



Universidad de Los Andes
Bogotá - Venezuela



Facultad de Farmacia y Bioanálisis

Departamento Ciencia de Alimentos

Tema 7 : Conservación de alimentos por bajas temperaturas

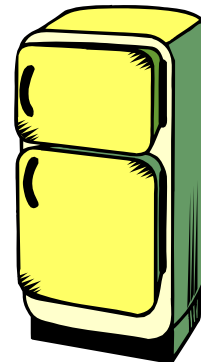
Objetivos

- Señalar los mecanismos de estabilización de los alimentos por medio del frío
- Identificar los factores de los que depende un correcto almacenamiento refrigerado
- Mencionar los mecanismos de cristalización del agua y sus efectos
- Diferenciar los cambios que experimentan durante esos procesos y bajo almacenamiento a bajas temperaturas

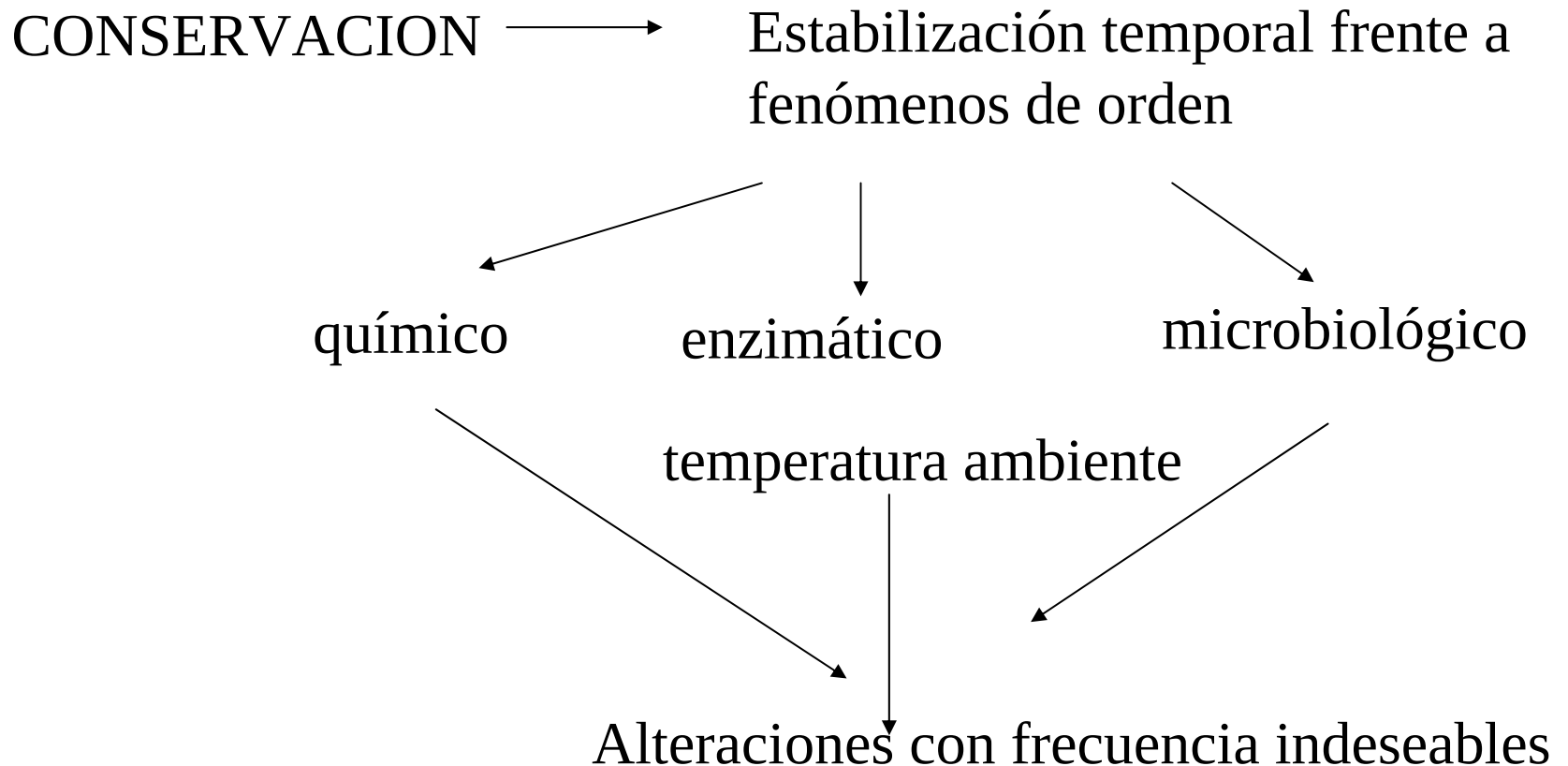
CONSERVACION DE ALIMENTOS POR BAJAS TEMPERATURAS

CONSISTE EN EL RETRASO O INHIBICION

- DE:
- REACCIONES QUIMICAS
 - CRECIMIENTO DE MICROORGANISMOS
 - ACTIVIDAD ENZIMATICA



PRESERVACION DE ALIMENTOS POR BAJAS TEMPERATURAS



DIFERENCIA ESENCIAL entre el proceso de refrigeración :
formación de cristales de hielo en los alimentos.

BAJO REFRIGERACIÓN: Las células de los tejidos quedan con vida durante un tiempo mas ó menos largo ya que los metabolismos celulares son solo frenados (**se hacen lentos**)

BAJO CONGELACIÓN: se detiene casi completa e irreversiblemente toda actividad metabólica. Es por eso que antes de ser congelado el alimento debe haber alcanzado un estado de madurez que permita el consumo.

REFRIGERACION

ASPECTOS QUE SE DEBEN CONTROLAR:

TEMPERATURA

HUMEDAD RELATIVA

COMPOSICION DE LA ATMOSFERA

REFRIGERACION : tratamiento moderado

CONGELACION : tratamiento autónomo

Velocidad de Reacciones Químicas aumenta con la Temperatura

Velocidad de crecimiento microbiano disminuye con la Temperatura ;
además alto % del agua se convierte en hielo : no está disponible

$-1^{\circ}\text{C} < T \text{ refrigeración} < 10^{\circ}\text{C}$

El almacenamiento
a -18°C
impide toda
actividad
microbiana

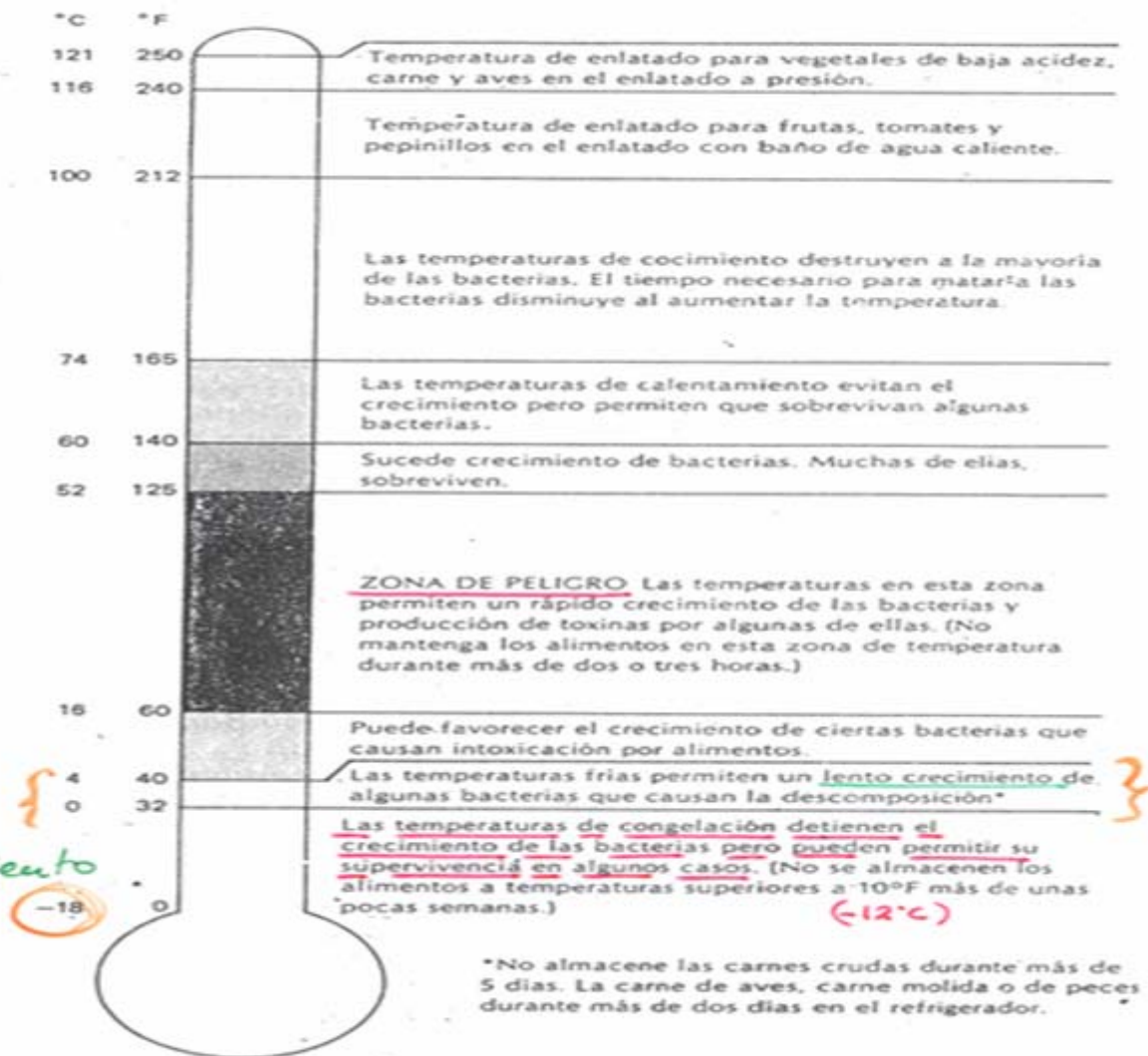
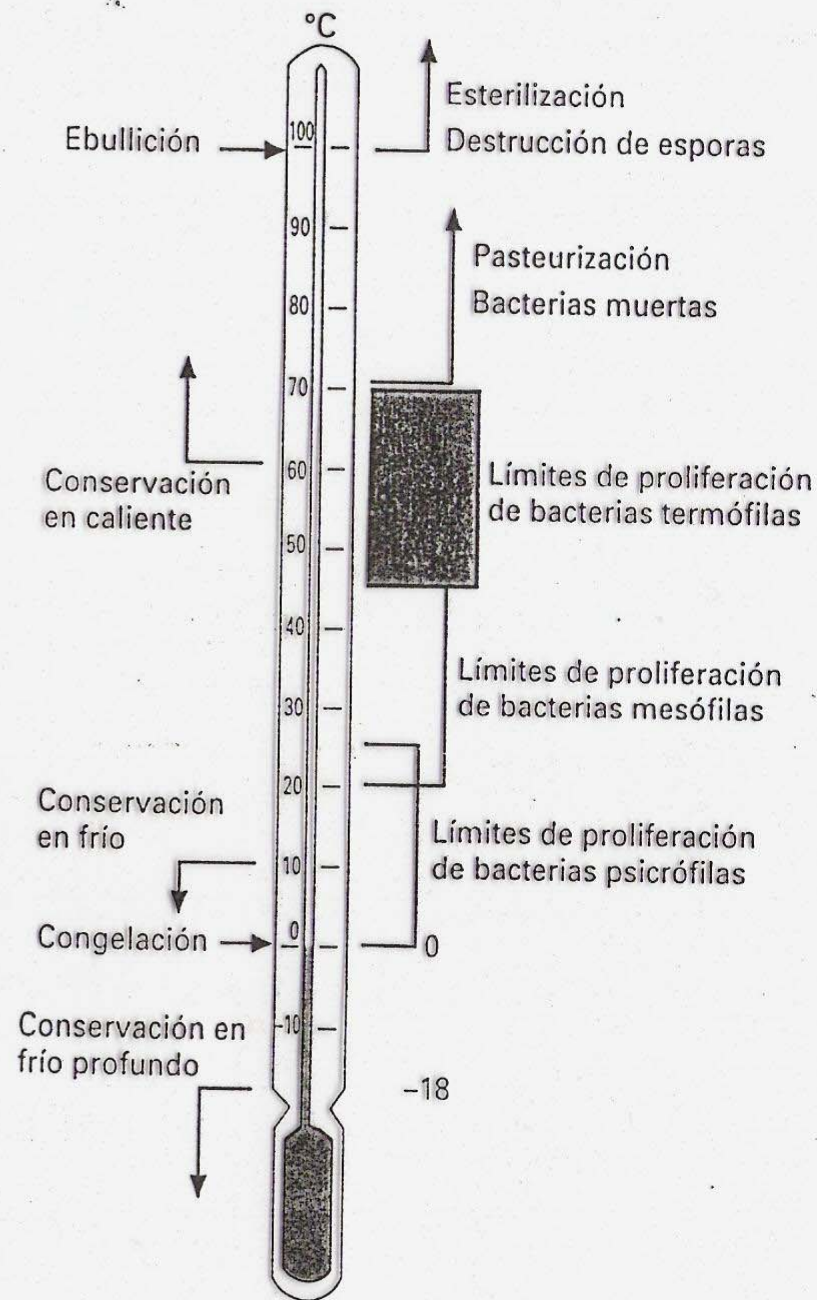
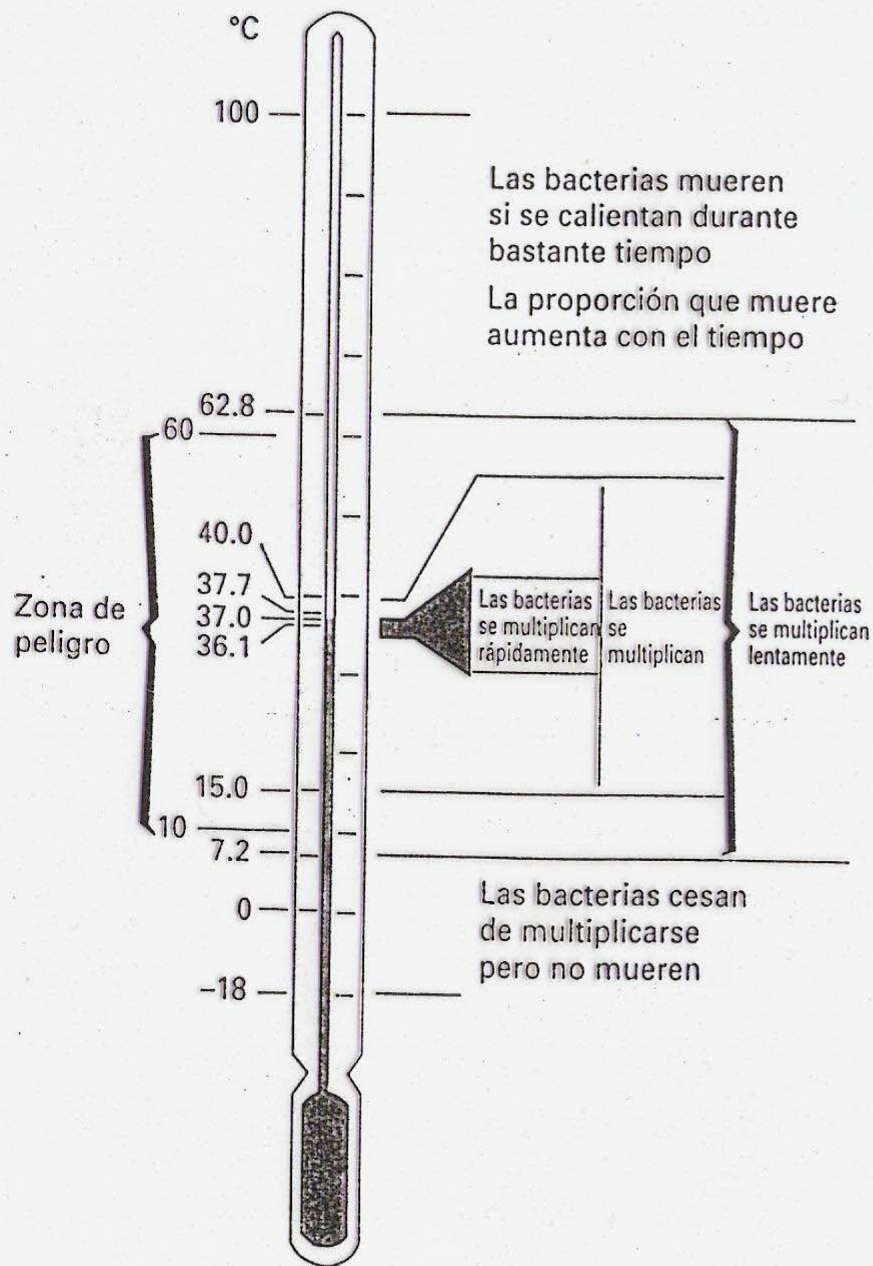


Figura 3.4 Temperatura de los alimentos para el control de las bacterias. (De Keeping Foods Safe to Eat, Home and Garden Bulletin No. 162, sl. rev. 1978.)



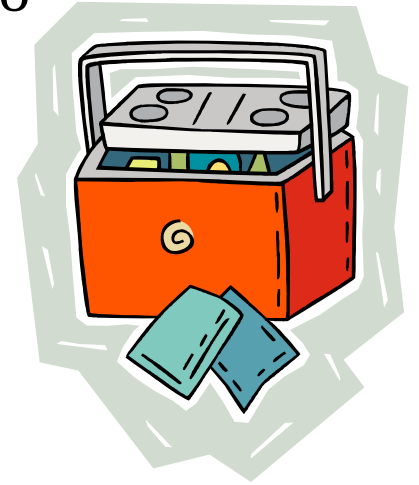
Requisitos para el almacenamiento refrigerado

0. Calidad de los productos

1. Temperatura baja regulada

2. Circulación de aire y humedad

3. Modificación de gases atmosféricos



CARGAS TERMICAS DE REFRIGERACION

- ❑ CARGA DE ESTADO NO ESTACIONARIO : Necesaria para reducir la temperatura del material a ser refrigerado a la temperatura de almacenamiento en un lapso especifico de tiempo
- ❑ CARGA DE ESTADO ESTACIONARIO : Cantidad de calor que debe ser removida para mantener la temperatura de almacenamiento

CARGAS TERMICAS DE REFRIGERACION

$$Q = Q_{\text{ref}} + Q_L + Q_{\text{con}} + Q_R + Q_{\text{elect}} + Q_{\text{motor}} + Q_{\text{trab}} + Q_{\text{CA}} + Q_P$$

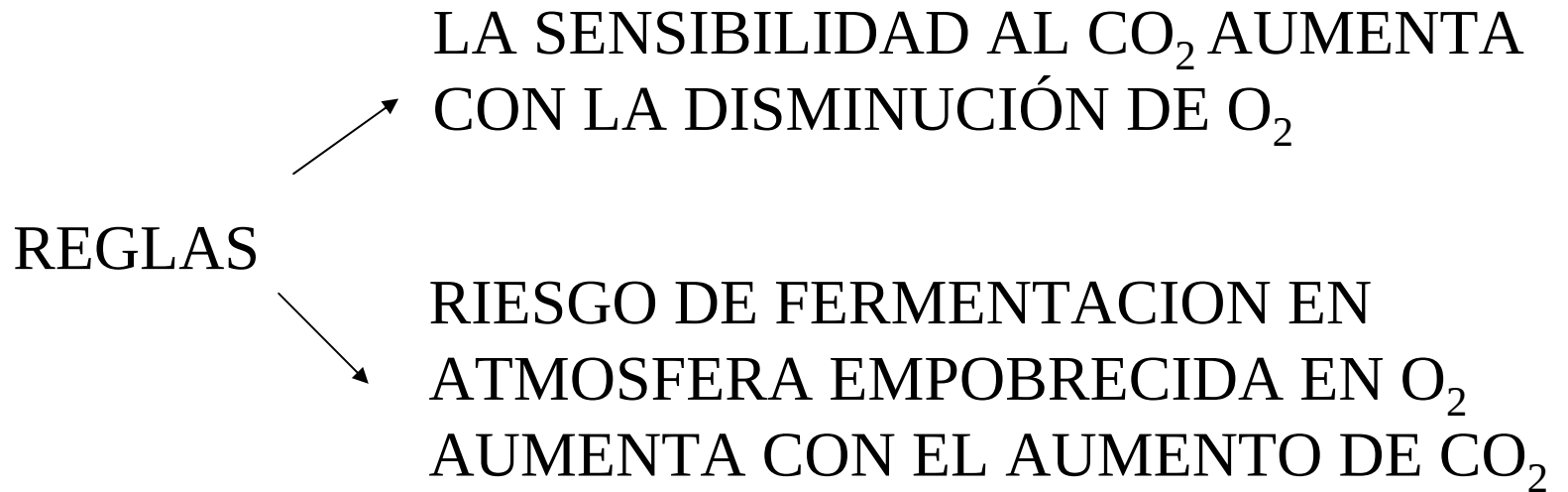
Disminución O_2 :

- Disminuye la respiración
- Sin embargo, hipoxia excesiva provoca fermentación
- Limite inferior $\sim 2\%$
- pero... depende de la especie, variedad, composición de CO_2

Aumento CO_2

- Limita oxidación
- frena perdida de turgencia, firmeza
- Retrasa la germinación y crecimiento de hongos pequeños
- Algunos productos no soportan la presencia prolongada de CO_2

ATMOSFERAS CONTROLADAS



ATMOSFERAS DE DIFERENTES TIPOS :

AIRE : 79% N_2 y 21% O_2

TIPO I : 2-10% de CO_2
 $O_2 + CO_2 = 21\%$

**TIPO II : 2-5% O_2
2-5% CO_2**

TIPO III : 2-3% O_2
MENOS DE 2% EN CO_2

Refrigeración de frutas y verduras.
Temperaturas recomendadas y duración de la
conservación (HR : 85-95%)

Producto	Temperatura de almacenamiento (°C)	Duración
zanahorias	-1 a 1	4-6 meses
pepinos	7 a 10	1-2 semanas
repollo	0	2-4 meses
Coles de bruselas	0 a -1	3-6 semanas
espinacas	0	2-6 semanas
vainitas	0	1-3 semanas
lechuga	0	1-3 semanas
cebolla	0 a -3	6 semanas
guisantes	0	1- 3 semanas
papas	5 a 10	4-8 meses
durazno	0 a -1	2-4 semanas
aguacate	5 a 10	2-4 semanas
cambur	11 a 15	1- 4 meses
limón	11 a 15	1- 4 meses
fresas	0	5 días
naranja	4 a 6	Hasta 6 meses
toronja	4 a 8	2,5 meses
uva	-1 a 0	1-6 días
tomate	0	1-3 semanas

Fuente : Instituto Internacional del Frío (Paris- Francia)

REFRIGERACION

DISTINCION ENTRE ALIMENTOS CON ESTRUCTURA ORGANIZADA Y LOS QUE NO.

FRUTAS Y HORTALIZAS : SE PRETENDE AMINORAR:

- INTENSIDAD RESPIRATORIA
- PERDIDAS DE PESO POR TRANSPIRACIÓN
- PRODUCCIÓN DE ETILENO
- DESARROLLO DE M.O.

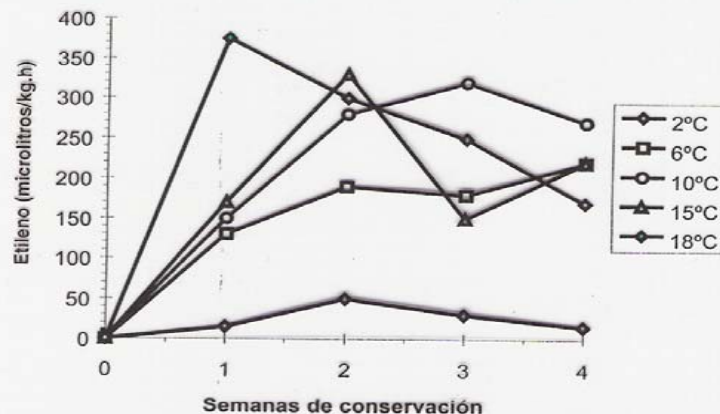
INTENSIDAD RESPIRATORIA

- INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA
- LIMITES TERMICOS: pto. de congelación; daños por el frío

PERDIDAS DE PESO POR TRANSPIRACION

- La pérdida de agua es el resultado de la migración del vapor de agua de los espacios intercelulares, que están saturados hacia el ambiente, a causa de la diferencia de presión de vapor entre los dos medios.

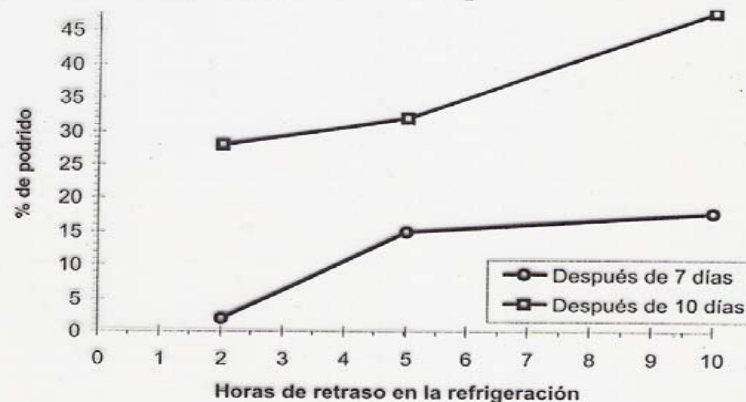
PRODUCCION DE ETILENO



Gráfica 1.-Efecto de la temperatura de conservación sobre la formación de etileno en melocotones.

DESARROLLO DE MICROORGANISMOS

- Fundamentalmente hongos, de desarrollo muy lento pero continuo a t. próximas a 0 °C : *Botrytis*, *Penicilium*, *Monilia* y *Alternaria*, podridos comunes en la conservación frigorífica de frutas.
- Otros como *Rhizopus nigricans* y *Trichothecium roseum* suspenden su desarrollo a temperaturas inferiores a 5 °C.



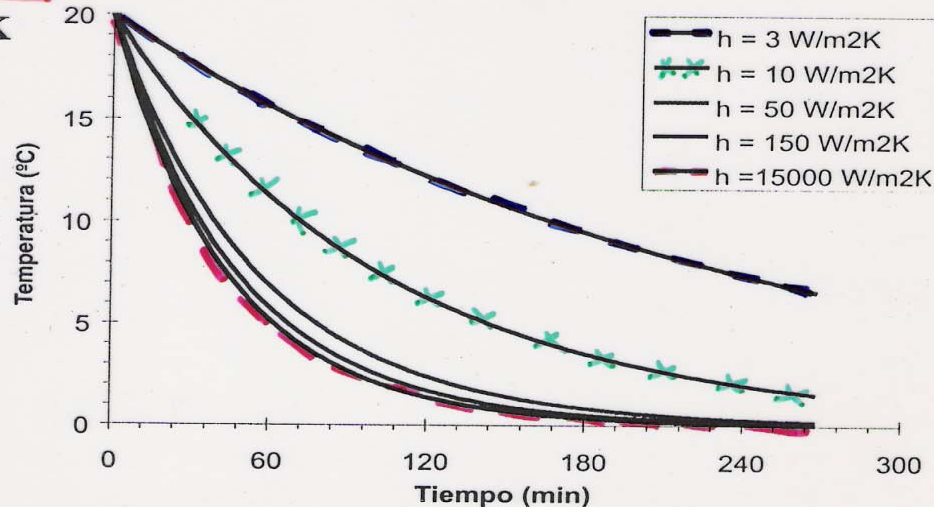
Gráfica 2.-Influencia del retraso en la refrigeración sobre el podrido de fresas.

SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO

• ENFRIAMIENTO POR AIRE

$$Q = A U (T_{med} - T_p)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h} + \frac{\Delta x}{k}$$



Gráfica 4.—Influencia del coeficiente de película en la velocidad de enfriamiento de un producto.

- * Enfriamiento en cámara frigorífica
 - baja velocidad de circulación de aire (menos de 1 m/s) (h aproximadamente de 3 W.m⁻².K⁻¹)
 - cámaras de baja capacidad (12 a 15 ton de producto)
 - el enfriamiento buscado (de 30 a 5 °C) se consigue en aproximadamente 16 h (aunque en realidad de 24 a 30h)

***Enfriamiento por presión de aire**

- modificación del anterior, creando gradientes de presión dentro de la cámara que fuercen el aire a pasar por el interior de los envases, en lugar de circular alrededor

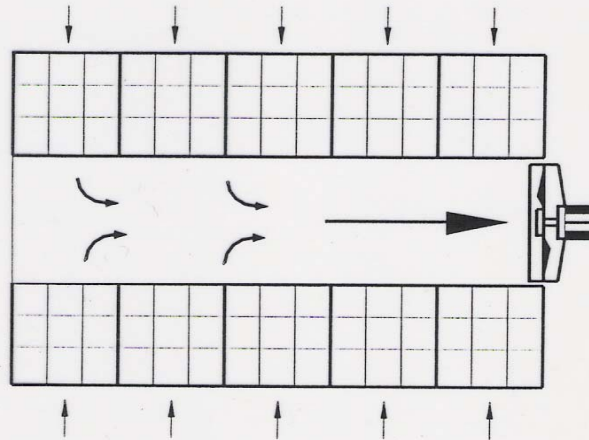


Figura 1.-Disposición en planta de los envases para un enfriamiento por presión de aire.

*** Túneles de enfriamiento**

- altas velocidades de aire (de 5 a 15 m/s) (altos valores de h , tiempos cortos de enfriamiento - 1 a 6 h-)
- pueden ser discontinuos o continuos

* Enfriamiento por agua

- por convección forzada a través de la película de agua que cubre la superficie del producto (mayores h , menores pérdidas por peso)
- el calor procedente del interior del producto se disipa tan rápidamente como llega a la superficie.
- la puesta en contacto agua fría – producto se puede hacer por inmersión o por aspersión.
- de funcionamiento discontinuo (6 l/s) o continuo (25 l/s).
- presenta limitaciones.

* Enfriamiento por vacío

- Consiste en colocar el producto en un recinto en el que se reduce la presión de vapor a un valor suficiente bajo para que parte del agua de constitución se vaporice siendo el mismo producto el que suministra el calor de vaporización para que ocurra el cambio de estado, consiguiéndose así la disminución de la T .



CONGELACION

CONGELACION

FORMACION DEL HIELO :

TRES ETAPAS :

1. ENFRIAMIENTO

2. CAMBIO DE ESTADO

3. ENFRIAMIENTO POSTERIOR

SUBENFRIAMIENTO



NUCLEACION



CRECIMIENTO

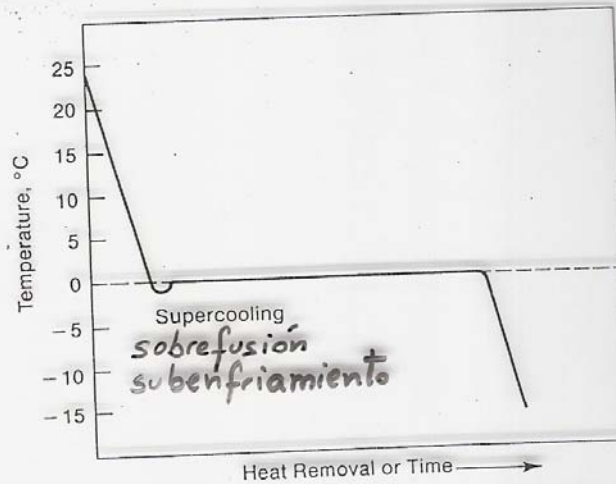


DIMENSION

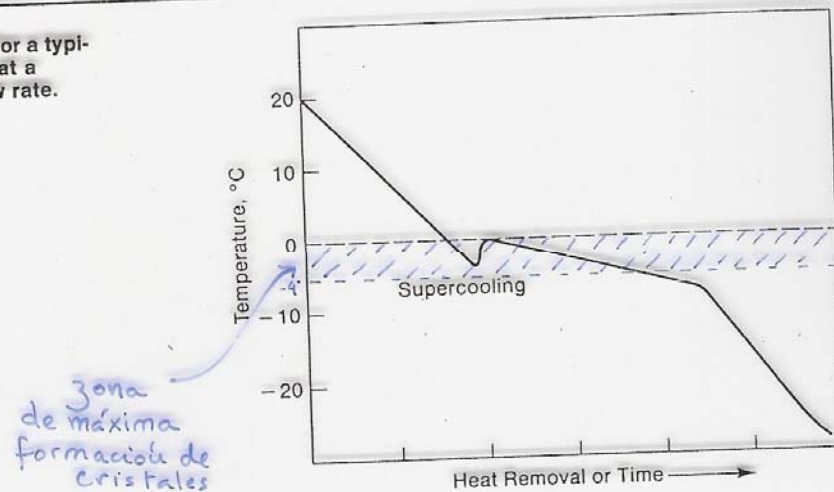
ETAPAS :

- SUBENFRIAMIENTO : ESTADO TERMODINAMICAMENTE INESTABLE
(ENFRIAMIENTO DEL PRODUCTO POR DEBAJO DEL PUNTO DE CONGELACION)
- NUCLEACION : INICIO DE LA CRISTALIZACION
- CRECIMIENTO DE LOS CRISTALES (DIMENSION)

Freezing curve for pure water.



Freezing curve for a typical food frozen at a moderately slow rate.



Carne,
pescado
(músculo)

$T_{inicio\ cong.}$
= 0,8 a -1°C

$T_{final\ cong.}$
≈ -55°C

CONGELACIÓN DE UNA DISOLUCIÓN ACUOSA :

SEGÚN SE VA SEPARANDO HIELO EN FORMA PURA LA CONCENTRACIÓN DE SOLUTO EN EL LÍQUIDO RESTANTE SE INCREMENTA, POR LO TANTO SE PRODUCIRÁ UNA DEPRESIÓN EN LA TEMPERATURA DE CONGELACIÓN DE LA FASE NO-CONGELADA. ES DECIR QUE LA TEMPERATURA DE CONGELACIÓN SE IRÁ REDUCIENDO A LA VEZ QUE LOS CRISTALES VAYAN CRECIENDO.

NUCLEACION : a mayor subenfriamiento, menor será el radio crítico necesario para la estabilidad del núcleo

Homogénea : probabilidad de que ocurra a 0° C es prácticamente nula

Heterogénea : mas importante

Secundaria o por contacto : sucede en los procesos de concentración por congelación de alimentos líquidos

ETAPAS EN LA FORMACIÓN DE CRISTALES:

I. NUCLEACIÓN:

A $P = P_{at}$ Temperatura de fusión del hielo = 0°C .

En sentido contrario la congelación no se produce a $T = 0^{\circ}\text{C}$

La formación de cristales está precedida de un superenfriamiento. Es decir, los agregados cristalinos de moléculas de agua estarían en un estado dinámico: rápida formación seguida de destrucción. Se piensa que es solo por encima de un tamaño crítico que el cristal sería estable y podría servir de germen al crecimiento cristalino.

Tamaño crítico mas pequeño a menor T

Nucleación se favorece por presencia de cristales de sales insolubles $\longrightarrow$ N. Heterogénea $\longrightarrow$ superenfriamiento es débil

N. Homogénea $\longrightarrow$ agua pura.

II. CRECIMIENTO:

Las moléculas de agua migran y se agregan al germen existente

Vol. de crecimiento cristales = f (transferencia de calor)

Pero al ↓ T , es la Transferencia de masa el factor limitante
→ μ frena desplazamiento de las moléculas de agua.

En los alimentos, las sustancias en solución como sales, alcoholes, proteínas frenan el crecimiento de los cristales.

III. DIMENSION DE LOS CRISTALES:

Congelación Rápida: La nucleación es rápida los numerosos gérmenes dan nacimiento a una multitud de pequeños cristales (redondos)

Congelación Lenta : la nucleación es lenta; cristales de gran tamaño (largas agujas que pueden dañar mecánicamente el tejido) ($< 1^{\circ}\text{C} / \text{min}$)

La congelación empieza por los espacios extracelulares
(La conc. de solutos es menor que en los fluidos intracel.)

C. LENTA



deshidratación de las células por osmosis (dif. nucleación intracelular)

Desplazamiento de agua $\Rightarrow$ $\begin{cases} \downarrow \text{turgencia} \\ \text{sudado} \end{cases}$ observado al descongelar muchos alimentos

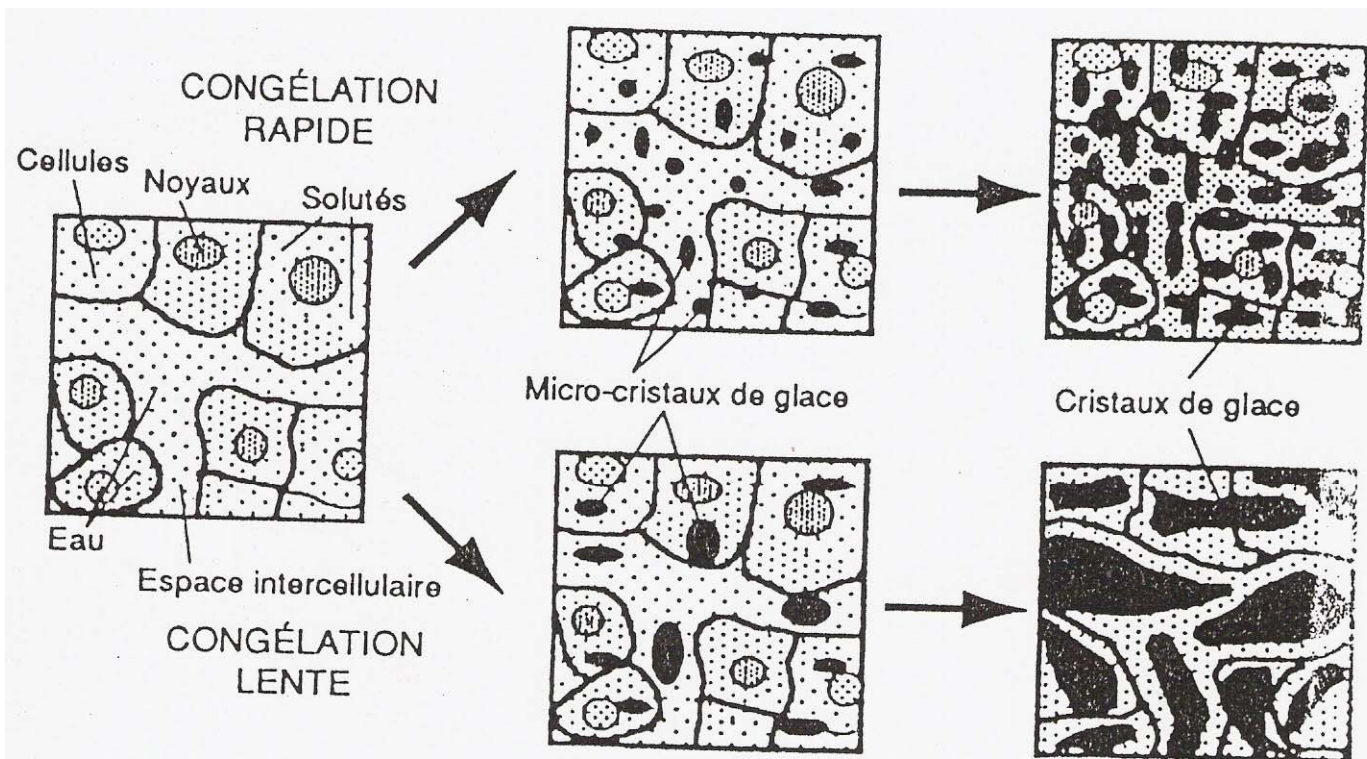


Figure 2

Représentation schématique de la formation microscopique de microcristaux puis de cristaux de glace au cours de la congélation.

CONGELACION RAPIDA VS. CONGELACION LENTA

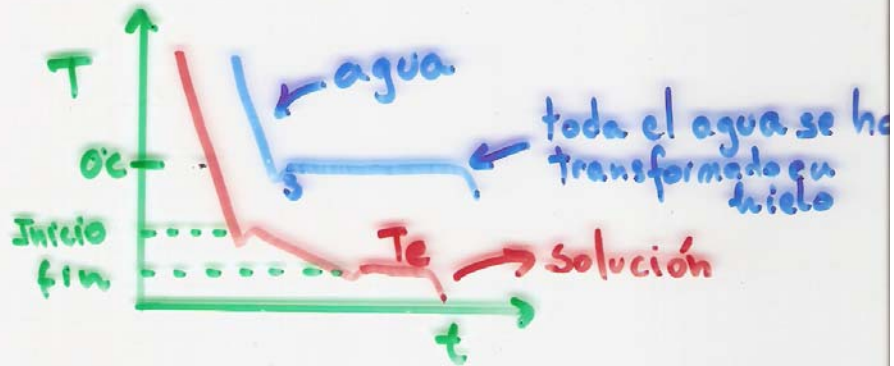
CONGELACION LENTA : EL HIELO SE FORMARA EN LOS ESPACIOS EXTRACELULARES, RESULTANDO DE ESTA FORMA UNA MATRIZ RICA EN HIELO, PERO TAMBIEN EN SOLUTOS Y A BAJA TEMPERATURA

❖ CREACION DE UN GRADIENTE OSMOTICO AL INTERIOR DE LA CELULA QUE PERMITIRA LA TRANSFERENCIA DE AGUA DESDE LA CELULA HACIA LA MATRIZ

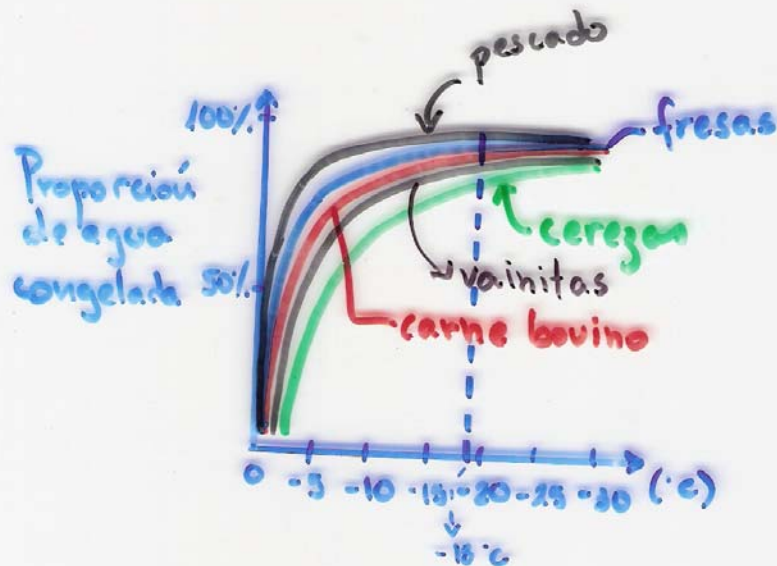
CONGELACION RAPIDA

El agua se congelará dentro y fuera de las células formando pequeños cristales (sobre todo si la permeabilidad de los tejidos es baja).

Curva de Congelación



Agua líquida residual en diferentes alimentos durante la congelación



Efecto de la concentración

1. Si los solutos precipitan o se separan por cristalización → Textura arenosa
2. Si permanecen en una solución concentrada → pueden desnaturalizar proteínas
3. Algunos solutos son ácidos y al concentrarse pueden hacer que el pH baje mas allá del punto isoeléctrico → Coagulación de las mismas
4. Los gases también se concentran al congelar el agua. Esto puede causar la supersaturación de gases y por último su expulsión de la solución (ej. Cerveza y Refrescos congelados)

Durante el almacenamiento congelado
puede ocurrir la RECRISTALIZACION

RECRISTALIZACION : CAMBIO DE FORMA, NUMERO Y TAMAÑO
DE LOS CRISTALES DE HIELO DURANTE EL ALMACENAMIENTO
A TEMPERATURAS DE CONGELACION

LA RECRISTALIZACION PUEDE PRODUCIRSE A TEMPERATURA
CONSTANTE Y A TEMPERATURA VARIABLE :

➤ A TEMPERATURA CONSTANTE : EL SISTEMA TIENDE A REDUCIR
SU SUPERFICIE PARA INCREMENTAR SU ESTABILIDAD

➤ A TEMPERATURA VARIABLE: PROCESO DE FUSION-
RECRISTALIZACION SOBRE LOS CRISTALES YA EXISTENTES

RESULTADO NETO :

- ✓ CANTIDAD DE HIELO ES PRACTICAMENTE CONSTANTE
- ✓ NUMERO DE CRISTALES DISMINUYE
- ✓ AUMENTO DEL TAMAÑO MEDIO DE LOS CRISTALES

Menos cristales pero mas grandes

¿COMO REDUCIR EL GRADO DE CRISTALIZACION?

UTILIZANDO TEMPERATURAS LO MAS BAJAS

Y UNIFORMES POSIBLES



EFFECTOS DEL ALMACENAMIENTO BAJO CONGELACION

☞ **EXPANSION DEL VOLUMEN : < 9 %**

☞ **PERDIDA DE HUMEDAD SI HAY GRADIENTE DE TEMPERATURA**

☞ **QUEMADURA DE FRIO**

☞ **BOLSAS DE HIELO**

☞ DESNATURALIZACION PROTEICA :

EL CRECIMIENTO DE LOS CRISTALES EXTRAER AGUA DE LA ESTRUCTURA PROTEICA : desorganización, exudado, arrastre de nutrientes, endurecimiento

☞ RETRACCION DEL ALMIDON :

amilosa y amilopectina forman durante la gelatinización una red que atrapa al agua.

Al congelar las cadenas de amilosa se agregan y se libera el agua.

NECESARIO EMPLEAR ALMIDONES CEREOS

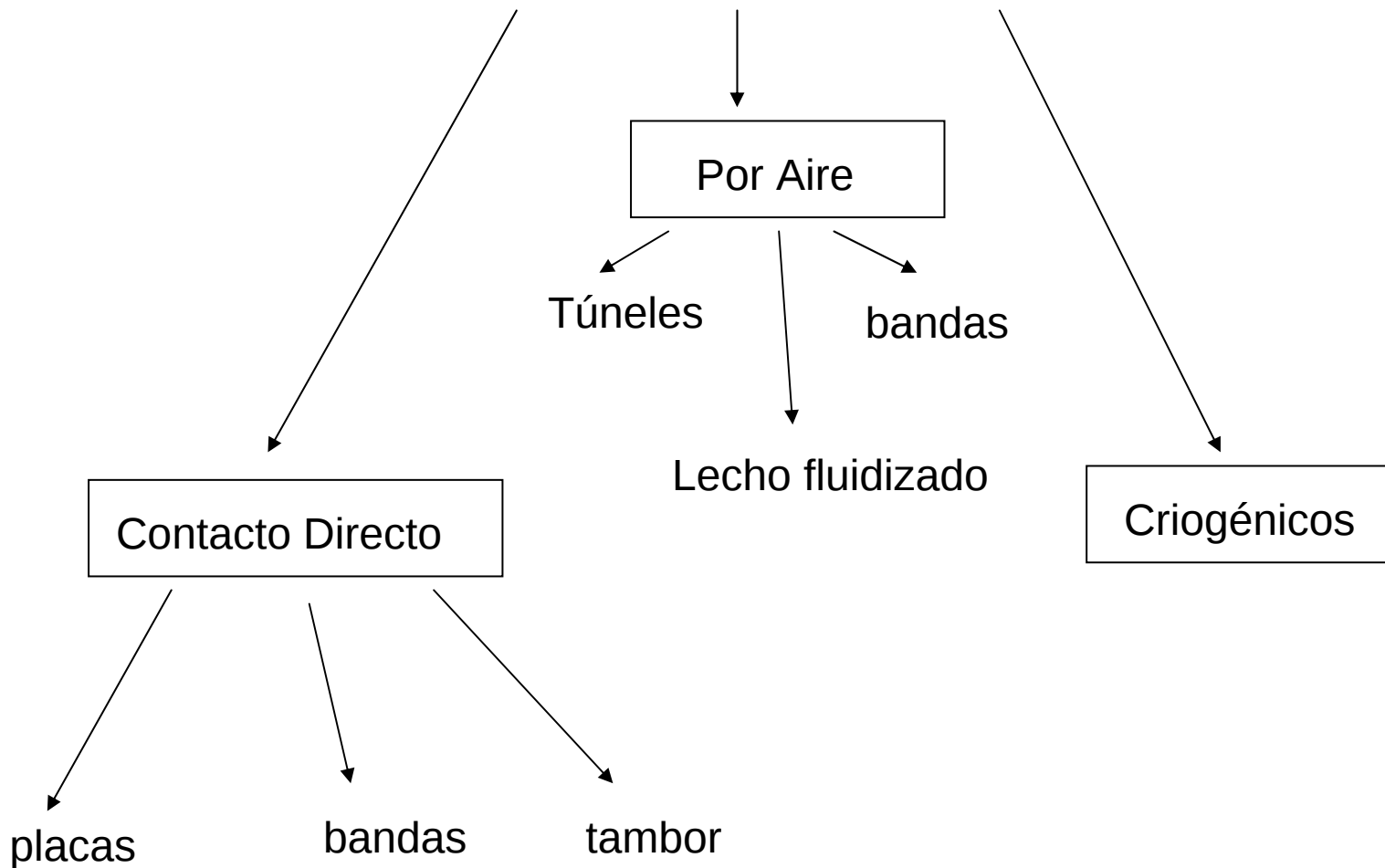
Almidones céreos o glutinosos pueden llegar a contener hasta 95-97% de amilopectina

☞ EFECTOS SOBRE LA FLORA MICROBIANA

- ✓ LA ACTIVIDAD MICROBIANA PRACTICAMENTE SE DETIENE A LAS TEMPERATURAS DE CONGELACION
- ✓ A – 18 °C PRACTICAMENTE LOS ALIMENTOS ESTAN LIBRES DE DESARROLLO MICROBIANO
- ✓ SE HA DEMOSTRADO QUE LAS TEMPERATURAS DE CONGELACION PRODUCEN LA MUERTE DE ALGUNOS MICROORGANISMOS, CONSIGUIENDOSE UNA REDUCCION EN EL NUMERO DE MICROORGANISMOS VIABLES PRESENTES

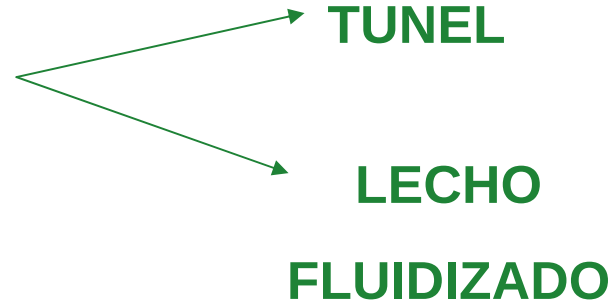
EN NINGUN CASO SE PUEDE HABLAR DE ESTERILIZACION

EQUIPOS PARA CONGELACION DE ALIMENTOS



EQUIPOS DE CONGELACION

Congelación por aire frío



- T aire = -20 a - 40° C
- V aire = 6 m / s
- No depende de la forma y el tamaño
- Pueden ó no estar envasados
- Funcionan en forma continua ó discontinua

CONGELACIÓN POR CONTACTO CON PLACAS FRIAS:

- T placa = -37 a - 40°C
- Producto toma forma de bloques
- Envases deben estar llenos: intimo contacto con la superficie interna del material de envasado

CONGELACIÓN POR CONTACTO CON UN LIQUIDO FRIO:

- Pueden obtenerse elevados coeficientes de Transferencia de calor entre el sólido y el líquido.
- Los cuerpos con formas irregulares pueden congelarse igual que los bloques rectangulares.
- Los alimentos pueden congelarse individualmente (por separado) en lugar de en bloques compactos.

IQF —→ Individually Quick Frozen

(salmuera, glicol ó N₂ liquido)

Congelador de placas

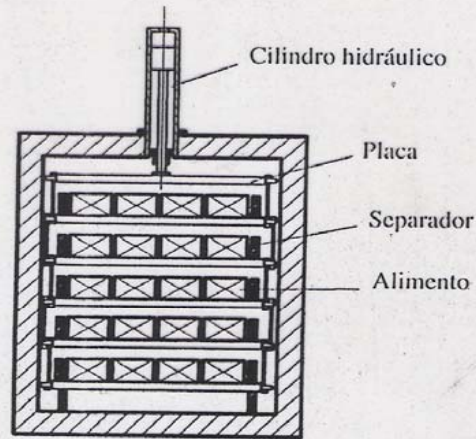
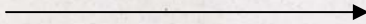


Figura 2.—Esquema de un congelador de placas.

Congelador de tambor

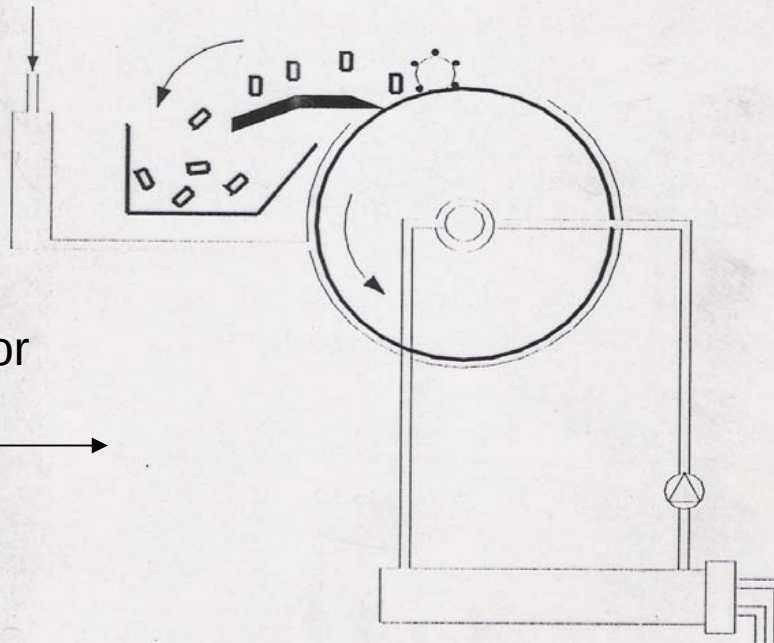


Figura 5.—Esquema de un congelador de tambor.

Fuente : Casp, Abril
1999

túnel

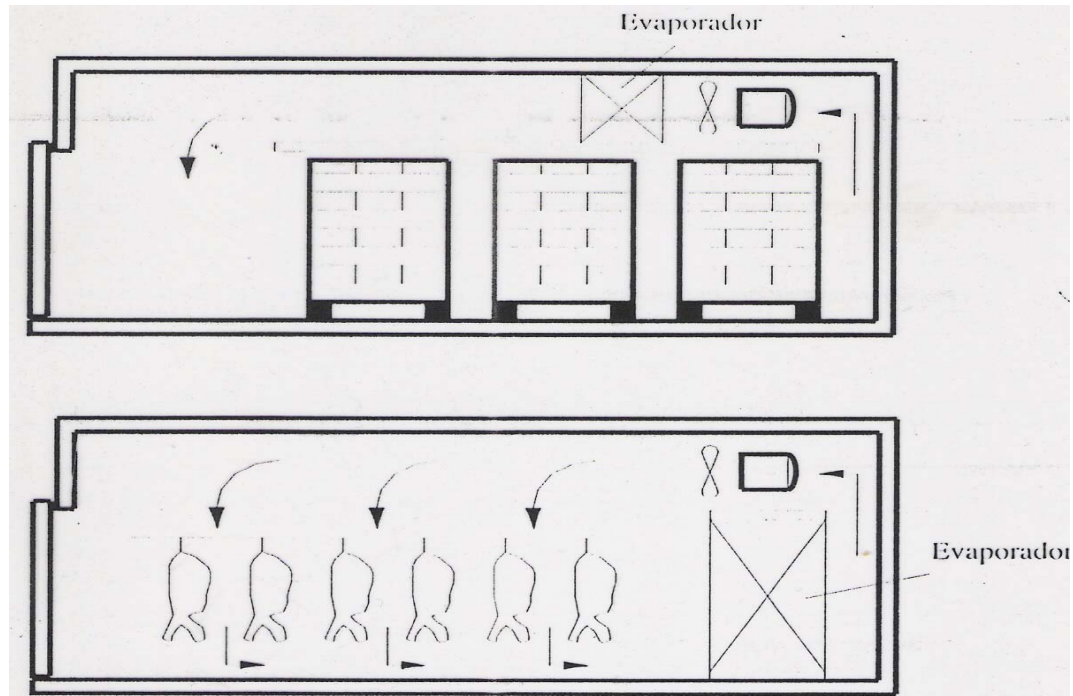


Figura 6.—Esquemas de túneles de congelación estáticos.

Fuente : Casp, Abril
1999

Banda transportadora

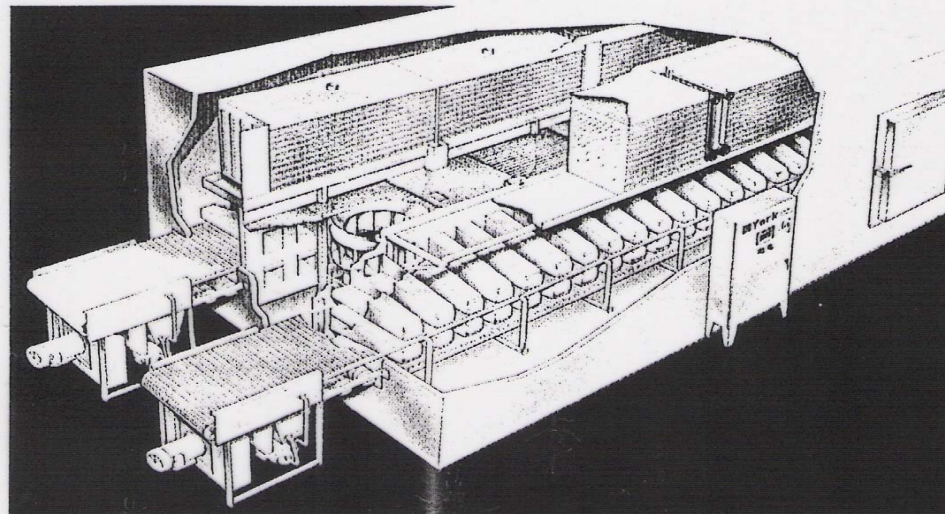
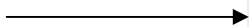
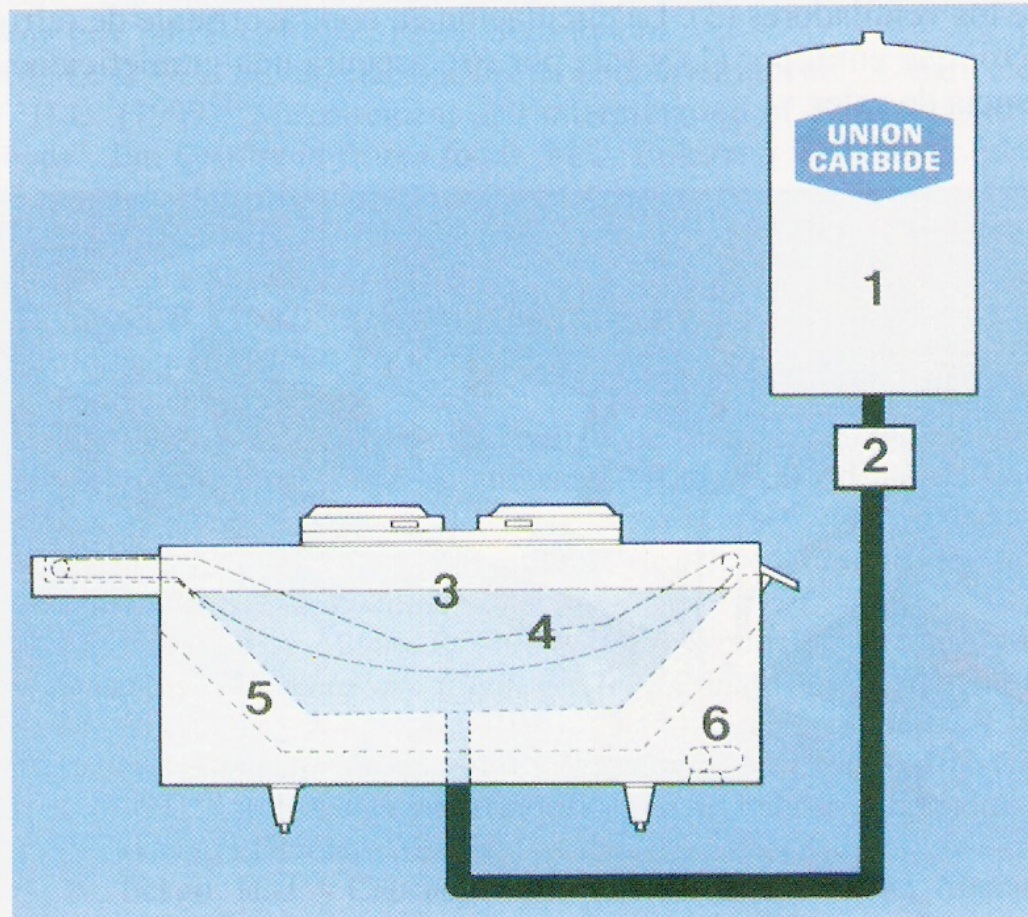


Figura 8.—Congelador de banda transportadora, JetFreezer (York International)

CONGELADOR POR INMERSION



Fuente : Casp, Abril
1999

Figura 12.-Congelador Koach por inmersión en nitrógeno líquido (Unión Carbide).

Los productos se mantienen en baño de N_2 líquido a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre 10 s y 4 min
Consumo : 1 a 1,5 Kg de N_2 líquido /kg de producto congelado