

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ

Facultad De Ciencias Aplicadas

EAP de Ingeniería Agroindustrial

## OPERACIONES UNITARIAS II



### CONGELACION DE ALIMENTOS

FACILITADOR : MSc. Miguel Angel QUISPE SOLANO

TARMA - PERÚ

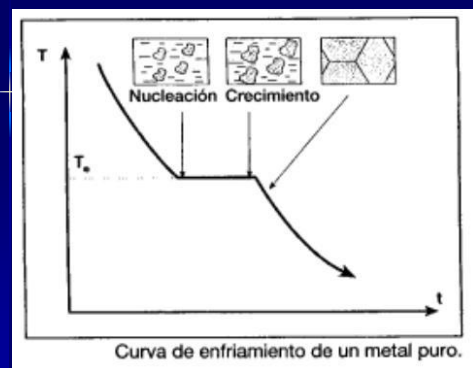
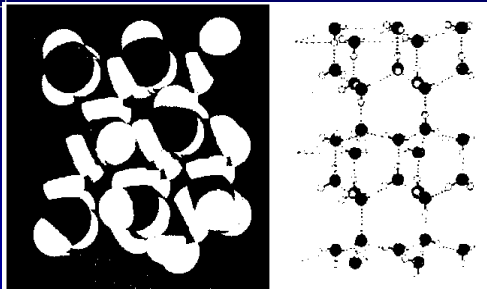
## LA CONGELACIÓN

- Método eficaz de conservación de los alimentos con altos contenidos de humedad.
- Operación unitaria en la que la temperatura de este se reduce por debajo de su punto de congelación, con lo que se logra la remoción del agua en forma de hielo
- Inhibe el desarrollo de microorganismos de deterioro y patógenos, retarda las reacciones bioquímicas y enzimáticas por el efecto combinado de bajas temperaturas y  $A_w$  baja.
- Alimentos congelados una amplia gama: frutas, verduras, productos marinos, carne, alimentos horneados, platos preparados, etc.

- Al descender la temperatura las moléculas tienden a agregarse en cristales
- Cristalización supone el paso de las moléculas de agua desde una distribución desordenada (líquido) hasta un estado de ordenación molecular (sólido).
- El proceso de ordenación molecular requiere el desplazamiento de las moléculas desde su posición inicial hasta aquellas que le corresponde en la estructura organizada, por lo que será necesario dispongan de la suficiente movilidad y de tiempo.

- El proceso de congelación incluye una serie de fases:
  1. Subenfriamiento
  2. Nucleación
  3. Crecimiento de cristales
- Durante la congelación estas dos últimas etapas se solapan en el tiempo, pero es posible controlar la velocidad relativa de cada una de ellas y de esa forma, modificar las características del sistema final

## Estructura del hielo



## 1. SUBENFRIAMIENTO

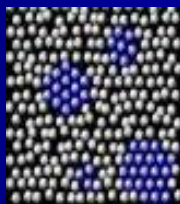
- Antes de la cristalización debe existir un estado termodinámicamente inestable
- Propicio para el comienzo de la formación de agregados submicroscópicos de agua que produzca la interfase adecuada.
- El grado de subenfriamiento necesario vendrá marcado por el inicio de la nucleación

## 2. NUCLEACION

- Agregación de un grupo de moléculas en una diminuta partícula ordenada pero de tamaño suficiente para sobrevivir y servir de sitio para el crecimiento cristalino (núcleo de cristalización).
- Dos tipos de nucleación:
  - a) Homogénea
  - b) Heterogénea

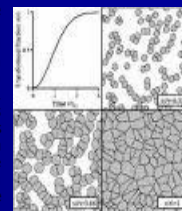
### a) Nucleación Homogénea:

- Se produce en sistemas puros y lleva a la formación de cristales tridimensionales. Ejm: la nucleación del agua pura



### b) Nucleación Heterogénea

- Tiene lugar cuando el medio no es totalmente puro, y los agregados de agua se unen sobre un agente de nucleación extraño (las paredes del recipiente o más comúnmente alguna partícula de material insoluble o partículas extrañas suspendidas), facilitando la organización de las moléculas de agua para formar núcleos estables. En contraste con la nucleación homogénea, la probabilidad de que ocurra la nucleación heterogénea con un subenfriamiento pequeño es alta, porque las partículas sobre las que se fijan los agregados incrementan su estabilidad facilitando el proceso.



## 3. CRECIMIENTO DE CRISTAL

- Las moléculas de agua se desplazan hacia los núcleos ya formados contribuyendo con su crecimiento, teniendo lugar la adición organizada de moléculas de agua a los núcleos formados que así aumentan de tamaño
- El número de moléculas de agua que se unen al núcleo a de ser mayor que las que se alejen de él.
- A diferencia de la nucleación, el crecimiento de los cristales puede tener lugar a temperaturas muy cercanas al punto de fusión. De hecho, las moléculas de agua tienen una mayor tendencia a migrar y asociarse con núcleos ya existentes que a formar nuevos núcleos.
- La Velocidad de cristalización está controlada por transferencia de calor y materia.

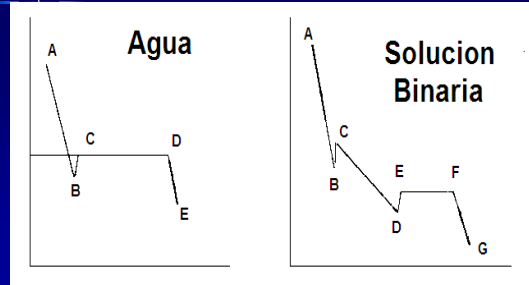
### Se distinguen tres tipos principales de cristales

- 1. Cristales regulares hexagonales:** los ejes de cristalización que parten del núcleo de cristalización forman entre sí un ángulo de 60°. Se forman en congelaciones muy lentas.
- 2. Dendritas irregulares:** se originan en velocidades de congelación medias y elevadas. De los núcleos de cristalización no sólo salen seis sino muchos más ejes de cristalización que forman entre sí diferentes ángulos.
- 3. Cristales esférico:** se presentan en congelaciones rápidas y ultrarápidas

## PROPIEDADES FÍSICAS Y TÉRMICAS DEL AGUA Y EL HIELO

CARACTERÍSTICA	AGUA	HIELO
Calor específico en KJ/Kg K	4.232	2.098
Densidad en Kg/m <sup>3</sup>	1000.0	917.0
Coefficiente de conductibilidad calórica, en W/Mk	0.59	2.24

## CURVAS DE CONGELACIÓN DEL AGUA PURA Y SOLUCIÓN BINARIA



## Temperatura de inicio de congelación

- Es la temperatura más alta a la que el hielo puede existir en equilibrio con una solución acuosa de una composición dada.
- Para el agua pura esta temperatura corresponde a 0°C, en el caso de los alimentos el agua contiene sólidos solubles los que hacen descender el punto de congelación.

## PUNTO EUTECTICO

- Punto invariable del diagrama de fases temperatura-concentración de una solución binaria, en la que la solución puede existir en equilibrio tanto con el soluto cristalino como con el solvente cristalino. En condiciones de equilibrio el enfriamiento hasta la temperatura eutéctica da lugar a la cristalización simultánea de solvente y soluto en proporción constante y a °T constante hasta que ocurre la solidificación máxima.

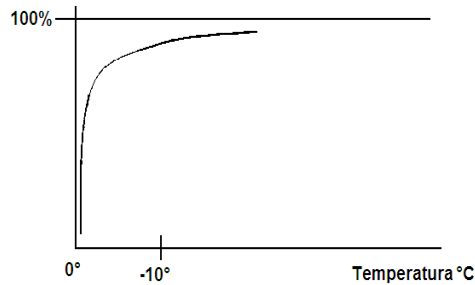
## Algunos puntos eutécticos

- CaCl<sub>2</sub> -55°C
- NaCl -21.13°C
- Sucrosa -9.5°C
- Glucosa -5°C
- Glycerol -46.5°C

## Temperatura eutéctica

- La congelación de un alimento se considerará completa cuando su temperatura alcance la de la mezcla eutéctica más baja (temperatura de fin de congelación). Sin embargo esto rara vez se consigue durante la congelación de los alimentos ni siquiera es su objetivo porque requeriría el descenso de la temperatura a valores muy bajos e implicaría costos muy elevados.  
Ejm: helados -55°C, carne -50 a -60°C, pescado -55°C
- La máxima formación de cristales de hielo no se consigue hasta que no se alcanza esta temperatura. Como los alimentos nunca se congelan comercialmente a estas temperaturas tan bajas, siempre contienen cierta proporción de agua no congelada.

## PROPORCIÓN DE AGUA CONGELADA EN LOS ALIMENTOS DURANTE LA CONGELACIÓN



## MODIFICACIONES QUE SE PRODUCEN EN LOS ALIMENTOS DURANTE SU CONGELACIÓN

- 1) Por formación de cristales de hielo
- 2) Por aumento de la concentración de los solutos en solución
- 3) Por variación del volumen

### 1. POR FORMACIÓN DE CRISTALES DE HIELO

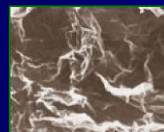
- La magnitud del daño depende de la velocidad de congelación y de las características del producto.
- Alimentos con estructuras con paredes y membranas más afectados, la estructura de los tejidos animales menos afectados que los vegetales.
- Cambios dependen de la localización de los cristales determinado por la velocidad y permeabilidad del tejido

- En la congelación lenta los cristales se forman en el exterior de la célula, el aumento de tamaño de los cristales extracelulares provocan concentración del fluido extracelular y genera deshidratación (osmosis). Si continúa el crecimiento se lesiona a la célula. La deshidratación es irreversible si sobrepasa un límite, al descongelar no se recupera el agua inicial

- Modificación de la textura y la turgencia
- En alimentos que tienen cierta estructura organizada (emulsiones, geles, espuma) la formación de cristales de gran tamaño ocasionan también modificaciones
- Ejm: Mantequilla (bolsas de grasa), helado (disminución de volumen), gel (sinéresis)

### .....CONTINUA

- Efecto de los cristales sobre los alimentos vegetales
- La congelación casera es lenta: produce el mayor daño luego las paredes estarán muy deterioradas



Fresas congeladas cong. caseros (-18°C)  
CONGELACIÓN LENTA

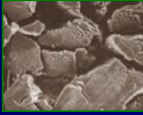


Fresas congeladas en cong. criogénicos (-130°C)  
CONGELACIÓN RÁPIDA

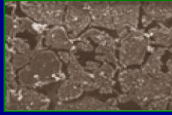
- Recomendación: escaldado antes de congelación casera, mejora color, desnaturaliza enzimas

## .....CONTINUA

- Efecto de los cristales sobre los alimentos animales
- En el músculo del pescado ocurre lo mismo que en la carne



Pescado fresco



Pescado congelado y descongelado

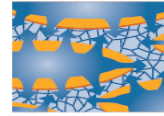
- Tejidos animales no se detienen las reacciones enzimáticas
- Algunas enzimas se desnaturalizan (son proteínas)
- Congelación de carne: no afecta demasiado a las vitaminas A y D ni minerales

### La congelación lenta puede dañar los productos alimenticios

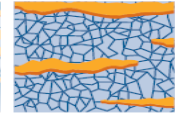
Cuando se congela un alimento, hay tres etapas en el proceso. Primero, la temperatura se reduce hasta el punto de congelación. El agua en el alimento se convierte en hielo (esta fase se llama también la del calor latente). Finalmente, la temperatura se reduce aun más hasta el punto de congelación final (normalmente  $-18^{\circ}\text{C}$ ). La congelación lenta puede dañar los productos alimenticios porque el proceso destruye sus células.



1. El agua libre que rodea las células del alimento es la primera que congela en los métodos de congelación lenta.



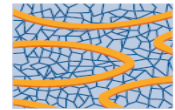
2. En cuanto se destruye el equilibrio del agua, el agua en el interior de las células del alimento empieza a salir de estas, destruyendo la pared celular cuanto más largo es el tiempo de congelación, mayor es la destrucción de las células.



3. Finalmente, los cristales de hielo se hacen tan grandes que las células se rompen completamente, causando «entre otros inconvenientes» un alto grado de pérdida de agua cuando el producto se descongela o se recalienta.

### Mejor calidad mediante una congelación más rápida

Debido a las razones explicadas anteriormente, el proceso de congelación debe transcurrir lo más rápidamente posible para alcanzar una calidad elevada del producto. Utilizando la congelación criogénica rápida, el agua dentro y fuera de las células se congela a la misma velocidad, asegurando que la célula permanece intacta y que el alimento conserva su frescor, sabor y textura -como si no hubiera sido congelado.



La estructura de las células orgánicas permanece prácticamente inalterada cuando se aplica la tecnología de congelación rápida.

## 2. AUMENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS SOLUTOS EN SOLUCIÓN

- Solutos precipitados, textura arenosa  
Ejm lactosa durante la congelación del helado.
- Si los solutos no se precipitan sino que permanecen en una solución concentrada pueden "desnaturalizar" las proteínas.
- Algunos solutos son ácidos y al concentrarse pueden hacer que el pH baje más allá del punto isoelectrónico (punto de solubilidad mínima de las proteínas), lo cual resultaría en la coagulación de las mismas.
- La concentración o precipitación de ciertos iones pueden romper el equilibrio de las suspensiones coloidales.
- Los gases en solución también se concentran cuando el agua se separa por congelación. Esto puede causar la sobresaturación de los gases y, por último, su expulsión de la solución. La cerveza y los refrescos congelados padecen este defecto.

## 3. VARIACIÓN EN EL VOLUMEN

- La variación del volumen que se produce al convertirse el agua pura en hielo es cerca del 9%.
- La variación de volumen de los alimentos como resultado de la formación de hielo es menor, cerca del 6%, porque solo una parte del agua presente es congelada y porque algunos alimentos tienen espacios de aire. Esta variación de volumen debe ser tomada en cuenta en el diseño del equipo. En sistemas de congelación muy rápida (por ejemplo, inmersión de productos en nitrógeno líquido) se pueden producir el aumento de presiones excesivas dentro del producto causando roturas o fracturas.

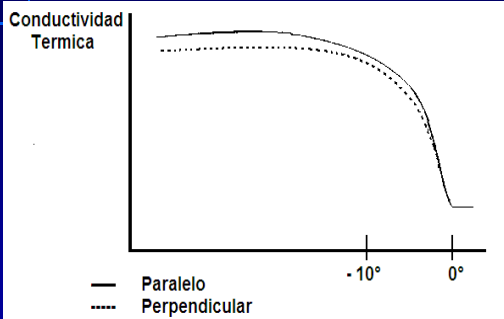
### En conclusión la variación del volumen que se produce durante la congelación varía considerablemente de acuerdo a los siguientes factores:

- Contenido de agua.
- Disposición celular: los tejidos vegetales poseen unos espacios intracelulares, rellenos de aire, que absorben los incrementos internos de volumen sin que se aprecien cambios importantes en el volumen global
- La concentración de soluto
- La temperatura de la cámara de congelación determina la proporción de agua congelada y por tanto, el grado de dilatación. Los compuestos cristalizados (el hielo, la grasa y los solutos entre otros) cuando se enfrían, se contraen, con lo que el volumen del alimento se reduce.

## PROPIEDADES TERMOFÍSICAS DE LOS (ALIMENTOS CONGELADOS)

- Para estimar los tiempos de congelación así como los requerimientos de refrigeración se deben conocer las propiedades termofísicas de los alimentos que se congelan en todo el rango de las temperaturas de operación. El proceso de congelación produce un drástico cambio en las propiedades térmicas de los alimentos. Las propiedades de los alimentos cambian debido al cambio de fase que se produce en el agua.

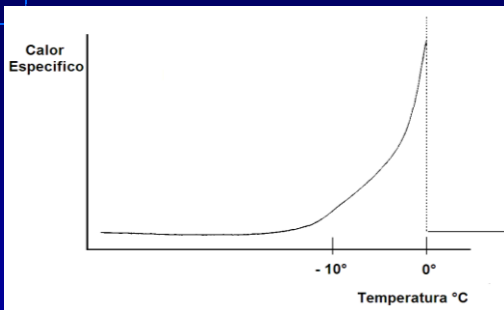
### CONDUCTIVIDAD DE LA CARNE DE TERNERA MAGRA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA



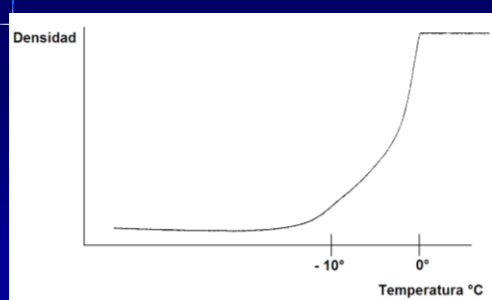
### Valores de Conductividad de Alimentos (W/m°K)

Producto	Conductividad Producto Fresco	Conductividad Producto Congelado
Fresas	0.557	1.95
Jugos de frutas	0.507	2.04
Pepinos	0.577	2.1
Patatas puré	0.517	1.69
Carne de cerdo grasa	0.389	0.96
Carne de cerdo magra	0.443	0.56
Carne de vaca	0.428-0.522	1.18-1.57
Filetes de bacalao	0.524	1.70
Salmon	0.502	1.16
Huevos	0.479	1.42

### Cambios del CALOR ESPECIFICO en función de la temperatura durante la congelación



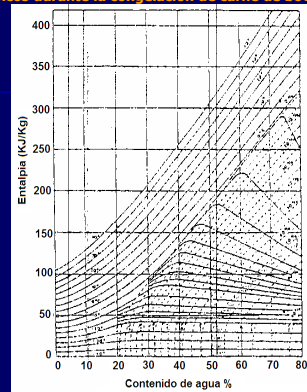
### Cambio de la densidad durante la congelación en función de la temperatura



### Valores de Densidad de Alimentos (Kg/m3)

Producto	Densidad alimento fresco	Densidad alimento
Melocotón	1010	950
Albaricoque	1000	940
Grosella	1000	950
Ciruela	1030	980
Fresa	950	900
Guinda	1040	990
Guisante verde	1020	970
Alubia	950	890
Tomate	1000	940
Carne magra	1000	960
Carne grasa	920	900
Mantequilla	950	940
Pescado magro	1000	950

### Cambios entálpicos durante la congelación de carne de bovina (Riedel 1957)



## VELOCIDAD DE CONGELACIÓN

- En la calidad de los alimentos congelados influye factores relacionados a la velocidad de congelación
- Muchas características de calidad están vinculadas al tamaño de los cristales de hielo, que a su vez depende de la velocidad de congelación.
- La capacidad de producción de un sistema de congelación depende directamente de la remoción de energía térmica del producto siendo el tiempo de congelación el parámetro de diseño requerido.

## Tiempo característico de congelación

- Corresponde a una medida local expresada como el tiempo que tarda un punto del alimento en pasar desde la temperatura inicial de congelación a otra temperatura, a la cual aproximadamente 80% del agua se halla en forma de hielo. En el caso de carne bovina (con un 74% de humedad) dichas temperaturas serían  $-1$  y  $-7^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

## Velocidad media de congelación

- Es el cociente entre la mínima distancia existente desde la superficie al centro térmico del objeto a congelar y el tiempo transcurrido, entre que la superficie de dicho objeto alcanza  $0^{\circ}\text{C}$  y el centro térmico alcanza una temperatura  $10^{\circ}\text{C}$  más baja que la temperatura inicial de congelación. Se expresa en  $\text{cm/hr}$  y representa la velocidad promedio de avance del frente de hielo. Esta definición corresponde al Instituto Internacional de Refrigeración (IIR, 1972).

## Velocidades medias de congelación

- Congelación lenta  $< 1\text{cm/hr}$  (congeladores de aire estático y cámaras de almacenamiento en congelación)
- Congelación semi rápida  $1-5\text{ cm/h}$
- (congeladores de aire forzado, túneles de congelación y congeladores de placas)
- Congelación rápida  $5-10\text{ cm/h}$  (congeladores de lecho fluidizado, de superficie de rascada y de inmersión).
- Congelación ultrarápida  $> 10\text{ cm/h}$  (congeladores criogénicos)

## Tiempo nominal de congelación

- Es el necesario para que un producto pase desde una temperatura inicial de  $0^{\circ}\text{C}$  a una temperatura  $10^{\circ}\text{C}$  inferior a la de inicio de congelación en el centro térmico.

## PREDICCIÓN DE LOS TIEMPOS DE CONGELACIÓN

- El tiempo de congelación, junto con la selección de un adecuado sistema de congelación, es un factor crítico para asegurar la óptima calidad del producto.
- El tiempo de congelación requerido para un producto establece la capacidad del sistema, además de influir de forma directa en la calidad del mismo.

- Generalmente se entiende como tiempo de congelación el requerido para que el producto pase de su temperatura inicial hasta la que se haya establecido como final, midiendo esta temperatura en la localización en la que el enfriamiento se produzca más lentamente.

- El cálculo del tiempo de congelación puede resultar complicado ya que en el proceso va cambiando continuamente la temperatura de congelación del alimento y sus propiedades térmico-físicas.

- La simulación de la congelación no es tarea fácil, ya que como se ha visto, en el proceso completo se encuentran tramos en los que se intercambian calor sensible (en los que se pueden considerar invariables las propiedades termofísicas del producto), mientras que en otro se intercambia fundamentalmente calor latente, y se produce el consiguiente cambio de estado en el que sufren una sustancial variación las propiedades del producto

## **MÉTODOS DE PREDICCIÓN DEL TIEMPO DE CONGELACIÓN**

- En general las predicciones del tiempo de congelación se dividen en dos tipos de métodos: los numéricos y los aproximados. Los métodos numéricos se basan en la solución de la ecuación diferencial por vía computacional:

### **Métodos 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)

### **Métodos Aproximados**

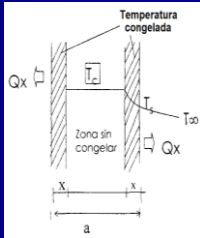
- Los métodos aproximados (llamados también analíticos) utilizan simplificaciones en la solución de la ecuación diferencial. Generalmente proveen sólo la información del tiempo de procesamiento sin permitir conocer la historia térmica de cada punto. Utilizan propiedades térmicas del alimento evaluadas 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



## Considerado en la deducción de la ecuación de Plank

Para ello se supone una lámina de dimensiones infinitas pero de espesor finito ( $a$ ) lo que implica que la transmisión de calor es unidireccional. Este cuerpo se halla inicialmente a la temperatura  $T_{ic}$  y es introducido en un congelador en el que la temperatura externa  $T_o$

En el transcurso de la congelación se forma un frente de congelación que va avanzando desde la superficie a temperatura  $T_s$  hacia el centro de la lámina (distancia  $x$ ). El calor se transmite a través de la capa congelada por conducción, y desde la superficie hacia el exterior por convección.



## La Ecuación de Plank

$$tc = (\rho L / (T_{ic} - T_o)) (Ra^2 / K + Pa / h)$$

GEOMETRÍA	P	R	Significado de a
Placa plana $\alpha$	1/2	1/8	Espesor
Esfera	1/6	1/24	Diámetro
Cilindro $\alpha$	1/4	1/16	Diámetro

## LIMITACIONES DE LA ECUACION DE PLANK

- Asume que la congelación se produce a temperatura constante.
- Considera que la temperatura inicial es la de congelación con la cual desprecia el tiempo necesario para remover el calor sensible por arriba de  $T_{ic}$
- La temperatura final del producto congelado no aparece en la ecuación, lo cual indica que no se ha considerado el tiempo requerido para remover calor del producto congelado por debajo de  $T_{ic}$

## LIMITACIONES DE LA ECUACION DE PLANK

- Considera constantes el calor latente de fusión y la conductividad térmica durante el proceso de congelación.
- Dificultad de evaluar el valor de  $L$ , generalmente se considera en función del calor de fusión del agua y el % de agua en el alimento, pero ello supone que todo el hielo se ha formado a la temperatura de inicio de congelación, que evidentemente es falso.

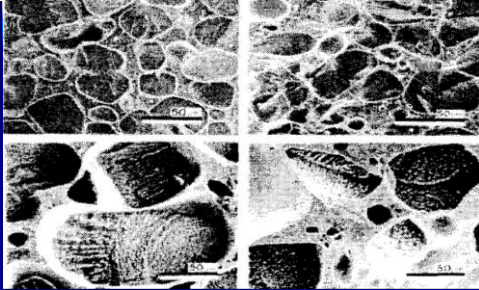
## MODIFICACIONES DE LOS ALIMENTOS DURANTE SU ALMACENAMIENTO EN CONGELACIÓN

- Recristalización
- Sublimación
- Modificaciones químicas

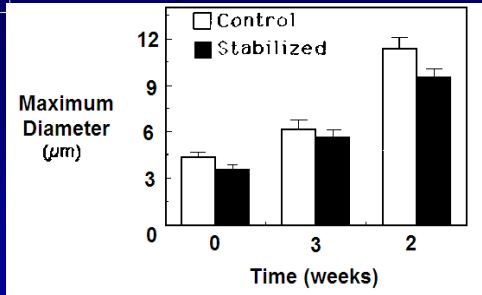
## a) Recristalización

- Es un fenómeno muy frecuente que consiste en cambios no deseables en forma, tamaño y número de los cristales de hielo.
- Este proceso puede producirse a temperatura constante o a temperatura variable. A temperatura constante se produce la unión de cristales adyacentes como resultado de que el sistema tiende a reducir su superficie para incrementar su estabilidad.
- Si la temperatura fluctúa en el momento en que se incrementa se producirá la fusión de los cristales pequeños y cuando vuelva a descender el agua cristalizará sobre la superficie de los cristales incrementando su tamaño.

### Vistas microscópicas del crecimiento de los cristales de hielo en helados por fluctuaciones de la temperatura

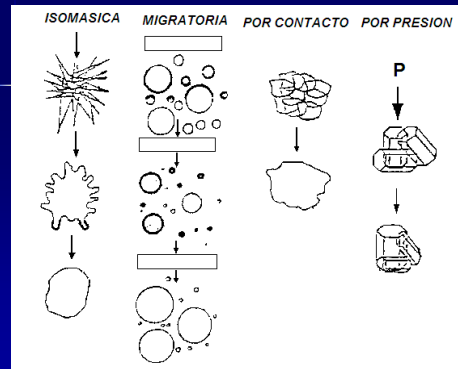


### Effect of stabilizers on size of ice crystals in ice cream



### Tipos de recristalización

1. Recristalización Isomásica: cristales de forma irregular y relación A/V elevada tienden a asumir una estructura más compacta con una relación menor que es más estable.
2. Recristalización Migratoria: la de mayor importancia en los alimentos congelados, tendencia de los cristales de gran tamaño de crecer a expensas de los de menor tamaño por diferencias en la energía superficial (Los cristales pequeños mantienen unidas sus moléculas superficiales con menor intensidad). Se intensifica con las fluctuaciones de temperatura



### Cristalización por contacto o acretiva



### Tipos de recristalización

3. Recristalización por contacto o acretiva: tiene lugar cuando los cristales que están en contacto se unen para formar uno de mayor tamaño y menor energía. Este tipo de recristalización no se puede evitar, aunque su lentitud le resta importancia.
4. Recristalización por presión: Cuando se aplica una fuerza a un grupo de cristales de hielo con distinta orientación, aquellos que tienen su eje principal paralelo a la dirección de la fuerza aplicada crecerán a expensas de los otros, siendo el crecimiento proporcional a la fuerza aplicada. Evitar que los alimentos estén sometidos a presión.

## IMPORTANTE

- LA MAYOR CALIDAD DE LOS ALIMENTOS CONGELADOS RAPIDAMENTE PUEDE DESAPARECER DURANTE SU ALMACENAMIENTO, IGUALÁNDOSE CON LOS DE LOS CONGELADOS A VELOCIDADES MAS LENTAS.
- PARA CONSERVAR LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS CONGELADOS ES FUNDAMENTAL MANTENER LA TEMPERATURA CONSTANTE Y EVITAR EL APILAMIENTO EXCESIVO DURANTE EL ALMACENAMIENTO

## 2. SUBLIMACIÓN

- Pérdida de humedad es un serio problema
- La pérdida de humedad depende de la temperatura promedio del ambiente y la temperatura del evaporador, así como de las fluctuaciones de temperatura.
- La excesiva deshidratación aparte de una indeseable pérdida de peso, puede causar la aceleración de los cambios químicos (oxidación) y cambios en la consistencia (áreas deshidratadas no vuelven a reabsorber agua en igual medida durante la descongelación.

## QUEMADURA POR CONGELACIÓN

- La quemadura por congelación obedece a una deshidratación local que se produce al sublimarse los cristales de hielo de las capas superficiales, es irreversible y afecta al sabor y aroma de los productos cuyos tejidos se enrancian más fácilmente antes que los normales. Las sustancias aromáticas típicas van desapareciendo. La consistencia se vuelve esponjosa, correosa y pajiza

## QUEMADURA POR CONGELACIÓN

- Algunos casos típicos en que se presenta esta alteración es en el pescado donde la superficie se vuelve seca, rugosa y en algunos casos presenta cambios de coloración (tono gris pardo). En el caso de las aves la piel pierde transparencia en algunos puntos adquiere una apariencia poco grata y empieza a volverse amarillo grisácea, simultáneamente a estos cambios, o poco después aparecen manchas blancas pequeñas en principio y que luego van aumentando cada vez de tamaño.

## Recursos para evitar la deshidratación

- El envasado al vacío en materiales impermeables al vapor de agua. La aplicación de vacío es importante para evitar que se produzcan condensaciones en el interior del envase.
- El mantenimiento de una adecuada humedad relativa de la atmósfera de almacenamiento, que normalmente tiende a disminuir por la condensación de humedad en los evaporadores.
- Evitar velocidades excesivamente grandes del aire.
- La formación de una capa de glaseado de hielo sobre el alimento.

## MODIFICACIONES QUIMICAS

- Oxidación lipídica
- Pardeamiento enzimático
- Insolubilización de proteínas
- Degradación de clorofila
- Pérdida de vitaminas

## EQUIPOS DE CONGELACION

1. EQUIPOS QUE UTILIZAN EL AIRE COMO MEDIO DE ENFRIAMIENTO
  - Cámaras de congelación
  - Túnel de congelación
  - Congeladores de cinta (congeladores en banda transportadora, congeladores en espiral)
  - Congeladores del lecho fluidizado
2. SISTEMAS QUE UTILIZAN EL CONTACTO CON PLACAS METÁLICAS
3. CONGELACIÓN POR INMERSIÓN
4. CONGELACIÓN CON FLUIDOS CRIOGÉNICOS
5. CONGELADORES DE SUPERFICIE DE RASCADA
6. CONGELADORES DE TAMBOR

## 1. EQUIPOS QUE UTILIZAN EL AIRE COMO MEDIO DE ENFRIAMIENTO

### A. Cámaras de congelación

- Una cámara de conservación por congelación no debe considerarse un sistema de congelación
- Con y sin circulación de aire
- Velocidad de congelación de 0.2 cm/hr
- No depende de la forma y tamaño
- Velocidad de congelación lenta la pérdida de calidad es significativa

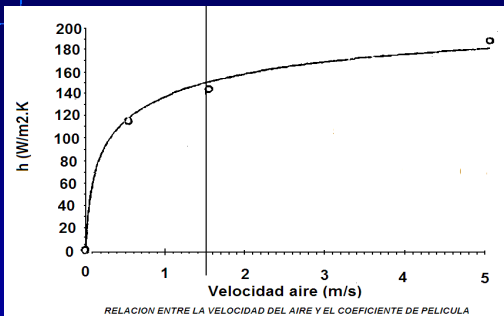
### Cámaras de congelación



### B. Túneles de congelación

- Tienen sistemas de impulsión de aire (-30- -40°C)
- El producto se coloca en bandejas sobre racks o carritos unos al costado de otros, fijos o continuos
- El movimiento del aire puede ser en paralelo o perpendicular
- Inconveniente: Alimentos no envasados pueden sufrir quemaduras por frío (por la elevada velocidad, baja HR y diferencia de temperatura)
- En algunos casos transportadores con ganchos (cuartos de res)
- Velocidad de congelación 0.5- 3 cm/h
- Productos descubiertos tienden a pegarse en las bandejas, pérdida de peso, consumo de tiempo en manijoleo, limpieza v transporte.

### Variación del coeficiente convectivo con la velocidad



### Valor del coeficiente de convección para los distintos sistemas de congelación

	$h$ ( $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ )
Congelación en cámara	6
sin aire en movimiento	10-17
Con débil corriente de aire	12-50
Congelación en túnel con alta velocidad de aire	35-60
Congelación en lecho fluidizado	90-130
Congelación en placas múltiples	600-1.200
Congelación por pulverización de nitrógeno líquido	1.200-2.400
Congelación por inmersión en nitrógeno líquido	6.000

## Túneles de congelación

