Inc. Nueva York, EE. UU. p. 183 – 245.
- George, R. M. 1993. Freezing processes used in the food industry. Trends Food Sci. Technol. 4:134. Citado en M. S. Rahman y J. F. Vélez – Ruiz, 2007 Food preservation by freezing. En M. S. Rahman. *Handbook of Food Preservation*. CRC Press. Nueva York, EE. UU
- Harrison, P., y Croucher, M. 1993. Packaging of frozen foods. En Mallet, C.P. (ed). *Frozen Food Technology*. Blackie Academic and Professional. Londres p. 59
- Heldman, D. R. y Hartel, R. W. 1997. *Principles of food processing. Freezing and frozen-food storage*. Chapman & Hall. Nueva York. pp. 113-137.
- Herrman, K. 1977. Alimentos congelados: Tecnología y Comercialización. Editorial Acribia. España p. 155.
- Hobbs, P.V. 1974. Ice physics. Clarendon Press. Oxford p. 461. do en Sahagian M. E. y Goff, H. D. 1996. Fundamental aspects of the freezing process. En L. E. Jeremiah (Ed.) *Freezing effects on food quality*. Marcel Dekker, Inc. Nueva York, EE. UU.
- Holdsworth, S.D. 1970. Fruit preservation developments reviewed. Food Manuf. 45(8) p. 74. Citado en G. Skrede. 1996. Fruits. En L.E.

- Jeremiah (ed.). *Freezing effects on food quality*. Marcel Dekker, Inc. Nueva York, EE. UU. p. 183 – 245.
- International Institute of Refrigeration (IIR). 1986. *Recommendations for the Processing and Handling of Frozen Foods*. 3a.ed. Paris.
- Jeremiah, L.E. 1991. The usefulness of muscle colour and pH for segregating beef carcasses into tenderness groups. *Meat.Sci.* (30):97.
- Katsabokakis, K.S. 1984. The influence of the degree of blanching on the quality of frozen vegetables. En Zeuthen, P., Cheftel. J.C., Eriksson, C., Jul, M., Leniger, H., Linko, P., Varela, G., y Vods, G. (eds.). elsevier Applied Science Publ. ondres p. 559
- Lee, C. Y. 1989. Green Peas. En Michael-Eskin, N.A (ed). Quality and preservation of vegetables. CRC Press, Boca Ratón, Florida. p. 159
- Love, R. M. 1966. The freezing of animal tissue. En: *Cryobiology*. Meryman,H.T..Academic Press, London.Pp.137.
- Lund, B. M. 2000. Freezing . En B. M. Lund, T. C. Baird-Parker y G. W. Gould (Eds). *The Microbiological Safety and Quality of Food*.Vol.1. Aspen Publishers, Inc., USA. pp.122-145.
- Mazza, G. 1989. En Michael-Eskin, N.A. (ed) *Quality and Preservation of Vegetables*. CRC Press, Boca Ratón, Florida. p. 75
- McBride, J.M. 1992. Crystal polarity: A window on ice nucleation. *Nature* 256 p. 814. Citado en Sahagian M. E. y Goff, H. D. 1996. Fundamental aspects of the freezing process. En L. E. Jeremiah (Ed.) *Freezing effects on food quality*. Marcel Dekker, Inc. Nueva York, EE. UU.
- McLeod,K. et al.1973. Hot cutting of lamb and mutton. *J.Food Technol.*(8):71
- Moharram, Y. G. y Rofael, S. D. 1993. Shelf life of frozen vegetables. En G. Charalambous (Ed.) *Shelf Life Studies of Foods and Beverages*. Elsevier Science Publishers B. V. Citado en M. S. Rahman y J. F. Vélez – Ruiz, 2007 Food preservation by freezing. En M. S. Rahman. *Handbook of Food Preservation*. CRC Press. Nueva York, EE. UU.
- Phan, P.A. y Mimault, J. 1980. Effects of freezing rate on the mechanical characteristics and microstructure of blueberries and wild blackberries. *Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment.* 31(4) p. 493. Citado en G. Skrede. 1996. Fruits. En L.E. Jeremiah (ed.). *Freezing effects on food quality* Marcel Dekker, Inc. Nueva York, EE. UU. p. 183 – 245.
- Purchas,R.W.1990.An assessment of the rate of pH differences in determining the relative tenderness of meat from bulls and steers.*Meat.Sci.*(97):129.
- Purchas, R.W.,R.Aungsupakorn.1993. Further investigations into the relationship between ultimate pH and tenderness for beef samples from bulls and steers. *Meat Sci.*(34):163.
- Rahman, M. S. y Vélez – Ruiz, J. F. 2007 Food preservation by freezing. En M. S. Rahman. *Handbook of Food Preservation*. CRC Press. Nueva York, EE. UU. pp. 635 – 666.
- Ramamurthy, M.S., y Bongirwar, D.R. 1979. Effect and freezing methods on the quality of freeze dried Alphonso mangoes. *J. Food Sci. Technol.* India 16(6) p. 234. Citado en G. Skrede. 1996. Fruits. En L.E. Jeremiah (ed.). *Freezing effects on food quality* Marcel Dekker, Inc. Nueva York, EE. UU. p. 183 – 245.
- Reid, D.S. 1983. Fundamental physicochemical of freezing. *Food Technology*. 37(4) p. 110. Citado en Sahagian M. E. y Goff, H. D. 1996. Fundamental aspects of the freezing process. En L. E. Jeremiah (Ed.) *Freezing effects on food quality*. Marcel Dekker, Inc. Nueva York, EE. UU.
- Reid, D. S. 1993. Basic physical phenomena in the freezing and thawing of plant and animal tissues. En Mallet, C.C (ed). *Frozen Food Technology*. Blackie Academic and Professional. Londres. p. 1. Citado en Sahagian M. E. y Goff, H. D. 1996. Fundamental aspects of the freezing process. En L. E. Jeremiah (Ed.) *Freezing effects on food quality*. Marcel Dekker, Inc. Nueva York, EE. UU.
- Sahagian, M. E., y Goff, H. D. 1996. *Fundamental Aspects of the Freezing Process*. Capítulo1. En L. E. Jeremiah (Ed.). *Freezing Effects on Food Quality*. Marcel Dekker, Inc., USA. pp.1-50.
- Skrede, G. 1996. Fruits. En L.E. Jeremiah (ed.). *Freezing effects on food quality* Marcel Dekker, Inc. Nueva York, EE. UU. p. 183 – 245.
- Singh, R. P. y Heldman, D. R. 2001. *Introduction to Food Engineering. Chapter 7:Food freezing*. AcademicPress. California, EE. UU.
- Statutory Instrument (SI). 1990. No.1086. *The Quick-Frozen Foodstuffs regulations 1990*. HMSO, London.
- Taylor,A.A.,L. Martoccia, 1992. The effect of low voltage and high voltage electrical stimulation on pork quality.Procedings of the 38th International Congreso of Meat Science &

- Technology.Clermont-Ferrand,France.Pp.431-433
- Van Laack,R.L.J.M. 1989. The quality of accelerated processed meats – an integrated approach, Ph.D.thesis, University of Utretch. The Netherlands.
- Venning, J.A., Burns, D.J.W., Hoskin, K.M., Nguyen, T., y Stec, M.G.H. 1989. Factors influencing the stability of frozen kiwifruit pulp. *J. Food Sci.* 54(2) pp. 396- 400. Citado en G. Skrede. 1996. Fruits. En L.E. Jeremiah (ed.). *Freezing effects on food quality* Marcel Dekker, Inc. Nueva York, EE. UU. p. 183 – 245.
- Welti-Chanes, J. 2007. *Apuntes de Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. Inéditos.
- Williams, D.C., Lim, M.H., Chen, A.O., Pangborn, R.M., y Whitaker, J.R. 1986. Blanching of vegetablesfor freezing- wich indicator enzyme to choose. *Food Technol.* 3 p. 130
- Young,O.A.1993. Effect of breed and ultimate pH on the odour and flavour of sheep meat.NZJ.Agric.Res.(36):363.



Descripción y aplicaciones de equipos de congelación para la industria de alimentos

V. Rodríguez-Martínez; T. G. Cerón-Carrillo y M. M. Vázquez-Aguilar

Departamento de Ingeniería Química y de Alimentos, Universidad de las Américas-Puebla,
San Andrés, Cholula, Pue., México

Resumen

En este documento, se presenta una revisión de los sistemas de congelación más importantes empleados en la industria alimentaria, tomando como clasificación el método de congelación que se emplea, de esta manera se especifica las características, uso, capacidad y dimensiones de diferentes equipos de congelación. Los equipos que se describen son los que emplean como medio de congelación el flujo de aire frio a alta velocidad, el de contacto con el alimento por medio de placas y los equipos que utilizan como medio de congelación la inmersión o espreado de líquidos criogénicos.

Palabras claves: Congelación de alimentos, equipos de congelación.

Abstract

In this paper presented a review of freezing systems most important employees in the food industry, using as a sorting method the different types of freezing equipments. In this manner specified characteristics, use, capacity and dimensions of different equipments. The freezing systems described on this work, are those used as a means to freeze the flow of cold air at high speed, the contact with food through plates and freezing system by immersed or spread of cryogenic liquids.

Keywords: Food freezing, freezing systems.

Introducción

La congelación de alimentos es un método de conservación que depende de la reducción de la temperatura del producto a niveles por debajo de su punto de congelación, es decir, el inicio de la formación de cristales de hielo (Cleland et al., 1998; Do et al., 2004). Debido al descenso de la temperatura (-10 a -20°C), las reacciones normales de deterioro en los

alimentos son reducidas a niveles mínimos. Estos niveles de temperaturas limitan el crecimiento de la mayoría de las poblaciones microbianas y minimizan la preocupación en cuanto a seguridad alimentaria del producto. Como es de esperarse, la vida útil del producto esta en función de la temperatura, ya que mientras más baja sea la temperatura de

congelación, mayor será la vida útil del alimento (Heldman y Hartel, 1997; Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Diferentes alimentos son preservados por congelación. Muchos tipos de frutas y hortalizas son congelados y pueden conservar este estado aún antes de ser consumidos. Varios tipos de productos cárnicos como res, pollo y pescado son congelados para aumentar su vida útil. Productos de panadería y otros alimentos preparados tienen beneficios cuando son preservados por congelación, aumentando la vida útil por medio del almacenamiento a bajas temperaturas (Singh y Heldman, 2001; Campañone et al., 2001; Cleland et al., 1998).

Las limitaciones de la congelación de alimentos como método o técnica de conservación incluyen los posibles daños en la calidad y el gasto energético que se requiere. La generación de cristales de hielo en las estructuras de la mayoría de los alimentos genera cambios estructurales irreversibles, y en la mayoría de los casos provoca cambios negativos en la calidad y características del producto (Campañone et al., 2001). Los requerimientos de refrigeración asociados con los procesos de congelación de alimentos, necesitan mantener niveles de temperatura por debajo de -18°C , estos son factores que se deben tener en consideración para evaluar el costo de los procesos de preservación de alimentos por congelación (Heldman y Hartel, 1997; Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002). El valor del aumento de la vida útil del producto debe ser comparado con los gastos energéticos que requiere el método y de los gastos durante el almacenamiento, para decidir si es viable la aplicación de este método de

conservación al producto en cuestión (Heldman y Hartel, 1997).

Dependiendo del tipo de alimento que se pretenda congelar, existen sistemas de congelación de alimentos, los cuales pueden ser clasificados de acuerdo con la temperatura aplicada (arriba o debajo de -40°C), el producto procesado (sólido o líquido), el medio de congelación (aire, superficie fría, líquido), y el camino de proceso (continuo o batch) (Saravacos y Kostaropoulos, 2002). Por ello, en este trabajo se presenta una revisión de los principales equipos utilizados para la congelación de alimentos.

Revisión Bibliográfica

Para que se logre una adecuada congelación en un producto alimenticio, éste debe ser expuesto a bajas temperaturas por el tiempo suficiente para remover el calor sensible y el calor latente de fusión, resultando en la conversión del agua líquida al estado sólido (hielo) (Cleland et al., 1998; Sun y Zhu, 1999). En la mayoría de los casos, aproximadamente el 10% de agua de producto se mantiene en estado líquido. (Do et al., 2004). Para que se logre el proceso de congelación en el periodo de tiempo deseado, el medio de congelación debe de tener una temperatura mucho menor que la temperatura final deseada en el producto (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

El proceso de congelación se lleva a cabo en sistemas diseñados para que el alimento entre en contacto con un medio a bajas temperaturas y que permita la remoción del calores complementado con los sistemas de congelación. La mayoría de los sistemas de congelación son usados dependiendo de las características que

presenta el alimento antes y después de que se lleve a cabo la congelación (Singh y Heldman, 2001).

A continuación se presenta los tipos de equipos utilizados para congelación de alimentos clasificados de acuerdo al medio de congelación que emplean:

1. Equipo de congelación por aire

Flujos de aire a bajas temperaturas son empleados en los sistemas de congelación de alimentos por medio de túneles, bandas transportadoras, y equipos de lecho fluidizado. En todos los casos, el flujo de aire se aplica continuamente al producto y, dependiendo del equipo de congelación, es flujo es horizontal o vertical (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002). En el congelador de túnel, el flujo de aire que prevalece es horizontal. En los equipos de lecho fluidizado, el flujo de aire es vertical ascendente, y en el equipo de congelación de bandas, ambos flujos de aire son utilizados. Dado que el calor específico del aire es bajo, las cantidades de aire que se necesitan para congelación son grandes (Saravacos y Kostaropoulos, 2002; Heldman y Hartel, 1997).

Congeladores de túnel. Son empleados para la congelación de un amplio rango de productos, desde productos finamente cortados, productos molidos, hasta aves de corral o mitades de canales (Farouk et al., 2004).

Este equipo consta de un cuarto aislado con una sola puerta, o dos puertas con una operación continua. La diferencia entre los tipos de túneles es que la temperatura del aire varía de -30 a -40°C, las cámaras de aislamiento son gruesas, y la velocidad de aire es alta (3-6 m/s). Este

equipo requiere intercambiador de calor y ventiladores de alta potencia. El aumento de velocidad de aire reduce el tiempo de congelación, pero el beneficio de dicha reducción no es muy significante si el incremento de gasto de energía se eleva tres veces en relación con la velocidad de enfriamiento (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Para este equipo, los tres principales sistemas de congelación son: (1) el impulso a través del sistema, en la que por cada carro que ingresa en el túnel, una mesa rodante con producto congelado sale; (2) el sistema rack, el cual es aplicado para la congelación de canales; y (3) sistema de manejo de cadena, en el cual los carros son dirigidos por cadenas dentro y fuera del túnel. (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Si las piezas de alimento no son muy grandes se pueden introducir hasta 40 bandejas por carro y pueden contener de 250 a 300 kg de producto. El tiempo de calentamiento depende del tamaño y de la conductividad térmica del producto. Para productos en bandejas, el tiempo es entre 1.5 – 6 h. Esto es en equipos de unifila o de fila doble. Usualmente, los ventiladores se encuentran encima de los carros. El intercambiador de calor se encuentra en ambos lados, y en el caso de equipos de doble fila, estos se encuentran también entre los carros.

La capacidad de un túnel con ocho carros de cargas es de 1.5 a 4 ton/h. Esto corresponde a una capacidad específica de aproximadamente $25 \text{ kg/m}^2\text{h}$ de bandeja por área.

Las ventajas de un túnel de congelación son: (1) flexibilidad, los túneles son adecuados para una gran

variedad y cantidades de productos pequeños; (2) de fácil limpieza; y (3) simple. Las desventajas son: (1) requiere un espacio relativamente largo; (2) más mano de obra se requiere que en los equipos de lecho fluidizado o de bandas; y (3) significativa perdida del producto (2-3%) (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

entre el aire y el producto incrementa por el movimiento relativo entre el producto y el transporte del aire.

Ejemplos de tiempos de congelación son de 3-4 minutos para chicharos y de 9-13 minutos para papas a la francesa y fresas. La capacidad del equipo de lechos fluidizadas varía entre aproximadamente

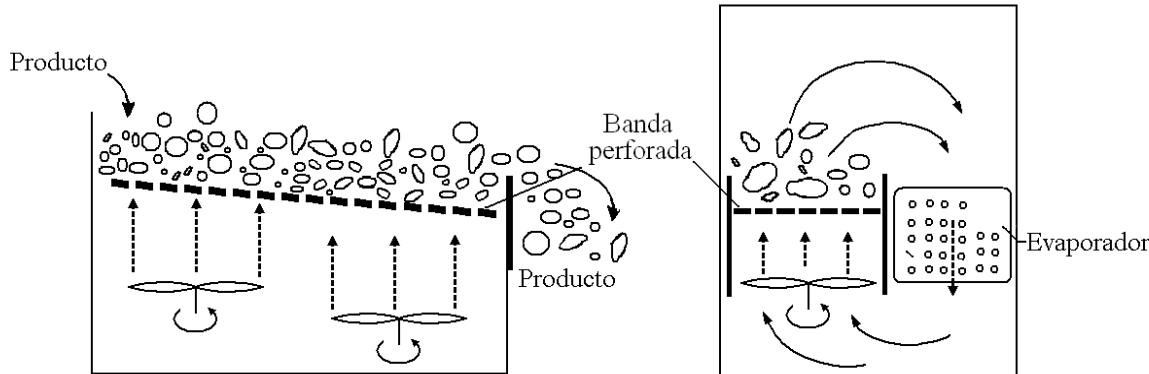


Fig. 1. Congelador de lecho fluidizado (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Congeladores de lecho fluidizado. Es un método de congelación rápido individual (IQF), usado en congelación de piezas pequeñas o cortes de piezas de alimentos (diámetro de aproximadamente 3 cm a hasta un largo de 12 cm), como chicharos, papas a la francesa, zanahorias rebanadas o cortadas, frijoles y champiñones (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002; Heldman y Hartel, 1997). Las piezas de alimentos son congeladas individualmente.

El equipo consiste en una banda inclinada, ventiladores (usualmente radiales) con flujo de aire descendente, y el aire de enfriamiento del intercambiador de calor se encuentra a -40°C (figura 1). Los productos son enfriados rápidamente debido a que el aire lo rodea completamente, y la transferencia de calor

1-12 ton/h. Las dimensiones del congelador de lecho fluidizado son de 2-11 m de largo, 2-9 m de ancho, y 3-6 m de alto (Saravacos y Kostaropoulos, 2002; Heldman y Hartel, 1997).

Las ventajas de este equipo son: (1) gran capacidad específica; (2) reducida pérdida de peso del producto; (3) pequeñas dimensiones; y (4) pocas piezas móviles. Las desventajas incluyen: (1) relativamente alto requerimiento energético; (2) de uso no universal; y (3) requiere homogeneidad en el tamaño de las piezas (Saravacos y Kostaropoulos, 2002; Campañone et al., 2001).

Congeladores de banda. Este equipo consta de bandas moviéndose a través de un flujo de aire frío (figura 2 y 3). Las bandas pueden ser rectas o curvas, están

elaboradas de acero o plástico. Dichas bandas permiten el paso del aire a través de ellas. En todos los casos, un mecanismo automático mantiene la tensión de las bandas constante (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Este tipo de equipo es empleado para piezas sensibles y relativamente grandes de alimento. Ejemplos de productos congelados por este sistema son rodajas de manzana, coliflor, fresas, y alcachofas. También es empleado en endurecimiento de alimentos precongelados (Saravacos y

(figura 2a). En la primera zona, el aire recircula vigorosamente, causando un congelación en la superficie del producto (congelación de corteza). El congelación del producto es completado en la segunda zona. En este sistema las fresas pueden ser congeladas en 12 min, los filetes de pescado en aproximadamente 20 min. La capacidad de este equipo es de 0.2-6 ton/h. La longitud general del equipo es de 5-13 m. De ancho es entre 4 y 5 m. Para incrementar la versatilidad del equipo, dos o más bandas pueden moverse paralelamente a diferentes velocidades.

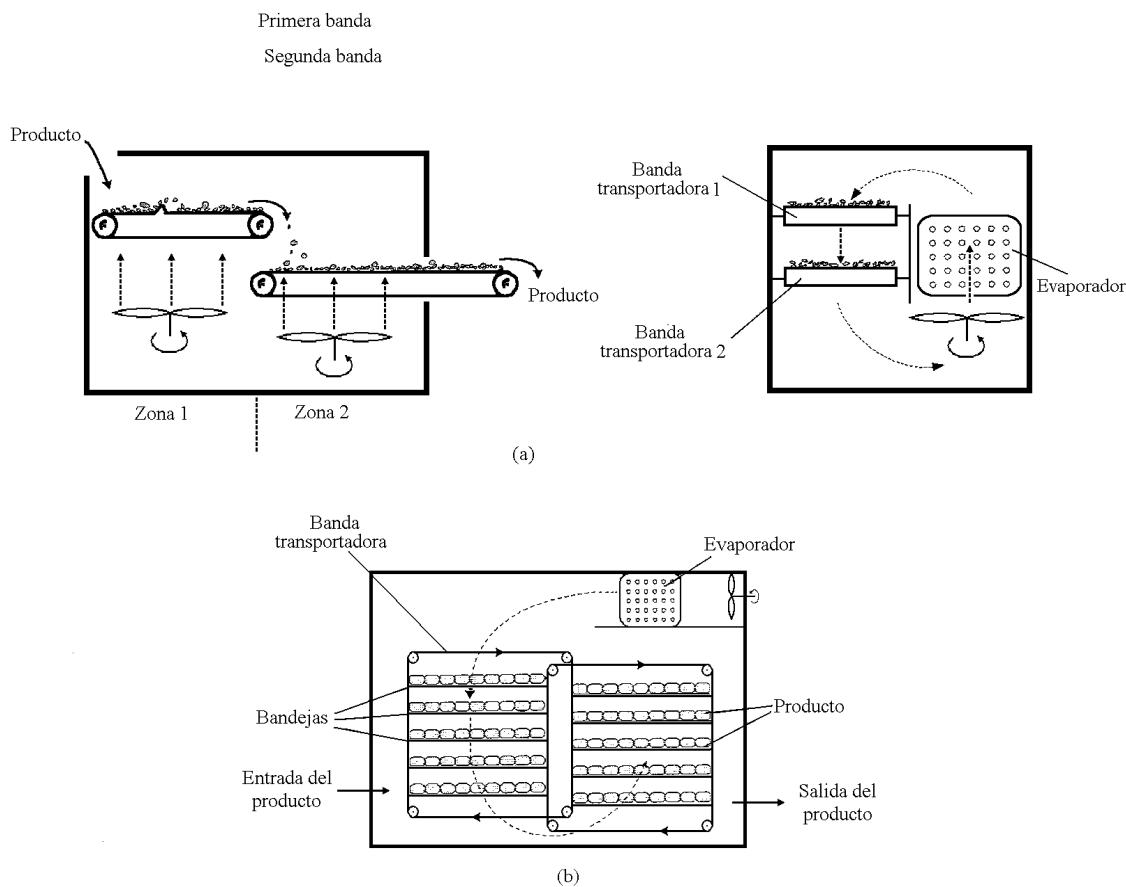


Fig. 2. Congelador de bandas transportadoras (Saravacos y Kostaropoulos, 2002; Heldman y Hartel, 1997).

i. *Bandas rectas.* Es algunos casos, las bandas rectas son separadas en zonas

Una sola banda tiene un ancho de 0.5-0.8 m. La altura general del equipo es de 5m. Para congelar la misma cantidad de alimento, este equipo requiere más espacio que el empleado por el equipo de lecho

fluidizado, pero es aproximadamente 30% menos que el equipo de congelación por banda en espiral (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002; Heldman y Hartel, 1997).

ii. *Sistema de elevador.* En la figura 2b se presenta este tipo de equipo, el cual consta de bandas paralelas que llevan grandes estantes cargados, para después ocupar la posición más elevada en el equipo, después es bajado. De esta manera, el congelación puede ser controlado por la velocidad de las bandas durante el ascenso y descenso del producto.

Este método es frecuentemente usado en endurecimiento de productos como empaques de helado. La capacidad de endurecimiento del equipo depende del tipo de helado y la textura deseada. Por ejemplo, pueden endurecer a 20000 L/h. El método es muy flexible. Además, el control de la congelación a través de la velocidad de las bandas, hace posible

iii. *Bandas en curva.* Las bandas en curva (espiral) son usadas para ahorrar espacio. Hay dos tipos principales, el de espiral y el de semiespiral, los cuales consisten en una combinación de bandas curvas y rectas. El tipo de espiral es usado con frecuencia en congelación de hamburguesas, piezas de pescado, y comidas preparadas. Es también usada en endurecimiento de productos congelados (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Para la construcción de este tipo de equipos de tipo espiral, el largo no debe exceder de 300m. El ancho es 4-7 m. El aire es soplado horizontalmente (figura 3a) o verticalmente a través del producto (figura 3b) el cual se mueve alrededor del cilindro.

Las ventajas de este tipo de equipos son: (1) que puede llevar a cabo el congelación de un amplio rango de productos delicados; (2) congelación de productos húmedos y pegajosos; (3)

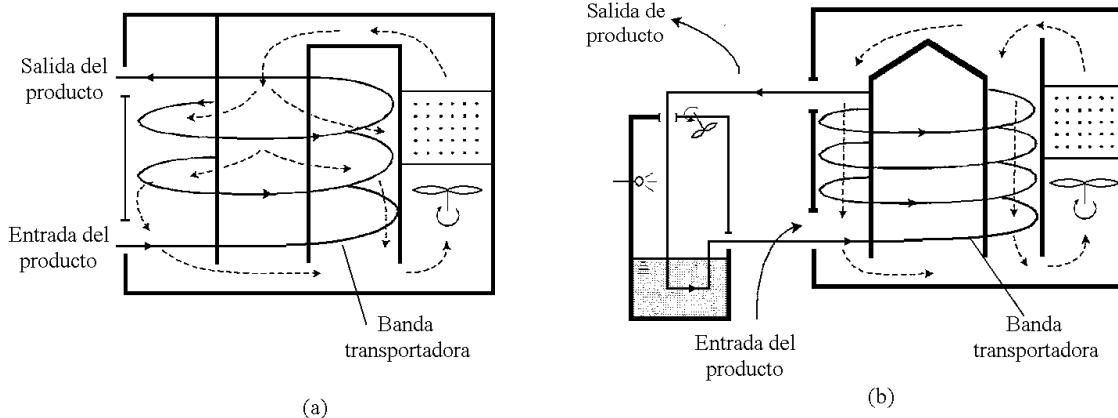


Fig. 3. Congelador de bandas transportadoras en espiral o de curva (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

también la congelación de diferentes productos o paquetes de diferentes tamaños al permitir cargar y vaciar las bandas en diferentes posiciones (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

posibilidad de congelar piezas largas; y (4) congelación de productos empacados o no empacados. Las desventajas son: (1) movimiento relativo de piezas (ventiladores y cinturones); (2) relativo alto consumo de energía; (3) elevada

inversión inicial; y (4) requiere distribución homogénea de los productos en las bandas (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

2. Equipo de congelación por superficie

Los alimentos pueden ser congelados rápidamente en equipos de congelación por placas (figura 4). Este sistema consiste en varias placas de paredes dobles, y en su interior se encuentra circulando un refrigerante. El alimento es puesto entre las placas, las cuales presionan el alimento por medio de un sistema hidráulico ligero (0.06-0.1 bar), lo que provoca la reducción de las bolsas de aire entre la superficie de refrigeración y el empaque. Cuando la congelación termina, las placas son separadas y el producto es removido para recarga (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Las placas dobles (figura 5) están elaboradas de una aleación de aluminio extruído de calidad alimenticia. Si el equipo es usado para congelar pescado en buques, la aleación de aluminio tiene que

5-20. El espacio (distancia) es hasta de 7 cm, y la superficie es 1.5-2.0m² (ejemplo, 1.5 X 0.8 m o 2.0 X 1.1 m). El equipo vertical usualmente tiene 12-16 placas, separadas por distancias de 5-9.5 cm. La superficie de las placas puede ser 1.2 X 0.6 m.

El equipo de placas es utilizado en congelación de pescado entero, filetes de pescado, piezas de carne (ejemplo, chuletas), producto empacado en envases rectangulares, y productos semisólidos (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002; Yuhasz y O'Brien, 1982).

La capacidad de este equipo varía de 6-13 ton/ 24h. La capacidad de refrigeración de las unidades largas es aproximadamente 75 kW. El congelado de un bloque de pescado de 5cm puede durar aproximadamente 1.15h. La capacidad específica de la placa del equipo de congelación es aproximadamente 160 kg/m²h. El producto antes de entrar al equipo, es puesto en bandejas de metal. Esto evita la congelación de las placas por

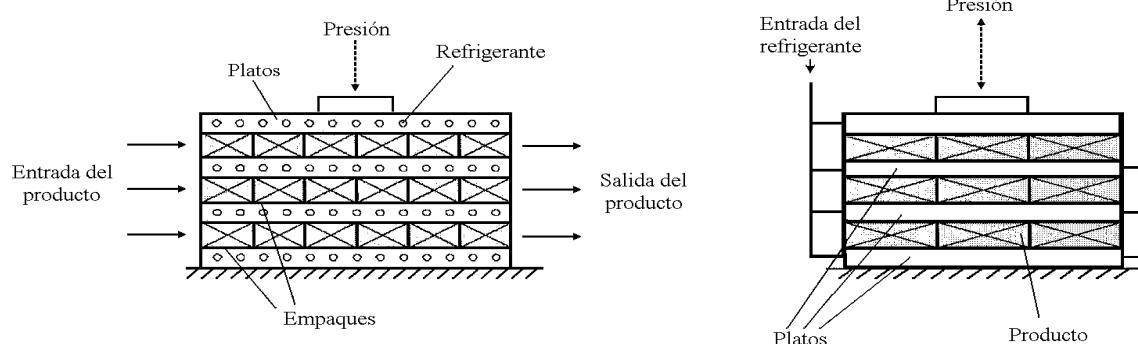


Fig. 4. Congelador de placas horizontales (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

ser resistente al agua de mar. Las placas pueden estar en forma paralela o vertical. Las placas verticales son empleadas en la congelación de pescado en buques, porque esto requiere menos altura libre. El número de placas paralelas puede variar de

la pérdida de agua del producto. Las placas paralelas son puestas en cabinas aisladas. En un sistema continuo, son usadas dos puertas, una para alimentar, y una para descargar. La gran ventaja de este equipo es la buena capacidad específica, la

cual es aproximadamente 4 veces tan alta como la de los congeladores de túneles ($85 \text{ kg/m}^2\text{h}$). Las dimensiones en general de una cabina que contiene 20 placas paralelas pueden ser de $3 \times 2 \times 2 \text{ m}$ y el peso de 1.8 a 2.0 ton (Saravacos y Kostaropoulos, 2002; Yuhasz y O'Brien, 1982).

rápido que en un congelador de lecho fluidizado, y 25 veces más rápido que por inmersión en cualquier otro líquido criogénico. En el caso de N_2 o CO_2 , y algunas veces la salmuera, el medio de congelación puede estar en contacto directo con el alimento.

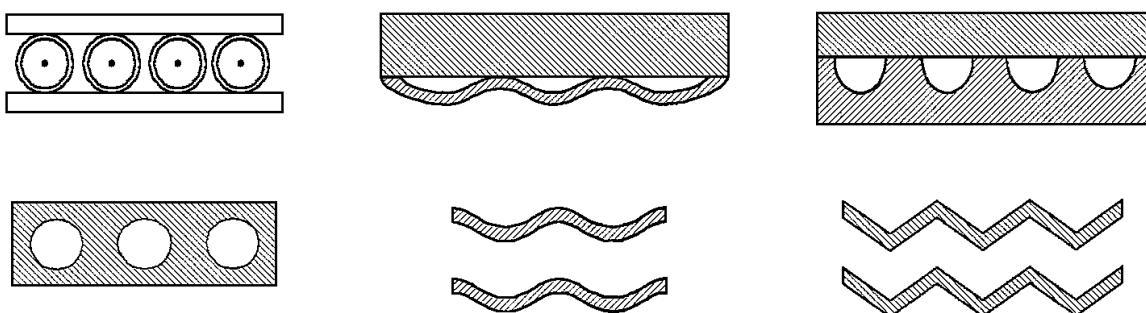


Fig. 5. Estructura de doble pared y superficie de placas (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

3. Congelación por inmersión

Congeladores líquidos. En la congelación por éste método, el equipo empleado no es complicado. Se utilizan líquidos criogénicos como el nitrógeno (N_2), dióxido de carbono (CO_2), salmueras, mezclas no tóxicas de agua y solutos (ejemplo, azúcar-alcohol diluidos en agua) y otros líquidos (ejemplo, propilen-glicolagua) (Persson y Loedahl, 1996). El alimento que va a ser congelado es sumergido en el líquido o bien, el líquido asperjado en el alimento (Saravacos y Kostaropoulos, 2002; Heldman y Hartel, 1997).

La congelación por líquidos es muy rápida debido a la baja temperatura a la cual se encuentra el líquido y al contacto directo con la superficie del producto. La velocidad de congelación de un producto asperjado con nitrógeno es 2.5 veces más

En todos los demás casos, solo alimentos empacados pueden entrar en contacto con los líquidos ya sea por inmersión o aspersión (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Congelación en moldes. El congelado por líquidos es usado también para la congelación de productos en forma de cuerpos compactos o *pellets*. En este caso, los alimentos lácteos, el huevo líquido, las pulpas de frutas, salsas, y purés de vegetales son congelados entre dos bandas metálicas paralelas que se encuentran en movimiento (figura 6). La capacidad de las bandas corrugadas en los congeladores líquidos es de 0.2-1.5 ton/h. El empaque de las *pellets* puede estar elaborado con bolsas plásticas o cartón, o en el caso de un proceso mayor en la misma fábrica, en cajas de bases (0.5 ton/caja) (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

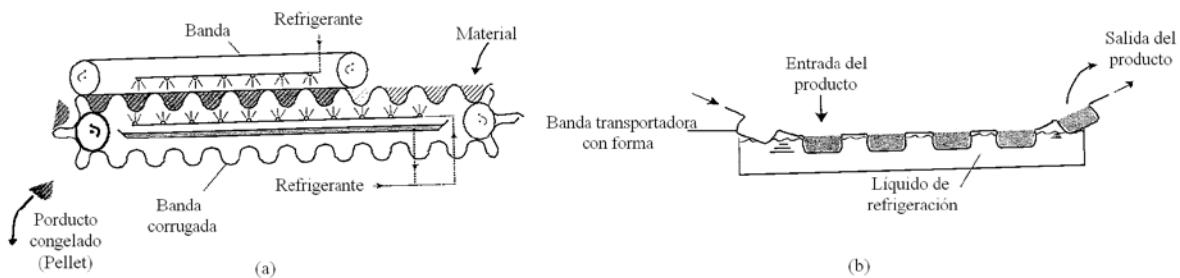


Fig. 6. Congelador de pellets (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Líquidos Criogénicos. En el caso de N₂ criogénico, el tipo de congelación de banda recta es muy empleado. Sin embargo, si esta no cuenta con suficiente espacio, los congeladores de banda de espiral son utilizados, o en su defecto, el producto es directamente sumergido en N₂ líquido (Singh y Heldman, 2001; Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

El tiempo de congelación en los equipos de banda en espiral depende del tipo y tamaño del producto. Usualmente este varía entre 20 y 90 min. La superficie de uno o dos espirales es de 20 –200 m². El congelador de espiral con N₂ criogénico

alimentos por líquidos criogénicos (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Las ventajas de este método son: (1) alta velocidad de congelación (alta capacidad, mejor calidad); (2) baja perdida de peso del producto durante el congelado (0.1–1.0%); (3) bajo capital inicial (una tercera parte de los sistemas mecánicos); (4) poco espacio de piso (capacidad específica de 125 kg/m²h); (5) bajo costo de mantenimiento (de simple construcción); y (6) de fácil manejo. Las desventajas incluyen: (1) el costo de los líquidos criogénicos es alto; (2) alto consumo de

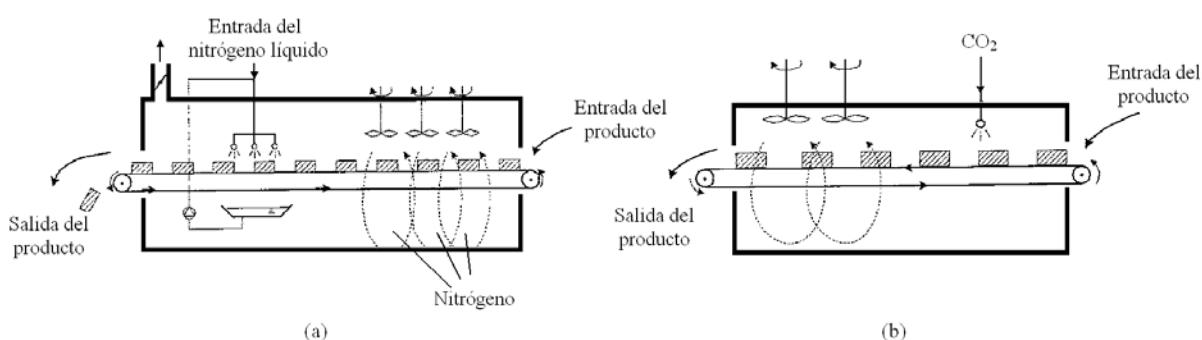


Fig. 7. Congelador criogénico (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

requiere para el movimiento de las bandas y para la ventilación-evaporación del gas N₂, un poder de 10-30 kW. En la figura 7 se muestran dos ejemplos de equipos de bandas rectas para el congelado de

líquido criogénico; (3) dependencia de limitado número de proveedores de líquido criogénico; (4) instalaciones de almacenamiento sofisticadas (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

Conclusiones

En la industria y procesado de alimentos, la congelación se emplea como método de conservación, cuyo principal fundamento es la disminución de temperatura a -18°C o a temperaturas menores del punto de congelación de los sistemas alimenticios en cuestión. Durante la congelación, se forman cristales de hielo, y los productos se concentran más al congelarse el agua. Lo anterior ocasiona que menos agua se encuentre disponible para las reacciones de deterioro, así mismo, esta indisponibilidad del agua evita el crecimiento de poblaciones microbiana en el alimento.

Para la elaboración de productos congelados, se han desarrollado múltiples sistemas de congelación, entre los que destacan los sistemas que emplean como medio de congelación aire frío a alta velocidad, los sistemas de congelación por contacto de superficie por medio de placas, y los sistemas de inmersión o espreado de líquidos criogénicos.

Estos sistemas de congelación presentan diferentes diseños de equipos. Los equipos que tienen como medio de congelación el empleo de aire a bajas temperaturas y alta velocidad, se encuentran los de túnel, lecho fluidizado y de banda recta y curva (espiral). En los equipos cuyo principio es la congelación de los alimentos por contacto, se encuentra los congeladores de placas, en los cuales el producto se congela entre placas dobles que contienen en el interior refrigerantes con temperaturas hasta de -70°C . Por último, los equipos que se basan en la congelación por inmersión, en los cuales los alimentos, empacado o sin empacar, son sumergido en líquidos criogénicos o espreado por estos.

Para el diseño de este tipo de equipos se tiene que tomar en cuenta las dimensiones, las características de los productos, la capacidad y el gasto energético para evaluar la viabilidad de la aplicación de este método de conservación en la industria de alimentos.

Referencias

- Campañone, L. A., Salvadori, V. O., y Mascheroni, R. H. 2001. Weight loss during freezinf and storage of unpackaged foods. *Journal of Food Engineering*. 47(2):69-79
- Cleland A. C. Y Ozilgen S. 1998. Thermal design calculations for food freezing equipment-past, present and future. *International Journal of Refrigeration*. 21(5):359-371
- Do, G., Sagara, Y., Tabata, M., Kudoh, K., y Higuchi, T. 2004. Three-dimensional measurement of ice crystals in frozen beef with a micro-slicer imagine processing system. *International Journal of Refrigeration*. 27(2):184-190
- Farouk, M. M., Wieliczko, K. J., y Merts, I. 2004. Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef. *Meat Science*. 66(1):171-179
- Heldman, D. R. y Hartel, R. W. 1997. Capítulo 6. Freezing and fozen-food storage. En Prinicples of Food Processing. Chapman & Hall. New York. pp. 113-125
- Persson, P. O. y Loedahl, G. 1996. Freezing Technology. En C.P. Mallet (Ed). *Frozeen food technology*. Ed. London: Blackie Academian and profesional.
- Saravacos, G. D. y Kostaropoulos, A. E. 2002. *Handbook of Food Porcessing Equipment*. Kluwer Academic/Plenum Publishers. Nueva York. pp. 416-419
- Singh, R. P. y Heldman, D. R. 2001. Capitulo 7: Food Freezing. En *Introducción to Food Engineerong*. 3a Edición. Food Science and Technology, International Series. New York. pp. 109-417
- Sun, D., y Zhu, X. 1999. Effect of heat transfer direction on the numerical prediction of beef freezing processes. *Journal od Food Engineering*. 42(1):45-50
- Yuhasz, J. P. Y O'Brien, S. A. 1982. System for making frozen food article. En <http://www.google.com/patents?hl=es&lr=&vi=d=USPAT4332145&id=TfYwAAAAEBAJ&o>

[i=fnd&dq=articles+of+food+freezing](#),
accesado 03/12/2007.