



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
Nitrógeno líquido	
Lado lento placas horizontales donde se expande el gas	170
Parte superior de las placas horizontales	425
Ebullición del líquido	568
Heldman y Singh, 1981	

varia
ción
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).

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.