



**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“MODELOS DE PREDICCIÓN DE TIEMPO DE ENFRIAMIENTO Y CONGELADOS
DE ALIMENTOS”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

PRESENTADO POR:

KATHERINNE YESSANDRA MORI VÁSQUEZ

ASESOR:

Ing. GIORGIO SERGIO URRO RODRIGUEZ, Mtro.

IQUITOS, PERÚ

2018

EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**TITULO: “MODELOS DE PREDICCIÓN DE TIEMPO DE ENFRIAMIENTO Y
CONGELADOS DE ALIMENTOS”**

ACTA DE EXAMEN DE SUFICIENCIA



UNAP

Facultad de
Industrias Alimentarias

ACTA DE EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL AÑO 2018

En la ciudad de Iquitos, siendo las 16:30 horas, del día Jueves 22 de noviembre del 2018, en el Auditorio de la Oficina General de Bienestar Universitario de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, se reunió el Jurado Calificador del Examen de Suficiencia Profesional Año 2018, designado con Resolución Decanal N° 254-FIA-UNAP-2018, con la presencia del Secretario Académico de la Facultad de Industrias Alimentarias, para dar inicio a la defensa de la Memoria Descriptiva titulado: **“MODELOS DE PREDICCIÓN DE TIEMPOS DE ENFRIAMIENTO Y CONGELADOS DE ALIMENTOS”**, por la Bachiller **KATHERINNE YESSANDRA MORI VÁSQUEZ**, con un tiempo de 15 minutos de exposición, 30 minutos de resolución de las preguntas y 15 minutos de deliberación del Jurado Calificador

La Bachiller **KATHERINNE YESSANDRA MORI VÁSQUEZ**, en la primera fase del proceso de titulación por la modalidad de Examen de Suficiencia Profesional, en el examen escrito obtuvo la nota de **16**, la que será sumada y promediada con la nota de la presentación oral y defensa de la Memoria Descriptiva.

Luego de la deliberación del Jurado Calificador, la Bachiller **KATHERINNE YESSANDRA MORI VÁSQUEZ**, obtuvo la nota de 12 en la presentación oral y defensa de la Memoria Descriptiva titulada: **“MODELOS DE PREDICCIÓN DE TIEMPOS DE ENFRIAMIENTO Y CONGELADOS DE ALIMENTOS”**.

Siendo las 17:30 horas del día Jueves 22 de noviembre del 2018, el Jurado Calificador, conformado por don Alenguer Gerónimo Alva Arévalo, Presidente, don Elmer Trevejo Chávez, don Elmer Alberto Barrera Meza, doña Miriam Ruth Alva Angulo y don Juan Alberto Flores Garzatúa, al consolidar las notas del examen escrito y la presentación oral, con un valor de 50% cada una, tal cual lo establece el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Industrias Alimentarias en su Artículo 44° incisos a, b, c, d, y e, la Bachiller **KATHERINNE YESSANDRA MORI VÁSQUEZ** obtuvo la nota de 14 y declaran que, ha Aprobado el **EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL** con el calificativo de Buena y esta Apta para iniciar sus trámites administrativos para la obtención del Título Profesional de Ingeniera en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, en fe de lo cual suscriben la presente ACTA en ocho (8) ejemplares. Para constancia firmamos el presente documento;


Presidente
Alenguer Gerónimo Alva Arévalo
Ingeniero en Industrias Alimentarias
CIP: 45162


Miembro
Elmer Trevejo Chávez
Ingeniero Pesquero
C.I.P. 13602


Miembro
Elmer Alberto Barrera Meza
Ingeniero en Industrias Alimentarias
CIP: 116548


Miembro
Miriam Ruth Alva Angulo
Licenciada en Nutrición
GNP: 0130


Miembro
Juan Alberto Flores Garzatúa
Ingeniero en Industrias Alimentarias
CIP: 11645


Asesora
Gladys Sorjito
Ingeniera en Industrias Alimentarias
CIP: 11428



MIEMBROS DE JURADO

Examen de suficiencia profesional aprobado en sustentación pública en la ciudad de Iquitos, en las instalaciones del Auditorio de la Oficina General de Bienestar Universitario de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, llevado a cabo el día Jueves 22 de Noviembre del 2018, siendo las 17:30 horas, siendo los Miembros de Jurado Calificador los abajo firmantes.



ALENGER GERONIMO ALVA AREVALO
Presidente



ELMER TREVEJO CHAVEZ
Miembro



ELMER ALBERTO BARRERA MEZA
Miembro



MIRIAN RUTH ALVA ANGULO
Miembro



JUAN ALBERTO FLORES GARAZATUA
Miembro alterno y secretario académico de la fia

ASESOR



Giorgio Sergio Urro Rodríguez
Asesor

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y dar la fuerza para continuar en este proceso de obtener unos de los anhelos más deseados.

A mis abuelitos Arturo y Felicitas, a mis padres Gissela y Julio, por su amor, trabajo y sacrificio en estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí. Es el orgullo y el privilegio de ser su hija, son los mejores padres; a mi sobrino Luan Adriel que es el motivo para superarme.

A mi familia por confiar en mi desempeño, a mis amigas maría y teresa que estuvieron conmigo siempre, y en qué todo momento están apoyándome día a día.

A todas las personas que me apoyaron y han hecho que esta meta se realice con éxito en especial aquellos que abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Katherinne Y. Mori Vásquez

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana (UNAP), a través de la Facultad de Industrias Alimentarias, por haberme albergado en sus aulas y las enseñanzas de cada día para formar firmemente un buen profesional.

Agradecer al decano Roger Ruiz Paredes y a todos los docentes por su apoyo en una gran etapa de nuestra carrera y ampliar nuestra visión como profesionales

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	I
ACTA DE EXAMEN DE SUFICIENCIA	III
MIEMBROS DE JURADO.....	IV
ASESOR	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTOS.....	VII
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VIII
LISTA DE ANEXO	X
RESUMEN	XI
ABSTRACT.....	XII
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: OBJETIVOS	2
1.1. OBJETIVO GENERAL	2
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CAPITULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1.3. CONGELACIÓN.....	3
1.3.1. <i>Proceso Del Agua En La Congelación.....</i>	3
1.3.2. <i>Proceso de Congelación.....</i>	3
1.3.3. <i>Técnicas de congelación.</i>	5
1.3.4. <i>Congelamiento de Carnes:</i>	7
1.3.5. <i>Congelamiento de Pastas y Panificados.....</i>	7
1.3.6. <i>Congelamiento de Vegetales.....</i>	8
1.4. ENFRIAMIENTO	8
1.4.1. <i>Métodos De Enfriamiento</i>	9
1.5. MODELOS DE PREDICCIÓN DE TIEMPO DE CONGELAMIENTO	16
1.5.1. <i>Numéricos:.....</i>	16

1.5.2.	<i>Analíticos</i>	17
1.5.3.	<i>Ejemplo De Tiempo De Congelación Con El Programa Freezing Time</i>	20
1.6.	PREDICCIÓN DE TIEMPO DE ENFRIAMIENTO	22
1.6.1.	<i>Ejemplo De Tiempo De Enfriamiento</i>	23
CONCLUSIONES		27
RECOMENDACIONES		28
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		29
ANEXO		32

LISTA DE ANEXO

Anexo 1: Vida Útil De Alimentos.....	32
Anexo 2: Deterioro De Frutas En Una Semana.....	32
Anexo 3: Capacidad De Almacenamiento	33
Anexo 4: Factores Que Influyen En La Curva De Enfriamiento.....	35
Anexo 5: Curva De Enfriamiento	35
Anexo 6: Métodos De Enfriamiento	36
Anexo 7: Métodos De Enfriamiento	37
Anexo 8: Métodos De Enfriamiento	38
Anexo 9: Comparación De Métodos De Pre Enfriado De Pre-Enfriado.....	39
Anexo 10: Efectos De La Congelación	40
Anexo 11: Congelación Lenta Y Congelación Rápida	41

RESUMEN

Cuando las funciones vitales de animales o vegetales se interrumpen, se inicia una serie de transformaciones que adquieren características de fenómenos putrefactivos tales procesos se suceden rápidamente a temperatura ambiente, con la consiguiente inutilización del producto ya que los tejidos vivos presentan mayor resistencia a las acciones desagregadoras, principalmente porque son dotados de la facultad de regeneración.

Las alteraciones observadas en géneros perecibles dependen de diversos factores, pero poseen orígenes perfectamente distintos tales como

- Alteraciones de origen físico, producidas por agente como la luz, el calor, la humedad y las acciones mecánicas.
- Alteraciones de origen químico, producidas por agentes como el oxígeno, gas carbónico y contaminantes anómalos
- Alteraciones de origen biológico, producidas por agentes como enzimas, microorganismo, insectos y otros parásitos.

Se basan en la disminución de la temperatura de los alimentos. La industria de conservación por el frío tiene una amplia variedad de medidas o parámetros que es estable según el tipo de alimento a conservar.

ABSTRACT

When the vital functions of animals or plants are interrupted, a series of transformations are initiated that acquire characteristics of rotten phenomena such processes follow one another quickly at room temperature, with the consequent uselessness of the product since the living tissues present greater resistance to the disaggregating actions, mainly because they are endowed with the faculty of regeneration.

The alterations observed in perishable genera depend on various factors, but they have perfectly different origins such as:

- Alterations of physical origin, produced by agents such as light, heat, humidity and mechanical actions.
- Alterations of chemical origin, produced by agents such as oxygen, carbon dioxide and anomalous pollutants.
- Alterations of biological origin, produced by agents such as enzymes, microorganisms, insects and other parasites.

They are based on the decrease in food temperature. The cold conservation industry has a wide variety of measures or parameters that is stable according to the type of food to be preserved.

INTRODUCCIÓN

La congelación, es considerado el proceso de preservación de alimentos por conservación al aplicar frío de alimentos el cual a mayor o menor aplicación teniendo el objetivo de lograr largos y corto periodos de almacenamiento para así lograr el mantenimiento prácticamente de productos inalterados con características originales de un alimento fresco o un alimento que puede obtener apto para el consumo humano.

Al planificar adecuadamente un proceso de congelación, deberán considerarse varios aspectos para lograr un producto final de calidad y conservación óptima. Definidas las características del alimento (forma, composición, tamaño, empaque y tiempo de vida) y seleccionado el equipo a utilizar, determinando las condiciones operativas del mismo (temperatura del refrigerante, coeficiente de transferencia calórica, temperatura a la que ingresará el producto) importa principalmente poder calcular el tiempo de residencia del producto en el equipo de congelación, el que está determinado por las características del producto y por las condiciones operativas (Salvadori , 1994).

Es necesario tener conocimiento del mecanismo de conservación de alimentos por congelamiento.

CAPITULO I: OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Dar a conocer los objetivos y usos del tiempo de enfriamiento y congelado de alimentos.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Dar a conocer modelos de predicción del tiempo de enfriamiento y congelado del alimento, para poder evitar que sean atacados por enzimas y microorganismos que originan.
- Dar a conocer la importancia de los efectos de refrigerado y congelado en alimentos.

CAPITULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.3. CONGELACIÓN

Según (Umaña Cerros, 2007), El agua se solidifica y se produce una desecación del alimento, y provocara un alejamiento de las condiciones ideales en las que pueden multiplicarse los microorganismos.

1.3.1. Proceso Del Agua En La Congelación.

Según (Umaña Cerros, 2007),

El agua libre o no ligada, representa la mayor parte del agua contenida en los alimentos. Esta agua no sale espontáneamente de los tejidos; se encuentra en forma de geles tanto en el interior de la célula como en los espacios intercelulares, estando su retención influenciada por el ph y las fuerzas iónicas.

Durante la congelación el agua es removida de su posición normal dentro de los tejidos y convertida en hielo. Este proceso es parcial revertido durante la descongelación dando lugar a la formación de exudado. El incremento en la concentración de los contenidos celulares puede generar procesos indeseables en los productos.

1.3.2. Proceso de Congelación

Según (Salvadori , 1994), la congelación tiene tres etapas (a los efectos de su visualización, en realidad estas etapas se superponen parcialmente.

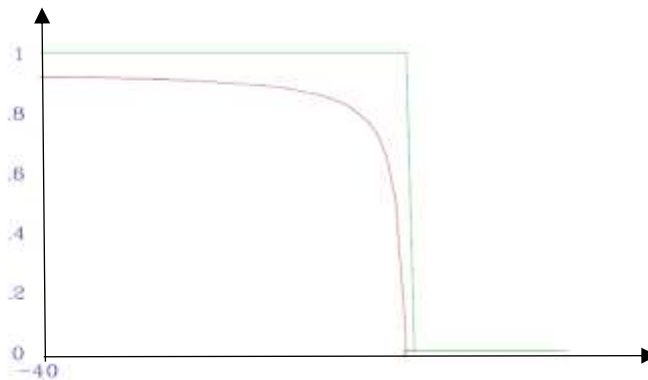
- **Pre enfriamiento:** el alimento se enfría en su temperatura inicial T_i , que generalmente es mayor que 0°C , hasta la temperatura de comienzo de cambio de fase.
- **Cambio de fase:** caracterizado por mostrar nucleación y crecimiento de cristales de hielo. El tamaño de los cristales dependerá de la velocidad de transferencia de calor.

Algunos alimentos están compuestos de sólidos insolubles y fase acuosa que con cierta cantidad de sólidos disueltos. Por estos sólidos, el congelado del agua no ocurre en 0°C , al contrario ocurre a temperatura menor T_f . La magnitud del descenso crioscópico es proporcional a la concentración inicial de sólidos. En el proceso de congelado la concentración de sólidos en la fase sin congelar aumenta, razón por la cual la temperatura de cambio de fase continúa descendiendo obteniéndose un rango de temperaturas de cambio de fase.

- **Atemperado:** esta última etapa consiste en enfriar el alimento ya congelado hasta la temperatura final T_c . Si bien no existe limitaciones para selección T_c , los dos valores más utilizados en la práctica son -10 y -18°C .

Figura 1: La curva de equilibrio del contenido de hielo vs. Temperatura

Se muestra particular para cada alimento, pero presenta la forma general que se observa en la figura



Fuente 1: Tesis Doctoral – Viviana Salvadori (1994)

1.3.3. Técnicas de congelación.

Según (Umaña Cerros, 2007): Los sistemas de congelación se pueden agrupar de la siguiente manera:

1.3.3.1. Por Su Método Básico De Extraer Calor De Productos Alimenticios:

1.3.3.1.1. Congelación Por Aire Comprimido O Congelador De Impacto O Ráfaga (Por Convección).

Aire frío se hace circular a alta velocidad sobre producto. El aire remueve o quita el calor del producto y lo lanza a un intercambiador de calor de aire/refrigerante antes de ser recirculado.

1.3.3.1.2. Congelación Por Contacto (Conducción).

El alimento, empaquetado o desempaquetado, se coloca en o entre superficies frías de metal. El calor es extraído por la conducción directa a través de las superficies, que son enfriadas directamente por un medio refrigerante que circula.

- Continuo. Línea de proceso.
- Bandas o cintas rectas (de dos fases, de pasos múltiples).
- Camas o lechos fluidizados.
- Bandas transportadoras fluidificadas.

1.3.3.2. Congeladores De Contacto Directo

El medio primario de transferencia térmica de un congelador de contacto es por conducción; el producto o el paquete se ponen en contacto directo con una superficie refrigerada.

1.3.3.3. Congeladores Criogénicos O De Inmersión

El congelamiento criogénico (o gas) es a menudo una alternativa para, producción en pequeña escala, productos nuevos, situaciones de sobrecarga o productos estacionales. Los congeladores criogénicos utilizan nitrógeno líquido

o dióxido de Carbono líquido (CO₂) como el medio de la refrigeración, y los congeladores pueden ser de gabinetes para lotes, congeladores de bandas transportadoras rectas, transportadores de espirales, o congeladores líquidos para inmersión.

En éste grupo de congeladores criogénicos se incluyen a los congeladores de inmersión que tienen aplicación para los productos de formas irregulares, como: pescado, pollo, etc. Para estos productos se obtiene buena transferencia térmica al aplicar el congelamiento por inmersión, que generalmente puede ser una solución acuosa de sal ó salmuera, azúcar (jarabe, sirope o almíbar), alcohol u otra sustancia no tóxica. Este tipo de congeladores por inmersión son muy utilizados para congelar pescado como atún en barcos (en salmuera), también es aplicado en industrias de aves para evitar oscurecimiento de piel antes de someter a congelamiento final en un túnel. Cuando se utiliza líquidos como etilenglicol o propilenglicol u otra sustancia análoga, se debe de proteger el producto embalándolo, lavando el embalaje del producto luego del proceso de congelado.

1.3.3.4. Congeladores Crío-mecánicos

Aunque esta técnica no es nueva, (la combinación de congelación criogénica y aire comprimido) los usos del congelamiento crío-mecánico están aumentando. Los productos de alto valor, pegajosos, tales como camarón IQF y los productos húmedos, delicados, tales como bayas de fresas congeladas individualmente y otros productos, son usos comunes para estos sistemas. Un congelador crío-mecánico típico tiene un paso inicial de inmersión en el cual el producto atraviesa un baño de nitrógeno líquido para fijar la superficie del producto. Este paso reduce la deshidratación y mejora las características de manejo del producto, como pegarse o hacerse un solo bloqueo de grumos o bloques pequeños. El producto criogénico con la corteza-congelada entonces se transfiere directamente en un congelador mecánico, donde el resto del calor se quita y la temperatura del producto se reduce a 0°F o más bajo (-32 °C). El paso criogénico está adaptado a veces a los congeladores mecánicos existentes para aumentar su capacidad. El congelamiento mecánico hace que

operaciones de explotación se haga con menores costos que solo congelar criogénicamente, es donde la combinación se debe manejar adecuadamente para que sea rentable. (Umaña Cerros, 2007)

1.3.4. Congelamiento de Carnes:

(refrigeracionpolair, s.f.), indica que para llevar a cabo el proceso de congelamiento en carnes, es preferible hacerlo con carne sacada de un animal de sacrificio reciente, siempre con el objetivo de conservar las propiedades alimenticias y evitar la contaminación con los alrededores.

Las carnes requieren más cuidado que las frutas y verduras, pues son más susceptibles a contaminación por microorganismos que pueden causar múltiples enfermedades en el humano si no se les manipula durante el proceso de congelación adecuadamente.

1.3.5. Congelamiento de Pastas y Panificados

(refrigeracionpolair, s.f.), Toda pasta o panificado puede ser congelado siempre y cuando se tenga en cuenta que por ejemplo en una pasta rellena son varios y diferentes los componentes que se deberán congelar. Los tiempos de congelamiento deberán ser los mínimos posibles pero observando que la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura superficial del producto no sobrepasen los 15°C (definido como ΔT). El incremento de esta variable producirá una deshidratación de la superficie del producto generando como consecuencia un deterioro del aspecto, la aparición de ampollas y hasta la rotura del producto por la acción del resecamiento. Es importante la determinación del peso de cada unidad, el volumen del producto y el ΔT apropiado.

1.3.6. Congelamiento de Vegetales

(refrigeracionpolair, s.f.), La selección de los vegetales a congelar es el principal paso para poder llevar a cabo un exitoso proceso de congelación, además el tiempo que trasciende desde que el vegetal es cortado hasta cuando empieza la congelación es importante, pues de ello dependerá que las propiedades de los vegetales se conserven al máximo.

1.4. ENFRIAMIENTO

Según el (Institute of Child Nutrition, 2016)

El enfriamiento es un punto crítico de control, o un punto en el que al alcanzar las temperaturas adecuadas dentro de un periodo de tiempo apropiado. Los cocineros deben conocer las temperaturas apropiadas para cocinar los alimentos, monitorear las temperaturas de los alimentos mientras son enfriados y registrar las temperaturas de enfriamiento.

Teniendo en cuenta los siguientes requerimientos:

- Los alimentos tienen que pasar a través de la zona de peligro (41 °F–135 °F) durante el proceso de enfriamiento. Las bacterias se multiplican rápidamente en la zona de peligro, así que el periodo en que los alimentos pueden estar a esa temperatura tiene que ser minimizado para limitar el crecimiento de bacterias. Las temperaturas y tiempos importantes de enfriamiento incluyen lo siguiente:
- Los alimentos calientes deben ser enfriados desde 135 °F hasta 70 °F (57.2 °C hasta 21.1 °C) dentro de un periodo de 2 horas.
- Los alimentos calientes deben ser enfriados desde 135 °F hasta 41 °F (57.2 °C hasta 5 °C) dentro de un periodo total de 6 horas.
- Los alimentos a temperatura ambiente (70 °F) (21.1 °C) deben ser enfriados a 41°F (5 °C) dentro de un periodo de 4 horas.

1.4.1. Métodos De Enfriamiento

La selección del método de enfriamiento está influenciada por factores como: la naturaleza y los requisitos de flujo del producto, el tipo de envase utilizado y finalmente por las restricciones económicas. Muchos productos pueden ser enfriados por cualquiera de estos métodos, ayudando significativamente en la mantención de la calidad, mientras que otros no se adaptan a determinados métodos y su calidad puede ser afectada negativamente si no se emplea el método adecuado. (Garrido, Tudela, & Gil, 2015)

1.4.1.1. Enfriamiento Con Aire Frio

Comercialmente existen dos métodos de enfriamiento que utilizan aire frío, estos son: refrigeración en cámaras frigoríficas (CF) y refrigeración por aire frío forzado (AF). (Ashrae, 2010).

1.4.1.1.1. Cámara Frigorífica (CF)

Es el método de refrigeración más antiguo y convencional. Debido a su versatilidad y bajo costo es muy utilizado comercialmente. Requiere de instalaciones simples, fácil operación y permite el enfriamiento y almacenamiento de los productos en un mismo lugar, evitando la manipulación excesiva. (Artés Calero, Artés-Hernández, Aguayo, & Gómez, 2015)

Por esta razón, este método se utiliza principalmente en productos tolerantes a un lento enfriamiento, que tienen vida útil relativamente larga y que se almacenan en la misma cámara en la que se enfrían. Los principales ejemplos incluyen flores cortadas, papas, cebollas, camotes, cítricos, manzanas y peras (Thompson, Mitchell, & Kasmire, 2007)

1.4.1.1.2. Enfriamiento por aire forzado (AF)

Modificación de la refrigeración en CF, a velocidades de entre 1 y 5 m s⁻¹, lo que incrementa el proceso de transferencia de calor y consecuentemente reduce el tiempo de enfriamiento de los productos. Este método es más común que cualquier otro método de enfriamiento, además presenta relativa

simplicidad en la instalación y operación, pocas limitaciones con respecto al producto que será enfriado y menores costos en relación al HE y EV (Kader, 2002). Este método fue desarrollado para productos que requieren de una rápida eliminación del calor de campo, inmediatamente después de la cosecha.

(Brackmann, y otros, 2011). encontraron que el enfriamiento por AF presenta algunas desventajas como ser: una mayor manipulación del producto, enfriamiento desigual; pues normalmente el producto que está en mayor contacto con el flujo de aire se enfría en un tiempo más corto en comparación con aquel que está en una posición más alejada y tiempo más lento de enfriamiento en comparación con el HE o EV, pudiendo causar pérdida.

En este sentido, será muy importante que el ambiente en el que se lleva a cabo el enfriamiento permanezca humedecido y que una vez el producto alcance la temperatura de enfriamiento deseada, el flujo de aire sea reducido o eliminado. El espacio central y los extremos abiertos se cubren para formar un túnel de aire. El ventilador crea una baja presión del aire dentro del túnel. El aire frío de la cámara se mueve a través de las aberturas o entre los contenedores hacia la zona de baja presión, eliminando el calor del producto. En general, este tipo de enfriamiento es de cuatro a diez veces más rápido que la refrigeración en una CF pudiendo realizarse en tiempos relativamente cortos que van desde una hora (flores de corte) a más de seis horas en frutos grandes **(Thompson, 2004)**. Fresas enfriadas de 20 a 2°C necesitaron de 3,75 horas en AF para alcanzar 7/8 de su enfriamiento total, mientras que cuando fueron colocadas directamente en una CF sin el uso previo de AF necesitaron 27 horas (Leal & Cortez, 1998). Sin embargo, son varios los factores que influyen en la velocidad de enfriamiento del AF, entre ellos, el volumen de aire frío que pasa a través del producto. En ciruelas enfriadas con AF y utilizando un flujo de aire de 0,001 m³ s⁻¹ kg⁻¹ de producto el tiempo necesario para alcanzar 7/8 de la temperatura de enfriamiento fue cuatro horas, mientras que cuando se utilizó una velocidad del viento dos veces mayor, el tiempo de enfriamiento se redujo en un 40% **(Thompson et al. 2008)**.

Otro factor que influye es el diseño de los envases; éstos deben tener aberturas de al menos 5% del área efectiva, para el paso del aire refrigerado, a la vez, deben estar distribuidas de forma que faciliten la circulación del aire a través de ellas, promoviendo un efectivo intercambio de calor entre el producto y el medio. Bananos enfriados en cajas plásticas con 40% del área efectiva abierta mostraron un tiempo de enfriamiento 45% menor que el tiempo necesario para enfriar los mismos, cuando estaban en cajas de cartón con un área abierta de 3,2%. Otro factor tiene que ver con las características del producto, como: la temperatura inicial, calor específico, tamaño y forma geométrica; la posición de la fruta en el envase y la posición de éstas en el estibado; otras características del aire de refrigeración, como temperatura, humedad relativa y propiedades térmicas), el coeficiente de transferencia de calor, la diferencia de temperatura entre el producto y el medio refrigerante y el tipo de medio de enfriamiento **(Brosnan et al 2001)**.

1.4.1.2. Hidroenfriamiento

El Hidroenfriamiento (HE), es un tipo de enfriamiento en el que se rocían o sumergen en agua fría, con el objetivo de eliminar el calor de campo. Las principales consideraciones al momento de aplicarlo se pueden clasificar como: condiciones del proceso, determinadas por la temperatura, calidad microbiológica del agua, método y tiempo de aplicación y, las propiedades del producto, determinadas por la matriz, superficie, tamaño y lesiones presentes **(Koksal 2015)**. En el HE generalmente se usan temperaturas de agua inferiores a las requeridas para el almacenamiento de los productos; esto con el objetivo de obtener menores periodos de enfriamiento; sin embargo, algunas veces estas temperaturas no son recomendadas, debido a los perjuicios que pueden ocasionar al producto. Por otro lado, si la temperatura del producto no es disminuida hasta la temperatura óptima de almacenamiento, no se estará siendo eficiente en el enfriamiento.

Concretamente; (DeEll & Vigneault, 2000) estudiaron el efecto de HE en pepinos (*Cucumis sativus L.*) y encontraron que éstos pueden ser enfriados utilizando temperaturas de agua inferiores a la temperatura de almacenamiento

recomendada (10°C). Sin embargo, cuando se utiliza agua con temperatura inferior a 6°C, y posteriormente se utiliza un almacenamiento en CF (10 días a 10°C), los frutos manifiestan DF.

Por otro lado, (Alique, 2006) al evaluar la respuesta metabólica de cerezos (*Prunus avium L.*), enfriados a 2 y 6°C (temperatura de pulpa) utilizando agua a 1°C; encontraron que en ambos casos el HE disminuyó la respiración y el consumo de sustratos respiratorios. No obstante, cuando los frutos fueron trasladados a CF, el efecto residual del HE fue más eficiente en los frutos que alcanzaron una temperatura de pulpa de 20°C.

(Garrido, Tudela, & Gil, 2015) evaluaron cuatro métodos de pre enfriamiento en espinaca (*Spinacia oleracea L.*) mínimamente procesada y encontraron que el HE provocó un incremento en el contenido de agua y una disminución de la tasa respiratoria de las hojas. En esta investigación también se resalta al HE como el mejor entre los métodos evaluados, pues disminuyó rápidamente la temperatura debido a la alta conductibilidad térmica del agua, ocasionando un menor daño celular y alargando la vida útil de las espinacas. Otro factor a considerar en el HE es el tamaño del producto y las condiciones del método empleado. Pues frutos pequeños requieren de un tiempo menor que aquellos frutos de diámetro superior. Mientras que condiciones del método como orientación del producto respecto al flujo de agua (horizontal o vertical) y tipo de aplicación (inmersión o aspersion) tienen una influencia directa sobre la eficiencia del HE. Es importante resaltar que los mejores resultados con el uso de HE son obtenidos cuando se usa en combinación con otros métodos (Cheng, 2006)

(Álvarez, Finger, Santos, Negreiros, & Casali, 2007); demostraron que el HE en perejil (*Petroselinum crispum*), redujo la pérdida de masa fresca y ayudó a mantener el contenido de agua durante el almacenamiento a 5°C; mientras que cuando no fue utilizado, y se mantuvieron las condiciones de almacenamiento, el producto presentó marchitamiento. Finalmente, debido al contacto del agua con los vegetales, además de disminuir la temperatura de los productos es posible aprovechar este procedimiento para obtener otros beneficios.

(Wang & Long, 2015) estudiaron la absorción de Ca en cerezas a partir del agua usada en HE y obtuvieron una disminución de frutos partidos, un incremento de la firmeza y un retardo en las pérdidas de vitamina C y color. Además, se ha demostrado que el HE reduce el crecimiento microbiano, debido al efecto del lavado de las superficies de los vegetales. Sin embargo, este método presenta algunas limitaciones; como la calidad sanitaria del agua empleada; siendo que, la reutilización continua podría concentrar microorganismos patógenos y ocasionar contaminación en los productos tratados, significando un problema y no una ventaja, generando un punto crítico de contaminación y tornando necesario el uso de sanitizantes (Reina, Fleming, & Humphries, 1995). Otra limitante consiste en que tanto el producto como las cajas y material auxiliar de empaque, deben ser tolerantes al agua, así como a la presencia de cloro y de otros compuestos químicos usados para sanitizar el agua de enfriamiento. En ese contexto, el HE puede ser una solución que servirá para mejorar las características del producto o por el contrario podrá conducir a problemas de contaminación, todo dependerá de las condiciones de proceso empleadas.

1.4.1.3. Enfriamiento por vacío

Ya en los años 50, en los EE. UU era utilizado el enfriamiento por vacío (EV) en la refrigeración de lechuga "iceberg" (Barger, 1961) y desde entonces viene siendo utilizado en la postcosecha de algunos vegetales y flores de corte a nivel experimental. A diferencia de otros métodos de enfriamiento, el EV extrae el calor de los productos colocados en un recipiente sellado (cámara de vacío) mediante la evaporación del agua presente en el interior del producto y/o que ha sido rociada intencionadamente en la superficie, cuando la presión es reducida mediante una bomba. Por lo tanto, el principio de funcionamiento del EV se basa en el calor de evaporación del agua (calor latente) que es suministrado por el calor sensible del producto y que finalmente ocasionará la disminución de la temperatura. El proceso de EV se produce en dos etapas; en la primera, con el producto dentro de la cámara a temperatura ambiente, la presión se disminuye del valor atmosférico para aproximadamente 20 mbar. Durante este tiempo la evaporación es lenta y el enfriamiento es pequeño,

siendo que, la temperatura del producto se mantiene constante hasta que se alcanza la presión de saturación. Una vez que esta se alcanza, el agua se comienza a evaporar y el producto se enfría rápidamente. La segunda etapa comienza simultáneamente con el fin de la primera, la presión se disminuye hasta alcanzar la presión correspondiente a la temperatura final deseada. En la práctica, la mayoría de los operadores no disminuyen la presión a un valor menor de 6,0 mbar (presión de saturación correspondiente a la temperatura de 0°C), debido al riesgo de congelar la superficie de los productos. El EV es considerado un método de enfriamiento rápido y uniforme en comparación con el AF y el HE. Un sistema comercial de refrigeración por vacío es capaz de reducir la temperatura de la lechuga “Iceberg” de 25 para 1°C en menos de 30 minutos (Everington, 1993). Para el enfriamiento de brócoli de 20 a 2,5°C son necesarios nueve minutos cuando se usa EV, mientras que usando AF son necesarios 65 minutos. El EV también es eficiente en la eliminación del “calor de campo”, manteniendo la calidad y aumentando la vida útil. (DeEll & Vigneault, 2000) Concretamente, (Kim, Kim, Lee, Nahm, & Jeong, 1995) consiguieron extender la vida postcosecha de lechuga “americana” hasta por 40 días, cuando éstas se enfriaron utilizando EV asociado con almacenamiento en CF a 0°C y 90% HR, mientras que cuando se prescindió del EV y solamente se utilizó el enfriamiento en CF la vida útil se redujo a 20 días.

(Alibas & Koksai, 2015) encontraron que el EV es el método más adecuado para el mantenimiento de los parámetros relacionados con la calidad de cabezas de coliflor (pérdida de peso, firmeza y calidad sensorial), en comparación con los sistemas AF e HE. Los autores también resaltan que los mejores resultados en términos de calidad se obtuvieron cuando las coliflores se mantuvieron las condiciones de 1°C y 90±5% HR, pues se obtuvo una vida útil de 30 días en comparación con los 10 días logrados cuando no se utilizó refrigeración. **He et al. (2013)** encontraron un aumento en la actividad de las enzimas catalasa y peroxidasa; y una disminución en los niveles de peroxidación lipídica (MDA) de cerezas enfriadas mediante EV y almacenadas en CF a 1°C y 95% HR durante 7 días; demostrando que el EV. Métodos de enfriamiento aplicables a frutas y también es capaz de proteger las enzimas antioxidantes que ayudan a

mantener la frescura de estos frutos. Los principales factores que influyen en el tiempo y la eficiencia del EV son: la relación área superficial/volumen del producto expuesto y la facilidad con la que el agua sale del producto. Sin embargo, se debe considerar que una vez que el agua es removida, los productos no deben tener un daño excesivo en su estructura, pues ocasionaría la pérdida de calidad de los mismos. Debido a lo anterior, el EV es más adecuado y utilizado comercialmente en el enfriamiento de lechugas, brócoli, espinaca (Garrido, Tudela, & Gil, 2015). coliflor y hongos comestibles (Tao, Zhang, & Yu, 2007), pero no es eficaz cuando se aplica a frutas, tubérculos y raíces, principalmente por la baja relación área superficial/volumen que presentan. Entre las ventajas del EV se puede mencionar la reducción uniforme de la temperatura interna y externa de los productos, la cual permite una menor contracción y colapso de la estructura del vegetal, además de ser considerado un proceso seguro y libre de contaminantes, debido a que el aire solamente entra en la cámara de vacío al final del proceso, cuando se abre la cámara para liberar el vacío; inactiva microorganismos patógenos (*E. coli*) debido a daños ocasionados en el ADN microbiano, destruyendo las capacidades reproductivas, y otras funciones de las células de los patógenos. Sin embargo, las inversiones para la implementación del EV son mayores en comparación con los sistemas que utilizan aire y agua; además, la aplicación del EV vacío se restringe a productos con una vida útil corta, en los que se requiere de períodos cortos de refrigeración. Para la aplicación comercial de EV se debe tener en cuenta los límites de pérdida de agua permitidos para cada manera que el proceso no afecte la calidad. Concretamente, al enfriar flores de narciso mediante EV, redujeron las pérdidas de agua de 2,5% para 1,5% y los tiempos de enfriamiento de 65 para 45 s mediante el rociamiento de agua previo al enfriado. En brócoli y zanahorias en rodajas fue observada una reducción de la pérdida de agua de 7,8 y 2,5%, respectivamente, cuando el producto fue humedecido durante el EV (Zhang & Sun, 2006)

Sin embargo, cuando se aplica agua durante el EV, deben ser considerados factores como: la sanitización del agua y del equipo de aplicación, debido al riesgo de una introducción de un patógeno en los productos; además, la

aspersión del agua se debe realizar uniformemente en la superficie del producto, debido a que el exceso de humedad puede sobrecargar el sistema de refrigeración de vacío

1.5. Modelos De Predicción De Tiempo De Congelamiento

Para (Carranza, 1990), la definición del IIR tiende a proporcionar una velocidad promedio basada en el cambio de temperatura en la masa del producto. Aunque la velocidad expresada por esta definición debería ser aceptable para la evaluación de las características de la calidad, el parámetro tiene poco uso en el diseño de procesos. A fin de incorporar la velocidad de congelación al diseño de procesos, debe expresársele como tiempo de congelación. Este parámetro puede convertirse directamente a tiempo de residencia del producto en el medio congelante. Además, el tiempo de congelación es necesario para el cálculo de la velocidad a la cual se requiere la refrigeración para aparejar la capacidad del sistema de congelación. La predicción de los tiempos de congelación, es el punto de partida en el diseño de sistemas de congelación. Sin capacidad de predicción, el proceso completo de diseño se vuelve dependiente de experimentos de laboratorio y escala piloto. Aunque las etapas experimentales no pueden eliminarse, su magnitud puede reducirse significativamente.

Las predicciones del tiempo de congelación se dividen en dos tipos de métodos:

1.5.1. Numéricos:

- Permiten predecir perfiles de temperatura y tiempos de proceso.
- Requieren información detallada de la variación de las propiedades térmicas.
- Pueden considerar condiciones operativas bien definidas (temperatura inicial del alimento, temperatura del medio refrigerante, coeficiente de transferencia calórica, dimensiones del producto, geometría ya sea regular o irregular).

1.5.2. Analíticos

Generalmente proveen sólo la información del tiempo de procesamiento sin permitir conocer la historia térmica de cada punto. Utilizan propiedades térmicas del alimento evaluadas a determinadas temperaturas y los resultados que provee son válidos para un rango establecido de variación de los parámetros de proceso. Son dependientes de la forma del alimento y en algunos casos han sido desarrollados para casos particulares. Algunos métodos son:

1.5.2.1. Método De Plank:

(Orrego Alzate, 1996); menciona que la solución aproximada proporcionada por Planck, que suele ser suficiente para propósitos de ingeniería. Sus suposiciones son:

En $t = 0$ se inicia en la etapa de congelación. El material está a la misma temperatura. Todo el material se congela en el punto de congelación, con un calor latente constante. El calor transferido por conducción en la capa congelada es pequeño, siendo un proceso pseudoestable.

$$t_F = \frac{\rho H_L}{T_F - T_a} \left(\frac{P'a}{h_c} + \frac{R'a^2}{kf} \right)$$

Donde:

- **Tf** : Es El Tiempo De Congelación,
- **P** : Es La Densidad,
- **HL** : Es El Calor Latente De Fusión,
- **A** : Es El Tamaño Del Producto,
- **TF** : Es La Temperatura De Congelación
- **Ta** : Es La Temperatura Del Medio De Congelación
- **Hc** : Es El Coeficiente De Transferencia De Calor Convectivo,
- **Kf** : Es La Conductividad Térmica Del Producto Congelado,

- **P' and R'** : Se Usan Para Tomar El Factor De Forma Del Producto,

Con: $P'=1/2$, $R = 1/8$ para una placa finita; $P'=1/4$, $R'=1/16$ para un cilindro infinito; y $P'=1/6$, $R = 1/24$ para una esfera. La dimensión a es el grosor del producto para una lámina infinita, diámetro para un cilindro infinito, y diámetro para una esfera.

1.5.2.2. Metodo Cleland

(Torres Ibañez, 2012); Cleland (1990) ha presentado un nuevo método para la predicción de tiempos de congelación y descongelación que pueden ser utilizados para objetos de un determinado tamaño y de cualquier forma mediante aproximaciones a la forma de un elipsoide.

$$E = 1 + \frac{(1 + \frac{2}{N_{Bi}})}{(\beta_1^2 + \frac{2\beta_1}{N_{Bi}})} + \frac{(1 + \frac{2}{N_{Bi}})}{(\beta_2^2 + \frac{2\beta_2}{N_{Bi}})}$$

Donde:

- Para una lámina infinita, el factor de forma $E = 1$ (ya que $B_1=\infty$, $B_2 =\infty$)
- Para un cilindro infinito, el factor de forma $E=2$ (ya que $B_1=1$, $B_2=\infty$)
- Para una esfera, el factor de forma, $E = 3$ ($B_1=1$, $B_2=1$)

1.5.2.3. Método De Pham

(Torres Ibañez, 2012), Pham (1986) sugirió un método para predecir el tiempo de congelación y el de descongelación de alimentos. Este método puede usarse para objetos finitos e irregulares aproximándolos a un elipsoide. Otra ventaja de este método es que es que es fácil de usar, y da resultados razonablemente precisos.

$$t = \frac{d_c}{E_f h} \left[\frac{\Delta H_1}{\Delta T_1} + \frac{\Delta H_2}{\Delta T_2} \right] \left(1 + \frac{N_{Ri}}{2} \right)$$

Donde:

- **Dc** : es la dimensión característica, que es o bien la distancia más corta hasta el centro, o bien el radio (m).
- **H** : es el coeficiente de transmisión de calor por convección ($W/(m^2\text{°C})$)
- **Ef** : es el factor de forma, una dimensión de transmisión de calor equivalente.
- **Ef=1** : para una lámina infinita, Ef=2 para un cilindro infinito, y Ef=3 para una esfera
- **$\Delta H1$** : es el cambio de entalpía volumétrico (J/m^3) durante el período de enfriamiento
- **$\Delta H2$** : es el cambio de entalpía volumétrico (J/m^3) durante el cambio de fase y el periodo de pos enfriamiento
- **$\Delta T1$ y $\Delta T2$** : Las gradientes de temperatura

1.5.3. Ejemplo De Tiempo De Congelación Con El Programa Freezing Time

- Determinación de variables y el cálculo de tiempo de congelamiento de la Fruta denominada mango

En el cuadro se muestra los cálculos de tiempo de congelamiento del mango, todo a partir del programa de ingeniería Freezing Time, que establece el método de Pham, como la más precisa en la actualidad.

Pham presenta aproximaciones analíticas para modificar la ecuación original de Plank, que divide el proceso en tres etapas: preenfriamiento, cambio de fase y su enfriamiento, y cada cambio de fase ocurre a una temperatura media T_{fm} común a todos los alimentos, todo este proceso enmarcado indicando que el centro térmico es el punto de intersección de dos frentes de congelación que avanzan desde las superficies externas hacia el interior del bloque.

Tipo Alimento: Mango		Condiciones De Temperatura		Tiempo De Congelamiento (Min)	
Composición Del Alimento		T. De Ingreso	20	Modelo Propuesto: Planck	6.142
Agua (%)	83	T. Centro	18	Modelo Propuesto: Cleland Y Earle	7.179
Proteína (%)	0.4	T. Tunel	35		
Lípidos (%)	0.2	Sistema De Congelación		Modelo Propuesto: Cleland Y Earle	8.043
Cho (%)	14.9	Tipo	Aire Lecho Fluidizado (Qf)90		
Fibra (%)	1	Coeficiente Convectivo	120	Modelo Propuesto; Hung Y Thompson	7.595
Hielo (%)	0	Forma Regular		Modelo Propuesto: Cleland Y Earle	7.812
Ceniza (%)	0.5	Forma Del Alimento	Placa Infinita		
Forma Del Alimento		Factor De Forma	1	Modelo Propuesto: Pham	10.202
Forma Regular		Dimensión Característica	0.01		

Fuente 2: Elaboración propia – Programa Freezing Time 1.2.

1.6. Predicción De Tiempo De Enfriamiento

Este proceso de enfriamiento, conocido como pre enfriado o chilling, que solamente quita el calor sensible sin ocurrir ningún cambio de fase.

- Utilizando la siguiente formula:

Ecuación de la conducción de calor de Fourier

$$\frac{\partial T}{\partial \theta} = \frac{1}{\rho c} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right]$$

Donde:

- T : Temperatura
- Θ : Tiempo
- P : Densidad del alimento
- C : Calor específico del alimento
- K : Conductividad térmica del alimento
- x, y, z : Direcciones o coordenada

El tiempo de enfriamiento es influenciado por el cociente entre la resistencia externa a la transferencia de calor y la resistencia interna del traspaso térmico. Este cociente, llamado el número de Biot(Bi), se define como:

$$Bi = hL/k$$

Donde:

- h : coeficiente de transferencia de calor convectivo
- L : dimensión característica del alimento (distancia más corta del centro térmico del alimento a su superficie)
- K : conductividad térmica del alimento

Cuando:

- $Bi < 0.1$, la resistencia interna al traspaso térmico es mucho mayor que la resistencia externa, el método de capacidad global, se puede utilizar para determinar el tiempo de enfriamiento de un alimento (Heldman,1975).
- $Bi > 40$, la resistencia interna al traspaso térmico es mucho menor que la resistencia externa, y la temperatura superficial del alimento se puede asumir igual a la temperatura del medio que enfría. Para esta última situación, las soluciones de la ecuación de conducción del calor de Fourier están disponibles para simples formas geométricas.
- $01 < Bi < 40$, la resistencia interna al traspaso térmico y el coeficiente de transferencia de calor convectivo deben ser considerados. En este caso, soluciones que incorporan funciones trascendentales para explicar la influencia del número de Biot, están disponibles para formas geométricas simples.

Los métodos simplificados para predecir los tiempos de refrigeración de alimentos y de bebidas se pueden encontrar disponibles para los alimentos de formas regulares e irregulares sobre una amplia gama de los números de Biot.

1.6.1. Ejemplo De Tiempo De Enfriamiento

Fuente: Programa foodconduction

Una planta procesadora de espárragos blancos necesita calcular el tiempo de enfriamiento de turiones de 10 cm de longitud y 2 cm de diámetro. La planta cuenta con un sistema de enfriamiento con agua fría (HIDROCOOLER) a una temperatura variable.

El sistema de refrigeración del Hidrocooler permite regular la temperatura del agua entre 0° y 10° C. Además, el producto no puede permanecer más de 12

minutos a la acción del agua, ya que de lo contrario la pérdida de nutrientes y sólidos solubles es elevada.

Se estimó que el coeficiente convectivo es en promedio $60 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

¿Cuál debería ser la temperatura inicial del producto y la temperatura del agua para que se cumpla el requisito tecnológico citado líneas arriba, si la temperatura ideal de almacenamiento refrigerado del espárrago blanco es 5°C ?

Propiedades termofísicas promedio:

- $K = 0.562 \text{ W / mK}$
- $c_p = 3970.55 \text{ J / kg K}$
- $\rho = 1025.05 \text{ kg / m}^3$

Datos:

- $H = 10 \text{ cm}$ $h = 60 \text{ W / m}^2 \text{ K}$ $t = 12 \text{ min. max}$
- $D = 2 \text{ cm}$ $T(0, 0, t) = 5^\circ\text{C}$

Solución:

Relación de dimensiones:

$H/D = (10/2) = 5$; como $1 < H/D < 6$ se trata de un cilindro corto.

Como la geometría corresponde a un cilindro corto, la solución se basa en la intersección de una plancha infinita con un cilindro infinito:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Cilindro} \\ \text{corto, } Y \end{array} \right]_{R, H=2L} = \left[\begin{array}{c} \text{Cilindro} \\ \text{infinito, } Y_C \end{array} \right]_R \times \left[\begin{array}{c} \text{Plancha} \\ \text{infinita, } Y_P \end{array} \right]_{H=2L}$$

$$\left[\frac{T(0,0,T) - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} \right]_R^H = \left[\frac{T(r=0,t) - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} \right]_R \times \left[\frac{T(z=0,t) - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} \right]_{H=2L}$$

Se debe elegir una temperatura inicial y una temperatura del medio y calcular con estas el tiempo que se tarda el alimento en alcanzar una temperatura central de 5 °C. si el tiempo calculado con las temperaturas elegidas es inferior a 12 min. éstas son adecuadas, ya que el alimento al termino del proceso de enfriamiento no se ha expuesto a más de 12 min. a la acción del agua, de lo contrario se debe probar con otras temperaturas.

Se elige: $T_0 = 18.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_{\infty} = 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Cálculo de la temperatura adimensional:

$$Y = \frac{T(0,t) - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = \frac{(5 - 2) \text{ }^{\circ}\text{C}}{(18.7 - 2) \text{ }^{\circ}\text{C}} = 0.1796 \approx 0.18$$

El tiempo requerido para obtener un $Y = 0.1796$ se obtendrá mediante suposiciones de tiempo, como se muestra a continuación:

TIEMPO (s)	Plancha infinita Y_P		Cilindro infinito Y_C		Cilindro corto	
	$T(z=0,t)$	Y_P	$T(r=0,t)$	Y_C	$Y_P \times Y_C$	Y
800	18.7	1	5.3	0.1976	0.1976×1	$\neq 0.1796$
840	18.7	1	5	0.1796	1×0.1796	≈ 0.1796

Por lo tanto, el tiempo asumido de 840 s es el tiempo requerido para que el alimento se enfríe desde una temperatura inicial de 18.7 °C hasta una temperatura final de 5 °C, pero como este tiempo es superior a 12 min. (tiempo

máximo que se puede mantener el producto a la acción del agua) se deben asumir otras temperaturas:

Se elige: $T_{\theta} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_{\infty} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Cálculo de temperatura adimensional:

$$Y = \frac{T(0, t) - T_{\infty}}{T_{\theta} - T_{\infty}} = \frac{(5 - 0)^{\circ}\text{C}}{(10 - 0)^{\circ}\text{C}} = 0.5$$

El tiempo requerido para un $Y = 0.5$ se obtendrá mediante suposición de tiempos, como se muestra a continuación:

TIEMPO (s)	Plancha infinita Y_P		Cilindro infinito Y_C		Cilindro corto	
	$T(z = 0, t)$	Y_P	$T(r = 0, t)$	Y_C	$Y_P \times Y_C$	Y
800	10	1	7.7	0.77	10×0.77	$\neq 0.5$
840	10	1	5	0.5	1×0.5	≈ 0.5

Por lo tanto, el tiempo asumido de 390 s, es el tiempo requerido para que el alimento se enfríe desde una temperatura inicial de $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta una temperatura final de $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. como es inferior a 12 min. (tiempo máximo que se pueda mantener el producto a la acción del agua) las temperaturas asumidas son correctas.

CONCLUSIONES

- El oxígeno atmosférico puede reaccionar con componentes de los alimentos, que se pueden volver rancios o cambiar su color natural. Igualmente, dañinas resultan las plagas de insectos y roedores, que son responsables de enormes pérdidas en las reservas de alimentos.
- No hay ningún método de conservación que ofrezca protección frente a todos los riesgos posibles durante un periodo ilimitado de tiempo

RECOMENDACIONES

- Mediante la congelación retrasamos el crecimiento bacteriano y la consiguiente degradación de los alimentos. Con el frío mantenemos los alimentos en buen estado durante más tiempo.
- Se deben respetar los tiempos máximos de duración de los productos congelados. Los tiempos máximos de conservación se pueden obtener de tablas, como la que se indica en este trabajo para temperaturas de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ o menores, o las que se incluyen en el manual de utilización del freezer o de las cámaras de almacenamiento

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alibas, I., & Koksai, N. (2015). Forced-air, vacuum, and hydro precooling of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis cv. Freemont): Part II. Determination of quality parameters during storage. 45-50.
- Alique, R. M. (2006). Metabolic response to two hydrocooling temperatures in sweet cherries cv Lapins and cv Sunburst. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(12), 1847-1854.
- Álvares, V., Finger, F., Santos, R., Negreiros, J., & Casali, V. (2007). Effect of pre-cooling on the postharvest of parsley leaves. . *J. of Food, Agriculture and Environment*, 5(2), 31–34. .
- Artés Calero, F., Artés-Hernández, F., Aguayo, E., & Gómez, P. (2015). Cálculos frigoríficos en industrias pequeñas y artesanales de productos mínimamente procesados de IV y V gamas. *Revista Iberoamericana*.
- Barger, W. R. (1961). Factors affecting temperature reduction and weight-loss in vacuum cooled lettuce. *Marketing Research Report n°.469*, 5 - 20.
- Brackmann, A., Anese, R., Giehl, R., Weber, A., Eisermann, A., & Sestari, I. (2011). Pré-resfriamento para conservação pós-colheita de melões Cantaloupe 'Hy Mark'. *Bragantia*, 70, 672-676.
- Brackmann, A., Weber, A., Giehl, R., & Eisermann, A. (2009). Pré-resfriamento sobre a qualidade de pêssegos 'Chiripá'. *Ciência Rural*, 39 (8), 2354- 2360.
- Carranza, R. (1990). *Relationship between calculated freezing times and those measured in real food packs*. MSc thesis UnNersity of Reading.
- Cheng, H. (2006). Vacuum cooling combined with hydrocooling and vacuum drying on bamboo shoots. *Applied Thermal Engineering*, 26(17-18),, 2168-2175.

DeEll, J., & Vigneault, C. (2000). Vacuum cooling and storage temperature influence the quality of stored mung bean sprouts. . *HortScience*, 35, 891-893.

Everington, D. (1993). Vacuum technology for food processing. *Food Technology International Europe*, 71-74.

Garrido, Y., Tudela, J., & Gil, M. (2015). Comparison of industrial precooling systems for minimally processed baby spinach. . *Postharvest Biology and Technology*, 102, 1-8.

Institute of Child Nutrition. (2016).

Kader, A. (2002). *Postharvest technology of horticultural crops*. Coop. Extension. Service. University of California. California: Resources Publication. Berkley.

Kim, B., Kim, D., Lee, S., Nahm, G., & Jeong, J. (1995). Freshness prolongation of crisphead lettuce by vacuum cooling and cold-chain system. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 27(4), 546-554.

Leal, P., & Cortez, L. (1998). Métodos de pré-resfriamento de frutas e hortaliças. In: II Curso de Atualização em Tecnologia de Resfriamento de Frutas e Hortaliças. Campinas. 81-91.

Orrego Alzate, C. E. (1996). *Congelador de Placa: Diseño y modelado*. Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, Faculta de Ciencias y Administración.

refrigeracionpolair. (s.f.). Obtenido de http://www.refrigeracionpolair.com.ar/fichas_tecnicas/info_congelamiento/info_congelamiento.pdf

Reina, L., Fleming, H., & Humphries, E. (1995). Microbiological control of cucumber hydrocooling water with chlorine dioxide. *Journal of Food Protection*, 58(5), 541-546.

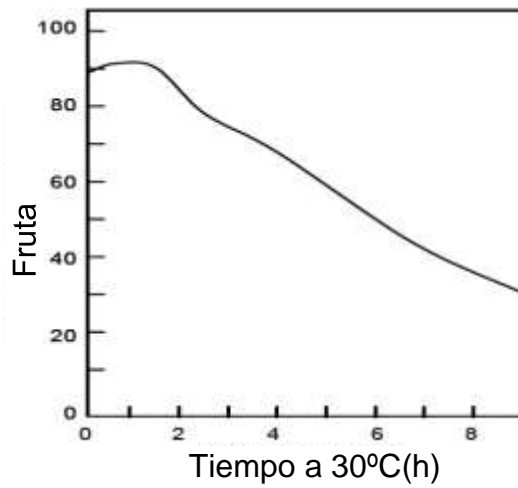
- S, S. J., Finger, F., & Corrêa, P. (2008). Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. *Armazenamento de frutas e hortaliças. Viçosa*, 469-502.
- Salvadori , O. V. (1994). *Transferencia de calor durante el congelamiento, almacenamiento y descongelación de alimentos*. Tesis presentada para optar el grado de Doctor en ingeniería., Universidad Nacional de la Plata.
- Tao, F., Zhang, M., & Yu, H. (2007). Effect of vacuum cooling on physiological changes in the antioxidant system of mushroom under different storage conditions. *Journal of food engineering*, 79(4), 1302-1309.
- Thompson, J., Mitchell, F., & Kasmire, R. (2007). *Enfriamiento de Productos Hortofrutícolas. In: Pelayo-Zaldívar, C. y Cantwell, M. (eds. de la versión en español). Tecnología postcosecha de productos hortofrutícolas*. University of California-Davis.
- Torres Ibañez, F. (2012). *Ingeniería de Procesos 2*. Universidad Nacional Mayor de san Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica; Escuela de Ciencia de los Alimentos, Lima.
- Umaña Cerros, E. e. (2007). *Conservación de alimentos por frío*.
- Wang, Y., & Long, L. (2015). Physiological and biochemical changes relating to postharvest splitting of sweet cherries affected by calcium application in hydrocooling water. *Food Chemistry*, 181, 241-247.
- Zhang, Z., & Sun, D. (2006). Effect of cooling methods on the cooling efficiencies and qualities of cooked broccoli and carrot slices. . *Journal of Food Engineering*, 77(2), 320-326.

ANEXO

Anexo 1: Vida Útil De Alimentos

Vida útil (días) algunos alimentos de origen animal y vegetal.			
Alimento	0	° C	38
Carne bovina	10		
Pescado	–		
Hortalizas de hoja	180		
Frutas	20		

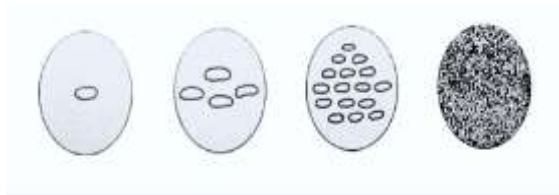
Anexo 2: Deterioro De Frutas En Una Semana



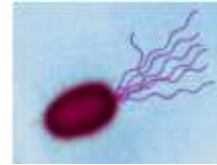
Anexo 3: Capacidad De Almacenamiento

a. Reduce El Desarrollo De Microorganismos

- N° de Bacterias



- Salmonella



- Crecimiento de Penicilliumsp. En Naranja



- Coagulación ácida de leche por acción de bacterias lácticas



b. Reduce La Actividad Metabólica

Actividad Respiratoria De Espinaca

Temperatura	Tasa Respiratoria
0 °C	30
10 °C	100
20 °C	230



Deterioro

↑ Tasa Respiratoria ↑



c. Disminuye La Deshidratación



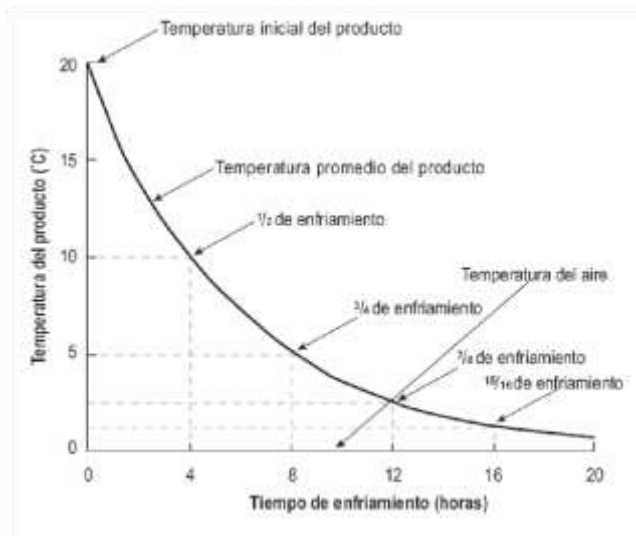
d. Retrasa Reacciones Indeseables



CURVAS DE ENFRIAMIENTO

- ¿Qué factores que afectan el tiempo de enfriamiento?
 - Temperatura inicial
 - Medio refrigerante (ej. Agua-aire)
 - Velocidad del aire si se usa.
 - Área expuesta
 - Espesor
 - Conductividad térmica
 - Diferencia de temperatura entre el alimento y el medio refrigerante

Anexo 5: Curva De Enfriamiento



Requerido para Enfriar el producto a la mitad de la Diferencia entre la T inicial del Producto y la del Medio refrigerante

El tiempo de enfriamiento en la práctica se estima como o tres veces el T

Anexo 6: Métodos De Enfriamiento

1. Aire no forzado



- *Ventajas* : *Relativamente Bajo Costo*
- *Desventaja* : *Enfriamiento Lento*

2. Aire forzado



- *Ventajas* : *Más rápido que aire no forzado*
- *Desventaja* : *Velocidad Insuficiente para Algunos Productos.*

Anexo 7: Métodos De Enfriamiento

3. Agua



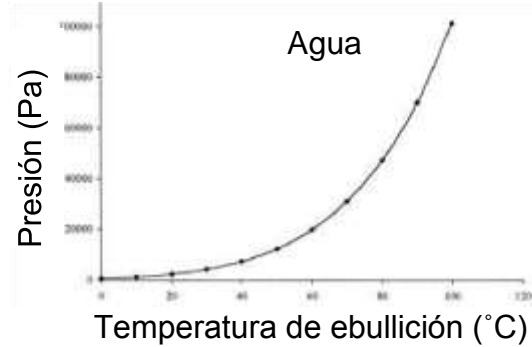
- Ventajas : Más Rápido Que Aire Forzado
- Desventaja : Intolerancia De Algunos Productos Envases.

4. Intercambiador De Placas



Consiste en una serie de placas corrugadas de metal con orificios para el pasaje de 2 líquidos entre los que Ocorre el intercambio de calor.

5. VACÍO

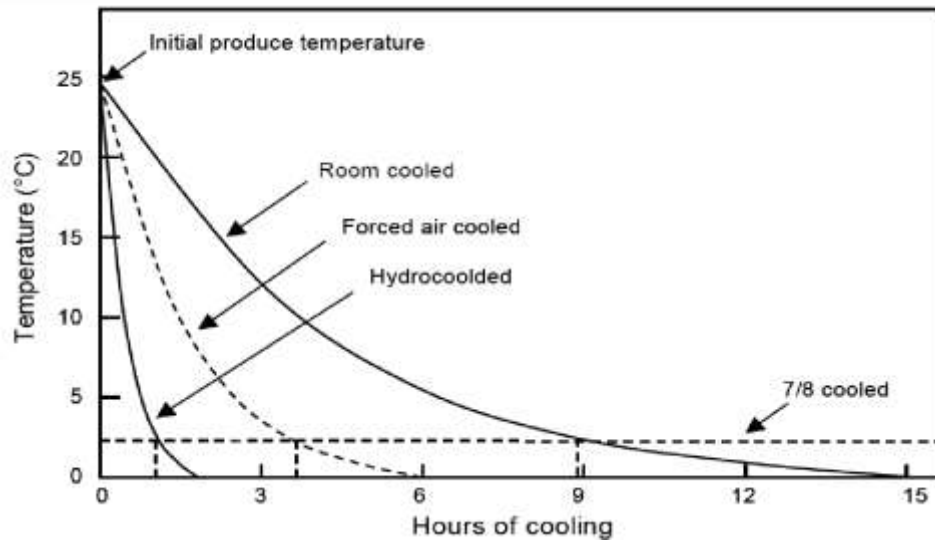


Al reducir la presión se favorece la eliminación evaporativa de agua del producto. Esto provoca un rápido enfriamiento. Se utiliza principalmente para el enfriamiento de hortalizas de hoja y hongos

- Ventajas : Alta velocidad.
- Desventaja : Alto costo (inversión inicial)
Pérdida de peso durante el enfriamiento del producto
Normalmente son operaciones discontinuas



COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE PRE-ENFRIADO



EFFECTOS DE LA CONGELACIÓN

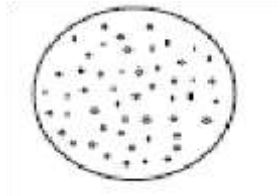
- Alimentos:
 - Cambio de volumen
 - Daño sobre las células ocasionado por los cristales de Hielo
 - Concentración de solutos
 - En algunos casos se observa precipitación de almidón y proteínas y desestabilización de emulsiones

Daño ocasionado por los cristales de hielo

- La cristalización posee 2 etapas:
 - Nucleación
 - Asociación de moléculas de forma ordenada y tamaño suficiente para servir de sitio para el crecimiento cristalino.
 - Crecimiento cristalino
 - Agrandamiento de los núcleos por adición ordenada de moléculas

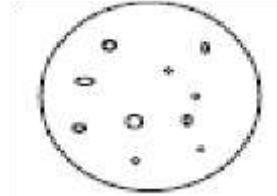
Anexo 11: Congelación Lenta Y Congelación Rápida

La formación de cristales de hielo está afectada por la velocidad de congelación.



Congelación Rápida

- Cristales intra y extra celulares.
- Numerosos cristales, pero pequeños
- La calidad del producto congelado es en general superior.



Congelación Lenta

- Mayor formación de cristales a nivel extracelular
- Pocos cristales, pero de gran tamaño
- Menor calidad en general