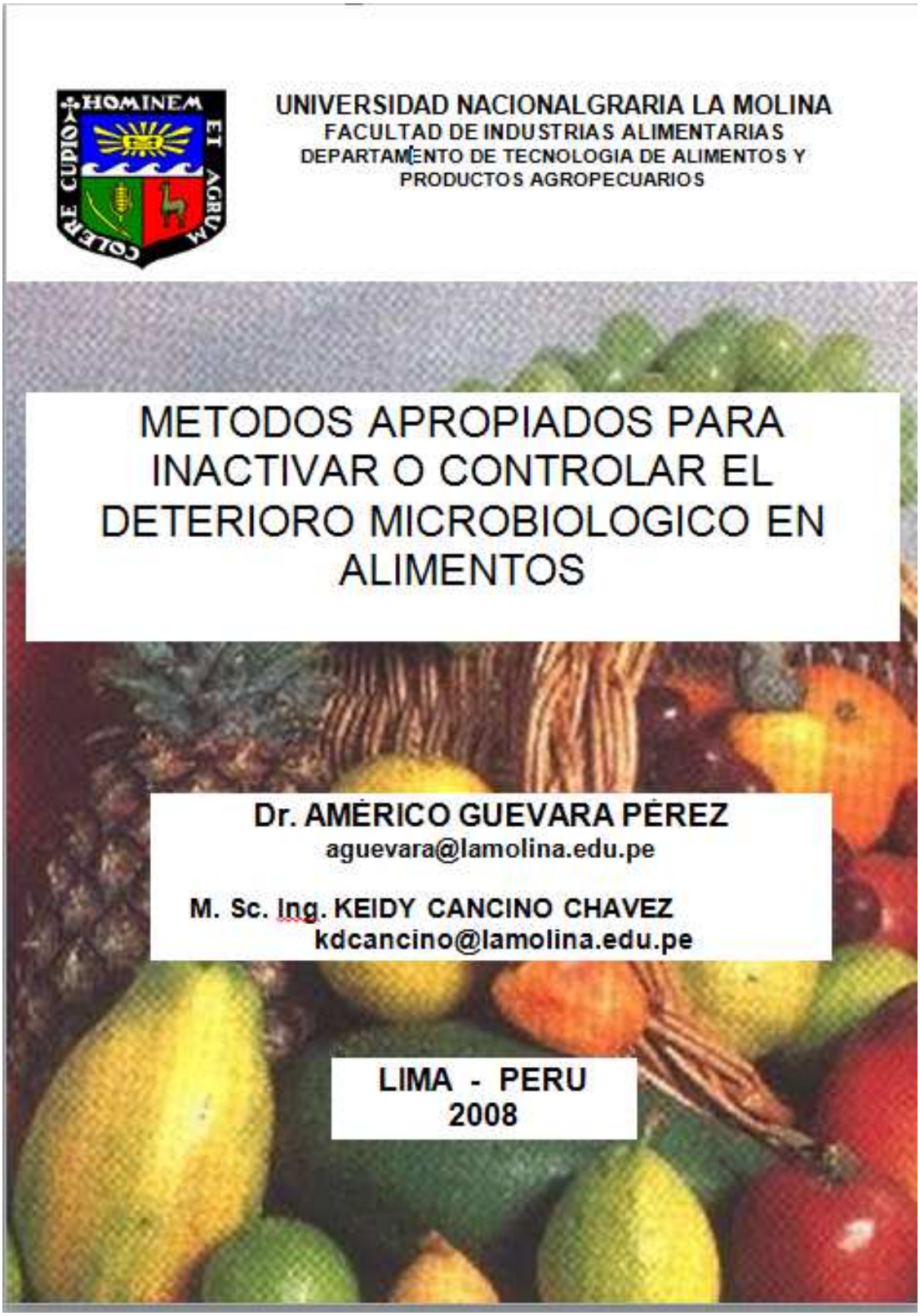

UNIVERSIDAD NACIONALGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS Y
PRODUCTOS AGROPECUARIOS
METODOS APROPIADOS PARA INACTIVAR O CONTROLAR EL DETERIORO MICROBIOLOGICO EN ALIMENTOS
Dr. AMERICO GUEVARA PEREZ
aguevara@lamolina.edu.pe
M. Sc. Ing. KEIDY CANCINO CHAVEZ
kdcancino@lamolina.edu.pe
LIMA - PERU
2008

I. INTRODUCCIÓN

Para conservar alimentos se deben considerar los factores externos e internos causantes del deterioro. Dentro de los **factores externos** se tiene en cuenta a: Temperatura, Oxígeno, Humedad Relativa y/o Actividad del Agua (aw), Luz, Presión, Vibración y Esfuerzos Mecánicos, aplicados a tecnologías de transformación cero, 1 y 2. Como **factores internos** es común controlar: pH o acidez, decisivo para determinar si el alimento debe ser esterilizado o pasteurizado; °Brix; contenido de sal, entre otros; que no pueden ser controlados solamente en tecnologías de transformación 1 y 2.

Con fines de conservación se hace necesario conocer a profundidad la composición química del alimento, la tecnología apropiada que se debe aplicar para su conservación, el empaque más apropiado y el tiempo de vida útil; por ello se recomienda considerar en el manejo de alimentos como mínimo, el término nemotécnico TOMATA, a saber: T = Temperatura, O = Oxígeno, M = Substrato, A = Actividad de agua, T = Tiempo, A = acidez.

Este término involucra a dos componentes más que la bibliografía no considera: el **Substrato**, es decir al alimento como tal ya que en éste se darán las diversas reacciones conducentes a ciertos cambios positivos o negativos y es en el donde se realizan ciertas estandarizaciones y el **tiempo,** factor de interés por cuanto todo proceso, toda reacción, sea física, química o microbiológica, se dará en el tiempo.

Existen métodos de conservación que conllevan a una “destrucción “del microorganismo, tales como el calor, la irradiación, las altas presiones hidrostáticas, los pulsos eléctricos; tratamientos que inactivan a la carga microbiana, es decir hacen que los microorganismos pierdan su viabilidad y no puedan reproducirse, que es lo que se busca en términos de conservación.

También se puede recurrir a métodos de conservación que controlan la carga microbiana, Es decir que el microorganismo puede permanecer latente y mientras

esté sometido al tratamiento apropiado y en el tiempo planificado, no podrá reproducirse; dentro de estos métodos de conservación se puede considerar a. el uso del frío, la modificación de atmósfera, los métodos químicos, y la concentración (deshidratación, fritado, evaporación, destilación, cristalización, y la adición de solutos)

Con el objeto de contribuir al entendimiento y aplicación de los métodos apropiados de conservación en alimentos, y comprometidos con el desarrollo agroindustrial del Perú, ponemos a disposición **el manual**: **Métodos Apropiados para Inactivar o Controlar el deterioro microbiológico en Alimentos**; preparado en base a nuestra experiencia profesional y a bibliografía consultada.

Dr. Américo Guevara Pérez

Mg. Sc. Ing. Keidy Cancino Chavez.

CAPÌTULO II

METODOS APROPIADOS QUE CONDUCEN A UNA INACTIVACIÓN O A UN CONTROL DE LA CARGA MICROBIANA

Cuando tratamos a un alimento debemos aplicar tecnologías apropiadas para lograr su conservación. Muchos alimentos son sometidos a tratamientos que tienden a quitar la viabilidad al microorganismo que es finalmente lo que se busca para conservarlo microbio lógicamente, con otros tratamientos solo se consigue un control del microorganismo (M.O). Sin embargo en una gran gama de productos se debe aplicar tecnologías de barreras, también conocidas como de obstáculos, o métodos combinados.

2.1 TRATAMIENTOS QUE CONLLEVAN A UNA DESTRUCCION DE MICRO ORGANISMOS.

2.1.1 USO DEL CALOR

A. ESTERILIZACIÓN

- Tratamiento con calor, es muy riguroso y se aplica a alimentos que tienen un pH mayor a 4.5
- Generalmente el microorganismo problema es el Clostriduim botulinum
- El producto es estable por un período indefinido de tiempo.
- Todos los microorganismos han sido prácticamente destruidos (esterilización comercial)
- Es imprescindible evitar la recontaminación del producto.

- Equipos: autoclaves (verticales Horizontales, rotatorios, estacionarios, continuos, etc), UHT, HTST
- Ejemplo: Carne enlatada, Leche esterilizada, jugos esterilizados, conservas de hortalizas, pescado y mariscos

B. PASTEURIZACIÓN

- Tratamiento con calor mas leve que la esterilización.
- Se aplica para alimentos que tienen una alta acidez.
- El microorganismo referencia es el Bysoclamys fulva
- El producto es estable por un período determinado de tiempo.
- Se han destruido microorganismos patógenos y disminuido la carga microbiana.
- También es necesario evitar la recontaminación.
- Equipos: pasteurizadores tubulares, de placas, autoclaves, ollas a presión. atmosférica.
- Ejemplo. Jugos y néctares de frutas, fruta en almíbar, pastas, salsas, etc.

2.1.2 IRRADIACION

Tecnología aplicada a muchos alimentos. En la actualidad tiene mucho uso en infusiones, colorantes, harina de pescado, entre otros.

Tiene 3 denominaciones:

- Radapertización: análogo a la esterilización.
- Radurización : análogo a la pasterización

- Radicidación : elimina microorganismos patógenos

La irradiación es una tecnología aplicada en frió, el alimento debe ingresar en su empaque definitivo y se debe cuidar de la recontaminación.

Requiere de una fuente radioactiva que en alimentos es el Co 60 que tiene una larga duración, aproximadamente 58 años. También se puede utilizar el Cs 137 pero solo tiene una vida útil de 30 años.

Su unidad de medida es el Grey y en alimentos se usa el Ggy (kilogrey).

Los usos de la irradiación son varios a saber:

- Inactiva a la carga microbiana
- Para el control enzimático
- Evita la reproducción de los vegetales
- Inactiva a los insectos larvas y huevos.
- Retarda la maduración de los vegetales.

CONDICIONES QUE DEBE REUNIR UNA PLANTA DE IRRADIACIÓN

Por lo general la planta consta de:

1. Cámara de Irradiación.
2. Blindaje biológico de concreto y acceso en laberinto
3. Fuente y contenedor.
4. Controles de la fuente.
5. Sistemas de irradiación del producto.

6. Sistemas de ventilación y seguridad.

7. Área de laboratorio y preparación.

2.1.3 ALTA PRESIÓN HIDROSTATICA

Se denomina cuando los alimentos son tratados a presiones iguales o superiores a 100 Mpa. (1 Mpa equivales a 10 Atm.).

PRINCIPIOS. Debe cumplir dos principios

- Chatelier: todo fenómeno que supone una disminución de volumen está favorecido por un aumento de presión y viceversa.
- La presión uniforme (isostática) y casi instantánea a todos los puntos permite obtener productos sin deformaciones y homogéneos

CONSERVA EL ALIMENTO POR:

- Causa inactivación microbiana.
- Tiende a conservar el aroma, sabor y valor nutritivo.

REACCIONES BIOQUÍMICAS

- Desnaturaliza las moléculas de proteína.
- Rompe los enlaces hidrofóbicos.
- Retarda las reacciones de fermentación.
- Los enlaces covalentes permanecen intactos y los no covalentes se rompen.

APLICACIONES EN ALIMENTOS

- Para descongelar alimentos.

- Arroz tratado se cocina en un menor tiempo.
- En zumos se evita el sabor amargo del limoneno, menor pérdida de vit. C. son menores y se prolonga su tiempo de vida.
- Para almacenar alimentos sin necesidad de congelación.
- Para elaborar salsas y mermeladas.
- Para tratar alimentos muy sensibles a la temperatura como es el caso de: limón (limoneno)
- Para evitar cambios de sabor en algunos alimentos por efecto del tratamiento térmico, como es el caso de la chirimoya.

EQUIPOS DE PROCESAMIENTO

- Continuo.
- Discontinuo.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

a) Acondicionamiento del alimento.

b) Envasado – Sellado: En la actualidad solamente existen dos envases patentados. El “PVOH” (película de alcohol de polivinilo). Y el “VEO” (copolímeros de alcohol de etilen vinilo)

c) Medio de presión – transmisión.

d) Aplicación de alta presión:

- Control de temperatura.
- Control de tiempo.

- Control de presión.

e) Descompresión.

f) Descarga.

CONTROLES EN EL TRATAMIENTO

Según el objetivo:

- Tiempo: minutos a horas.
- Presión: mayor a 100 Mpa.
- Temperatura: -15 a 90°C

EFECTOS DEL TRATAMIENTO

CAMBIOS MORFOLÓGICOS EN MICROORGANISMOS.

a) La mayoría de microorganismos crecen a presiones de 200 – 300 Atm. Los barófilos crecen a 400 – 500 Atm, los curibáricos sobreviven a 500 – 2000 Atm, pero no crecen

b)Formación de filamentos: muchos microorganismos sometidos a altas presiones forman filamentos: E. coli, vibrio spp, Bacillus mycoides, Serratia marinorubre.

ACCION ENZIMATICA

- La alta presión puede activar o inactivar enzimas, la deshidrogenasa se inactiva a 1000 Atm x 15 min, a 27°C.

2.1.4. PULSOS ELÉCTICOS

- Se aplica a alimentos fluidos en forma de pulsos cortos con una duración del pulso entre unos pocos microsegundos y milisegundos.
- Tratamiento a T° ambiente o en frío.
- Inactivan microorganismos y enzimas cuando se excede cierto umbral del campo eléctrico.
- Basado en la teoría ruptura dieléctrica, el campo eléctrico externo induce una diferencia de potencial eléctrico, a través de la membrana celular, conocido como potencial transmembrana. Cuando éste potencial alcanza un valor crítico o umbral, tiene lugar la electroporación o formación de poros en la membrana celular.
- La permeabilidad de la membrana aumenta como resultado de la formación del poro.

EQUIPO:

- Incluye fuente de potencia, banco de condensadores, interruptor, cámara de tratamiento, sondas de voltaje, temperatura, corriente y equipo de envasado aséptico.

Nota: esta tecnología se encuentra a nivel de laboratorio

2.2 TRATAMIENTOS QUE CONLLEVAN A UN CONTROL DE LOS MICROORGANISMOS

2.2.1 USO DEL FRÍO

A. CONGELACIÓN

- Generalmente se aplica a alimentos que están muertos, con algunas excepciones como es el caso de la fresa, entre otros.
- Estabilidad del alimento por un período indefinido de tiempo.
- Las temperaturas de almacenamiento a nivel industrial deben ser menores a -18ºc
- Existen tres modalidades de congelación: lenta, rápida y ultrarrápida.
- Aplicar de acuerdo al alimento y teniendo en cuenta el tiempo de almacenaje.

B. REFRIGERACIÓN

- Estabilidad del alimento es por un período limitado de tiempo. Sólo se ha reducido la velocidad de crecimiento y el tipo de flora que preocupa.
- Carnes el tiempo es muy corto
- La mayor aplicación es para vegetales donde se debe de tener en cuenta el climaterismo y la H. R de almacenamiento.

2.2.2 CONSERVACION DE ALIMENTOS MEDIANTE MODIFICACIÓN DE ATMÓSFERA

La atmósfera que nos rodea esta constituida en promedio por:

N : 72 A 76%

O_2 : 20 A 22%

CO_2 : 0.02 a 0.04%

Por lo que para que se denomine modificación de atmósfera se debe dar un cambio en la composición del aire

- Se requiere controlar: humedad relativa, temperatura.
- La estabilidad del alimento es por un período limitado de tiempo.

A. ATMÓSFERA CONTROLADA

- Durante todo el almacenaje de controla uno o varios de los componentes de la atmósfera.
- Se aplica en alimentos que son sometidos a tecnologías de transformación cero (manejo post cosecha)

B. ATMOSFERA MODIFICADA

- Se hace variar uno o más de los componentes del aire al inicio del almacenaje.
- Su aplicación es para alimentos en general, es decir para transformación cero, 1 y 2,
- Todo alimento empacado en atmósfera normal o con variación de la Presión parcial de oxigeno, se ajusta a esta modalidad de tratamiento

C. ALMACENAMIENTO HIPOBÁRICO

- Es una técnica que se puede aplicar en condiciones naturales y artificiales
- Para nuestros países en vías de desarrollo podemos aplicarlo en condiciones naturales en diferentes lugares: Ticlio, Cajamarca, Huaraz, Arequipa, Puno.
- Se controla tres parámetros: baja presión, baja temperatura y alta humedad relativa

2.2.3. PRESERVACIÓN QUÍMICA

A. USO DE CONSERVADORES QUÍMICOS

- Uso de preservantes, generalmente, ácidos lipofílicos.
- Pueden ser naturales o artificiales.
- Mucha aplicación en alimentos ácidos tiene el sorbato de potasio y el benzoato de sodio (de uso restringido), en alimentos no ácidos se aplica los propionatos

B. MÉTODOS BIOLÓGICOS

- Fermentación alcohólica
- Fermentación acética
- Fermentación láctica
- Generalmente, producción de alcohol y ácidos orgánicos que inhiben el crecimiento de ciertos microorganismos sobre todo a los patógenos
- Su conservación se dará de acuerdo al nivel de substrato presente.

2.2.4 CONCENTRACIÓN

A. SECADO

- Métodos convencionales
- Secado por rodillo
- Atomización
- Liofilización

El producto es estable aunque contenga microorganismos viables. Se debe evitar el aumento del contenido de humedad controlando las condiciones de almacenamiento y empaque.

Esto alimentos tiene una baja Aw. Y por lo tanto no existe agua disponible para que los microorganismos puedan realizar sus funciones vitales

B. ADICIÓN DE SOLUTOS

- Productos con alta concentración de azúcar.
- Productos salados
- Alimentos adicionados de depresores de la AW.

El crecimiento de bacterias está controlado por la reducción de la disponibilidad de agua necesaria para las reacciones fisiológicas de crecimiento. Dentro de los microorganismos, las levaduras y mohos son los de preocupación y estos son controlados mediante el uso de preservantes.

Muchos alimentos requieren métodos combinados de conservación, y deben ser evaluados en forma individual. Cuando el alimento tiene una alta concentración de solutos se da el efecto de la plasmólisis en el M.O. y de este modo se inhibe.

C. EVAPORACIÓN

La evaporación consiste en eliminar parte del agua que contienen los alimentos, para ello se lleva a ebullición, lo que se diferencia de otros métodos de concentración. El objetivo principal de la evaporación es aumentar la concentración de sólidos totales para reducir la actividad de agua y contribuir así a su conservación

- Se utilizan los evaporadores: Olla a presión atmosférica. Bola. Película ascendente, descendente. De calandria. De tubos cortos tubos largos. Centrífugos (centritherm)
- Los equipos trabajan en serie o en paralelo.
- Las partes o zonas de un equipo son: z. de calentamiento, z de evaporación, z. de separación.
- Interesa el producto a concentrar.
- Dependiendo del equipo y de la materia prima se deben realizar las operaciones de acondicionamiento.

D. CRISTALIZACION

Se utiliza para separar una mezcla de sólidos que sean solubles en el mismo disolvente pero con curvas de solubilidad diferentes. Una vez que la mezcla esté disuelta, puede calentarse para evaporar parte de disolvente y así concentrar la disolución. Para el compuesto menos soluble la disolución llegará a la saturación debido a la eliminación de parte del disolvente y precipitará. Cada etapa sucesiva de cristalización tiene un rendimiento menor, y una pureza también menor.

Una cristalización se dará si y solo si la solución es concentrada hasta su nivel de sobresaturación. En alimentos tiene mucha aplicación en el proceso de obtención de azúcar, panela, chancaca, etc. La cristalización es el proceso inverso de la disolución.

E. DESTILACIÓN

Es un método que consiste en separar los componentes de un solución, basándose en los diferentes puntos de ebullición de sus fracciones; Como

ejemplo en alimentos podemos citar a la obtención del aguardiente (pisco y el cañazo), alcoholes en general y otras bebidas obtenidas por destilación.

Todos los líquidos expuestos a la acción del calor se dilatan, hasta llegar a la temperatura de ebullición que en el caso del agua en condiciones atmosféricas es 100, y la del alcohol 78,4°C. La destilación da inicio con las moléculas más próximas a las paredes del recipiente en contacto con el fuego o llama. Estas moléculas, perdiendo peso, efectúan un movimiento ascendente hacia la superficie superior del líquido, y las moléculas frías descienden hasta ocupar el lugar dejado libre por las primeras.

Los vapores se liberan, se purifican y con sistemas de condensación vuelven al estado liquido al ceder su calor acumulado, es decir por enfriamiento.

- Destilación a fuego directo: el combustible se aplica directamente a la superficie del recipiente, es el procedimiento más usado, y se emplea siempre que la temperatura no pueda alterar el recipiente adoptado para la destilación.
- Destilación a baño María: se adopta en líquidos que hierven a una temperatura inferior a la del agua y en este procedimiento el calor se aplica por intermedio del agua.
- Destilación a baño de arena: se aplica a los mismos casos anteriores y en arena porque, siendo mala conductora, retiene el calor y lo transmite al recipiente apoyado.

Destilación Simple.

El proceso se lleva a cabo por medio se una sola etapa, es decir, que se evapora el líquido de punto de ebullición más bajo (mayor presión de vapor) y se condensa por medio de un refrigerante

Destilación fraccionada.

El proceso se realiza en multi-etapas por medio de columnas de destilación con cuerpos o platos, se llevan a cabo continuamente numerosas evaporaciones y condensaciones. Al ir avanzando a lo largo de la columna, la composición del vapor es más concentrada en el componente más volátil y la concentración del líquido que condensa es más rica en el componente menos volátil. Cabe mencionar que este tipo de destilación es mucho más eficiente que una destilación simple y que mientras más etapas involucre, mejor separación se obtendrá de los componentes**.**

CAPÍTULO III

CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS MEDIANTE TRATAMIENTO TERMICO

3.1 FUNDAMENTOS DE LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS POR CALOR

- El estudio empezó con Nicolás Appert en 1804, pero sin base científica
- Pasteur en 1850 dio su base científica explicando por primera vez la presencia de microorganismos
- Prosperó mucho las conservas en envase de hojalata
- Hoy en día se está dando mucha importancia al vidrio (sílice, caliza y carbonato de calcio) proceso prensado-soplado

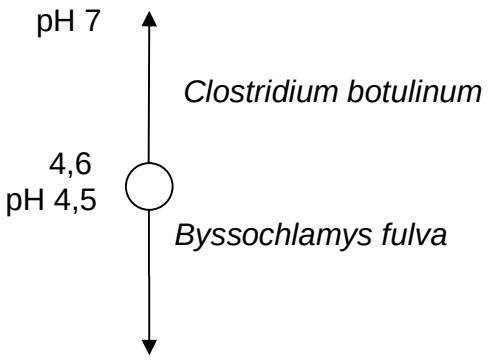
3.2 TIPOS DE CALOR

- Calor húmedo (115ºC x 15 min) causa desnaturalización de la proteína
- Calor seco (150ºC x 3h) causa oxidación

3.3 CLASIFICACIÓN DE ALIMENTOS POR SU ACIDEZ

- Alimentos alcalinos pH 6.8
- Alimentos bajos en acidez pH 5-6.8
- Alimentos semiácidos pH 4.5-5
- Alimentos ácidos pH 3.7-4.5
- Alimentos muy ácidos pH 2.3-3.7

FIGURA 3.1: EL pH Y EL TRATAMIENTO TÉRMICO



CUADRO 3.1: RESISTENCIA TERMICA COMPARATIVA DE BACTERIAS EN ALIMENTOS ENLATADOS

GRUPOS DE ALIMENTOS	**GRUPO DE BACTERIAS**	**RANGO APROXIMADO Resistencia térmica**	
		D	**Z**
Poco ácidos y semiácidos PH > 4.5	TERMOFILAS (esporas)	D_{250}	
	Grupo del "flat sour" (*B. Estearo thermophilus*)	4.3-5.0	14-22
	Grupo de alteraciones gaseosas (*C. thermosaccharolyticum*)	3.0-4.0	16-22
	Grupo de los productos de olor sulfuroso (*C. nigrificans*)	2.0-3.0	16-22
	Mesófilos (esporas) Anaerobios putrefactivos *C. botulinum* (tipo A y B)	0.10-0.20	14-18
	Grupo del *C. esporogenes* (incluyendo al P.A. 3679)	0.10-1.5	14-18
Ácidos 4.0 < pH < 4.5	Termófilos (esporas) *B. coagulans* (mesofílico facultativo)	0.01-0.07	14-18
	Mesófilos (esporas)	D_{212}	
	B. polymyxa y *B. Maceraus*	0.10-0.50	12-16
	Eutirico – anaerobios (*C. pasteurianum*)	0.10-0.50	12-10
Muy ácidos PH < 4.0	Bacterias mesofílicas esporuladas	D_{150}	
	Lactobacillus sp., Leuconostoc sp., Mohos y Levaduras	0.50-1.0	8-10

Fuente: Stumbo (1973)

BACTERIAS ESPORULADAS

Se clasifican en base al requerimiento de oxígeno en:

- Aerobios obligados
- Anaerobios facultativos (Bacillus)
- Anaerobios obligados
  - "Termófilos" (Clostridium thermosacharolyticum, produce CO_2, H_2)

    (Clostridium nigrificans, produce H_2S)
  - "Mesófilos" (Clostridium botulinum A, B, E)

BACTERIAS NO ESPORULADAS, LEVADURAS Y MOHOS

3.4 CINÉTICA DE INACTIVACIÓN DE MICROORGANISMOS POR EL CALOR

- Pérdida de viabilidad
- Forma exponencial con el tiempo: reacción monomolecular a biomolecular

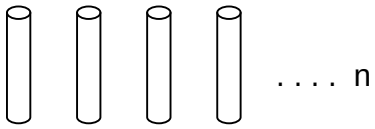
$$A \xrightarrow[\text{RNA}]{\text{DNA}} B$$

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

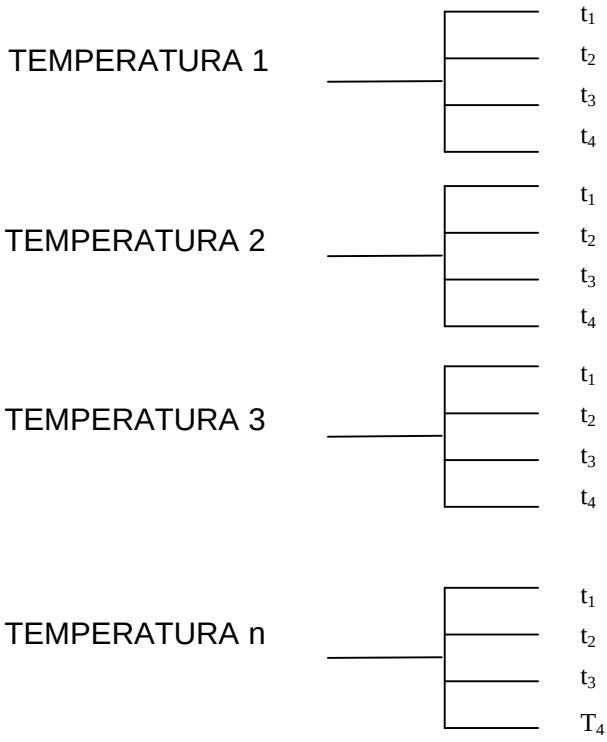
1. MATERIAL
   - Cepa
   - Latas pequeñas o capilares pequeños

- Trabajar con envases grandes se complica, no se puede asegurar una distribución de Tº igual, las pérdidas que ocasionarán serán muy desuniformes en toda la lata.
- En capilares o envases pequeños, la Tº sube instantáneamente y también baja.

2. Realizar la siembra; CEPA →

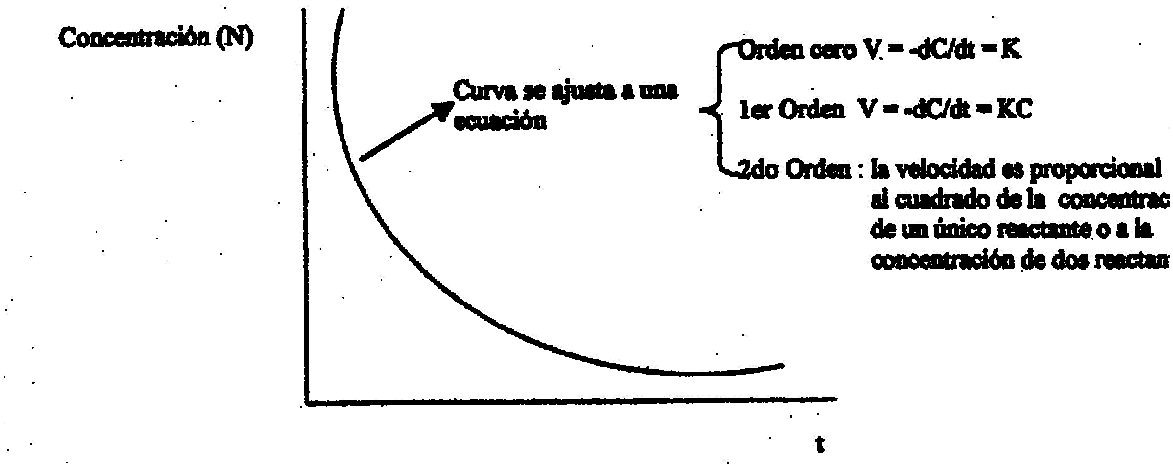


3. Experimentar a varias temperaturas y tiempos (t)



4. Con los resultados experimentales se grafica (T= cte)

FIGURA 3.2: CONCENTRACIÓN DE MICROORGANISMOS EN EL TIEMPO



La ecuación sería:

$$-\frac{dC}{d\theta} = K_t C^{\alpha}$$

α = 0, 1, 2 . . . . es la que da el orden de la reacción.

- Generalmente, para microorganismos se considera de primer orden

  ⇨ $\alpha = 1$

- El signo (-) es porque con el tiempo la concentración de microorganismos se reduce

EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL VALOR K

El valor de la constante de la velocidad de destrucción, está principalmente en función de la T° → Ec. Arrhenius

$$K = K_o\, e^{-Ea/RT}$$

Donde:

K_o =cte empírica

Ea = energía de activación (Cal/mol)

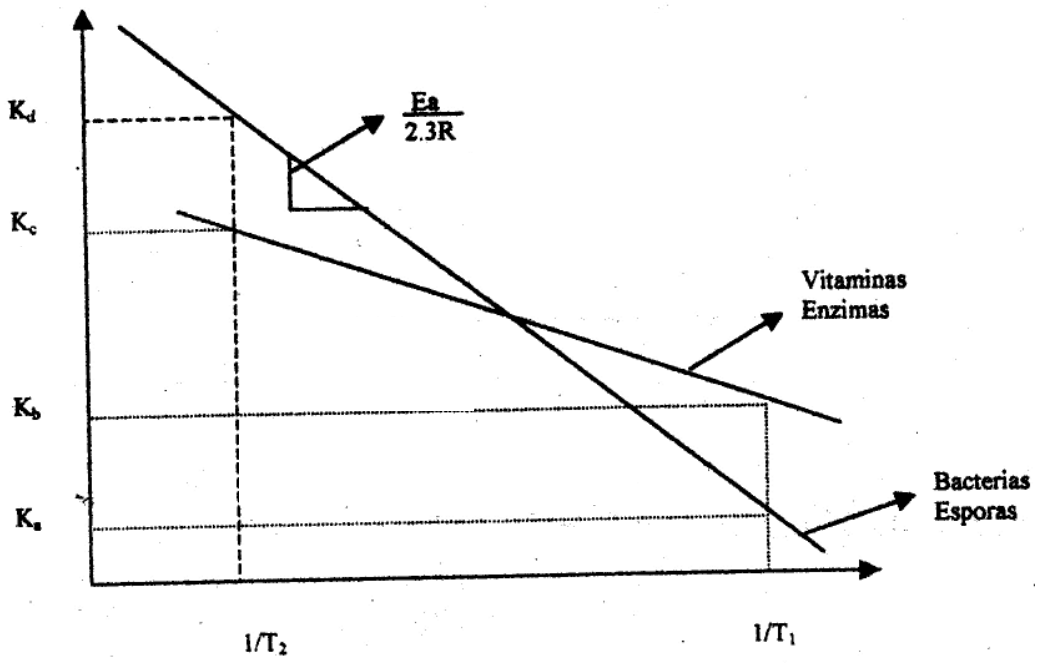
T = Tº absoluta

R = cte gral de los gases

- Velocidad de reacción no es proporcional al Nº total de microorganismos sino proporcional al Nº de microorganismos que poseen Ea.

$$LnK = Ln\,K_o - \frac{Ea}{R}\frac{1}{T} = Log\,K = Log\,K_o - \frac{Ea}{2.3R}\frac{1}{T}$$

FIGURA 3.3: RELACIÓN ENTRE K Y LA INVERSA DE LA TEMPERATURA



5. Integrando la ecuación anterior:

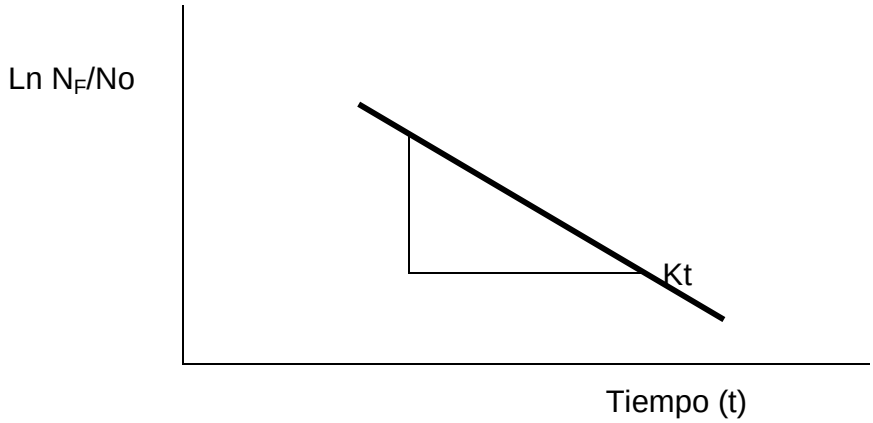
$$\int_{No}^{N_F} dN/N = K \int_{t=0}^{t} dt/F$$

$$\text{Ln } \frac{N_F}{No} = - Kt \quad \text{.....} \quad \text{Ecuación para una T}^{o} \text{ dada}$$

$$\text{o Log } \frac{N}{No} = - \frac{K\,t}{2.3}$$

$$K = - \frac{\text{Ln } N_F/No}{Q}$$

FIGURA 3.4: RELACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN FINAL E INICIAL DE LOS MICROORGANISMOS EN EL TIEMPO



Nota: para cada T^{o} existirá un K$\rightarrow$ Kt

100
110
115
120

6. Determinación de la energía de activación

Es la variación de K con respecto a la T^{o}. Está representada por la ecuación de Arrhenius

$$K = K_o\, e^{-Ea/RT}$$

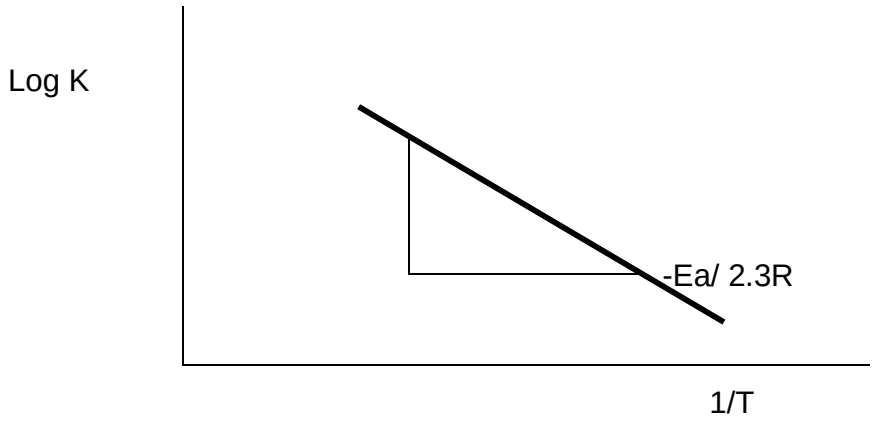
$$\text{Ln } K = \text{Ln } K_o \, e^{-Ea/RT}$$

$$\text{Ln } K = \text{Ln } K_o + \text{Ln } e^{-Ea/RT}$$

$$\frac{\text{Ln } K}{2.3} = \frac{\text{Ln } K_o}{2.3} - \frac{Ea}{RT} \cdot \frac{1}{2.3}$$

$$\log K = \log K_0 - (Ea/2{,}3R)(1/T)$$

FIGURA 3.5: LINEALIZACIÓN DE LA ECUACIÓN: $\log K = \log K_0 - (Ea/2{,}3R)(1/T)$



CÁLCULO DEL VALOR "D"

D: es el tiempo requerido para reducir la población microbiana 10 veces o un ciclo logarítmico

Existen dos formas para calcularlo:

1) Considerando que sigue una cinética de primer orden:

$$\frac{N_F}{No} = \frac{1}{10} \; D$$

$$\text{Ln } \frac{N_F}{No} = - Kt \qquad \text{o} \qquad \text{Log } \frac{N}{No} = - \frac{K \, t}{2.3}$$

$$-1 = - \text{Log } 1/10 = -(K/2.3) \, D$$
$$-1 \, (2.3)/K = D$$

D = 2.3/K

D a una Tº y K a la misma Tº

2) El tiempo "t" de destrucción es igual a:

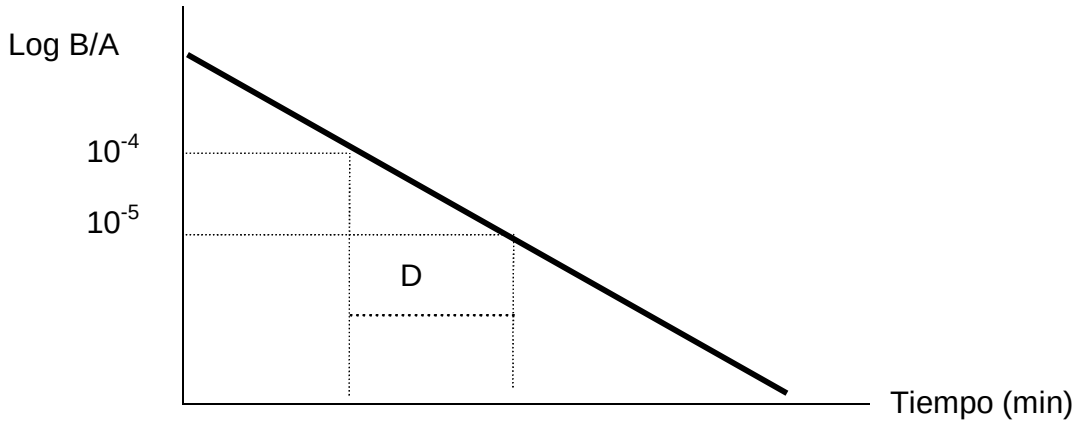
t = D (LogA – LogB)

A= concentración inicial

B= concentración final

- Considerando A y B, entonces se puede calcular D, en forma gráfica.

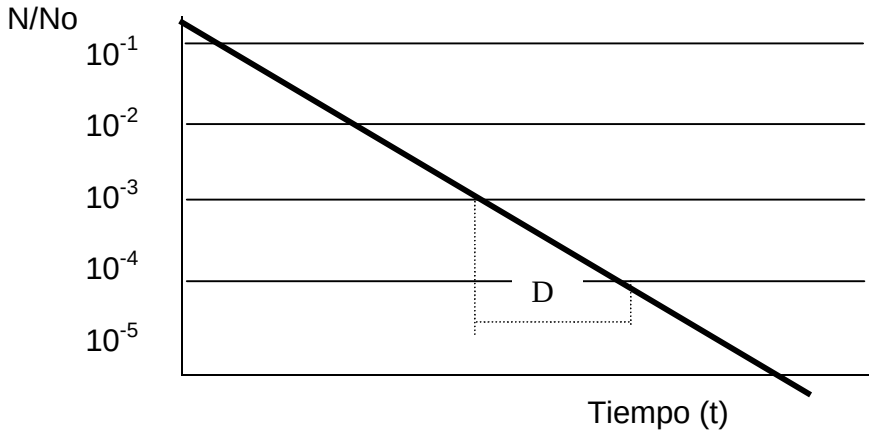
FIGURA 3.6: CÁLCULO DEL VALOR D



Log A/B = (1/D) t

Log B/A = -(1/D) t

FIGURA 3.7: CURVA LOGARÍTMICA DE DESTRUCCIÓN TÉRMICA MICROBIANA A TEMPERATURA CONSTANTE



Para alimentos pH > 4.5, ESTY y MEYER establecieron para Clostridium botulinum:

$$60 \times 10^{9} \longrightarrow 0.1 \text{ TDT o TMT}$$

significa una reducción aproximada de 12D o 12 ciclos logarítmicos a Tº = 121.1 ºC (250ºF)

tiempo = F o TDT o TMT

$F_{250} = 12\ D_{250}$

D= 0.21 min

F = 12 x 0.21 = 2.52 valor referencia, se le denomina Fo

También se puede calcular usando la siguiente ecuación:

$$\text{Log}\ \frac{N}{No} = -\frac{t}{D}$$

N = 0.1

No= 60 x 10^9

D_{250} = 0.21 min (*Cl. Botulinum*)

Q = Fo

Reemplazando:

Log 0.1/60 x 10^9 = -Fo/0.21 min

Log $10^{-11.78}$ = -Fo/0.21 min

Fo = 0.21 min x Log $10^{-11.78}$

Fo = - 0.21 x –11.78/12

Fo = 2.52 min

ESTABLECIMIENTO DEL RANGO DE DESTRUCCIÓN TÉRMICA PARA *Clostridium botulinum*

$$\text{Log}\ \frac{N}{No} = -\frac{K\,t}{2.3}$$

$$\text{Log}\ \frac{N}{No} = -K\,t \qquad \therefore\ K = \frac{D}{2.3}$$

Según la fórmula Log N/No = -t/D, para llegar a una esterilidad total N= 0, se necesitaría un tiempo de TT infinito ∴ IMPOSIBLE

Por lo tanto, se establece márgenes de seguridad:

Ejm:

Se tiene un lote de conservas con materia prima contaminada por Lactobacillus sp. (1000 cel/ml). Si se desea que la probabilidad de 100000 envases de 1 L tenga sólo de una de ellas, se tendría el siguiente razonamiento:

1000 cel/ml $\rightarrow$3D $\rightarrow$ 1 cel/ml $\rightarrow$ 3D $\rightarrow$ 1 cel/l $\rightarrow$ 5D $\rightarrow$ 1 cel/100000 envases

↑	↑	↑
se reduce 1000 veces	se reduce 1000 veces	se reduce 100000 veces

$\sum D = 11$

$11 \times D_{150} = 11 \times 0.5$ min
tiempo = 5.5 min (a 150ºF)

Ejemplo:

Si tuviéramos carne contaminada con 1 espora/500g y se buscara una probabilidad de contaminación de 1 en un billón (envase de ½ kg). Se deduce de la siguiente manera:

1 esp/500g $\rightarrow$1D $\rightarrow$ 1 esp/5 kg $\rightarrow$ **11**D $\rightarrow$ 1 esp/1 billón latas

$\sum D = 12$ D

Se interpreta 1 envase contaminado/ 1 billón de envases procesados

Probabilidad bastante pequeña:

- Para un país que produce varios millones de envases de productos no ácidos (pH>4.5), el factor es justificable.
- Para un país que tenga 100000000 envases al año para que llegue a producir 1 billón de latas tendría que transcurrir 10000 años, es decir, existiría la probabilidad que se presente un caso de lata contaminada con una espora cada 10000 años.

Si esta apreciación la hacemos a un productor (fabricante) que tenga una producción de 1 millón de latas al año, la probabilidad sería de 1 cada 1 millón de años.

Por lo tanto el margen de seguridad tomado (12D) es amplio.

El problema es si la contaminación inicial es mayor

Ejm:

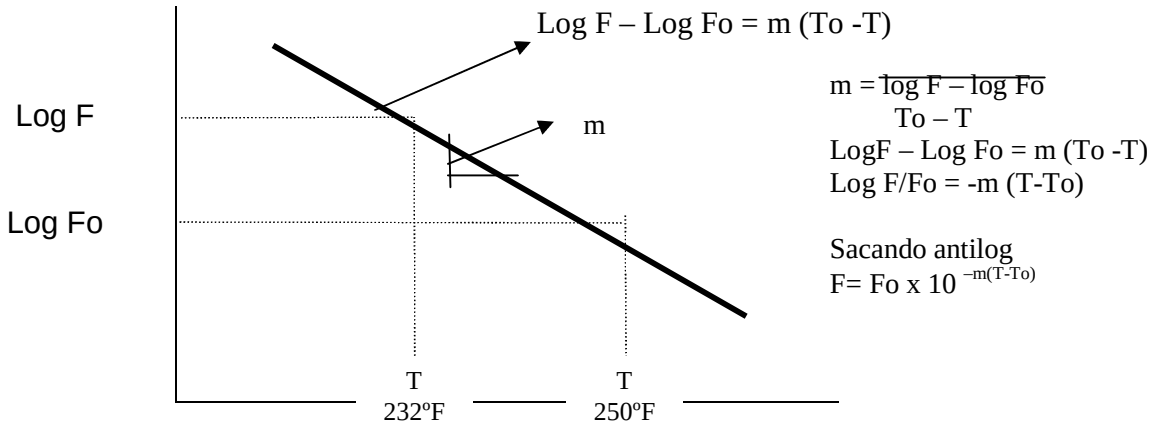
100000 esp/ 500 g ⟶ 120

$1/10^1$ latas

VARIACIÓN DEL VALOR DE "F" CON LA TEMPERATURA

"F" varía inversamente proporcional con la temperatura

FIGURA 3.8: VARIACIÓN DEL VALOR DE F CON LA TEMPERATURA



VALOR Z

Expresa la variación de F con la Tº

Z = Nº de grados de Tº que se requiere variar para modificar el valor de F 10 veces

Ejm:

Clostridium botulinum Z = 18ºF para 250ºF →2.52 min

Si la Tº = 232ºF (18ºF menos) → F = 25.2

Si la Tº = 268ºF (18ºF más) → F = 0.252

$$m = \frac{\text{Log } 25.2 - \log 2.52}{250 - 232}$$

$$m = \frac{\text{Log } (25.2 - 2.52)}{18\ ºF}$$

Pero 18ºF = Z → m = log 10/Z → m = 1/Z

$$F = Fo \times 10^{-(T-To)/Z}$$

Conociendo varios valores de D a diferentes Tºs se puede conocer Z:

Log D = Log Do –1/Z (T-To)

Deducción:

D x Nº Ciclos a reducir = Do x Nº Ciclos a reducir x $10^{-(T-To)}$

$D = Do \times 10^{-(T-To)}$

Log D = Log Do - (T-To)/Z

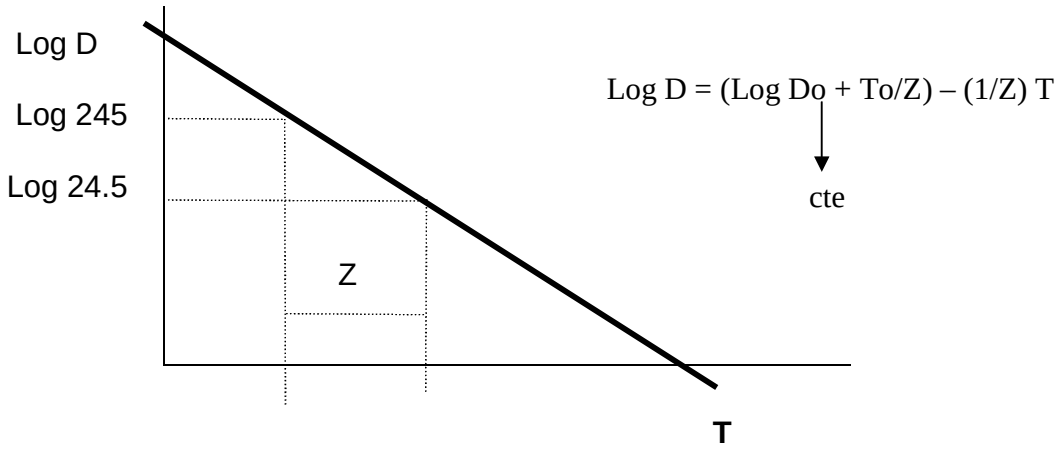
Log D/Do = –1/Z (T-To)

Z es el Nº de grados de Tº que se requiere variar para modificar el vlor de F 10 veces (o sea la letalidad).

CUADRO 3.2: VALORES OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE DE T, K, D Y Z

T	K	D	Z
T1 T2 T3 Tn	K1 K2 K3 Kn	D1 D2 D3 Dn	

FIGURA 3.9: CÁLCULO DE Z



3.5 CÁLCULO DEL PROCESAMIENTO TÉRMICO

El cálculo del procesamiento térmico (o letalidad del proceso) es dependiente de dos fuentes de información las cuales son establecidas empíricamente, de las curvas de penetración de calor y de las curvas de destrucción térmica del microorganismo contaminante a ser destruido.

Existen diversos métodos para determinar el tiempo de procesamiento térmico. Sin embargo, los más utilizados son:

- Método de Integración Gráfica de Bigelow
- Método General Modificado
- Método Analítico de Ball

- Método de Nomograma

A. MÉTODO DE INTEGRACIÓN GRÁFICA DE BIGELOW

Es específico para el *Clostridium botulinum* para producir una reducción de 12 ciclos log de su población es decir, conseguir un efecto esterilizante equivalente a Fo = 2.52 min (250ºF) que se considera en este caso como la unidad (E.E. = 1.0).

El cálculo del procesamiento térmico consiste básicamente en determinar el tiempo que se requiere para que el punto más frío del envase (p.m.f.) reciba un tratamiento térmico tal, que su efecto esterilizante (E.E.) sea igual a 1.0, es decir, se haya producido una reducción de aproximadamente 12 ciclos log. de las esporas del *Clostridium botulinum*.

Fo = 2.52 min (se considera el valor obtenido por Esty y Mayer en solución buffer).

Z = 18ºF

Si el producto sometido al T.T recibe un E.E. = 1.0, o sea reduce la población del *Cl. Botulinum*, 12 log., las otras partes del producto habrán recibido un E.E. mayor a 1.0. Se toma como referencia el p.m.f. porque es el lugar del envase donde más protección existirá para una espora del *Cl. Botulinum* en el T.E., o sea el punto deonde el producto se calienta más lentamente. El cálculo del θ P.T. sería simple si T ó Ti (p.m.f.) fuera constante, ya que el valor de θ P.T. sería el valor de F, a ese Ti; pero como Ti varía con el tiempo, sería necesario introducir la ecuación que describiera la variación de Ti en función del tiempo (θ) lo cual es bastante difícil de realizar matemáticamente.

Para resolver esto, se recurre a otros métodos, siendo uno de ellos de la integración gráfica de Bigelow.

Para el cálculo del procesamiento térmico por la integración gráfica, es necesario tener la información de la curva de penetración de calor del producto, es decir, la variación de Ti (p.m.f.) en el tiempo de procesamiento térmico, lo cual se determina con el uso de termocuplas ubicados en el p.m.f.

CUADRO 3.3: DATOS DE PENETRACIÓN DE CALOR Y LETALIDAD

TIEMPO (min)	TEMPERATURA ºF	F (min)	1/F (min^{-1})
20	208.0	542.92	1.84E-03
25	215.0	221.74	4.51E-03
30	220.0	116.97	8.55E-03
35	226.5	50.93	1.96E-02
40	230.0	32.55	3.07E-02
45	235.0	17.17	5.82E-02
50	239.0	10.29	9.72E-02
55	241.0	7.97	1.25E-01
60	243.0	6.17	1.62E-01
65	244.0	5.43	1.84E-01
70	245.0	4.78	2.09E-01
75	246.5	3.94	2.54E-01
80	246.0	4.20	2.38E-01
85	238.5	10.97	9.11E-02
90	220.0	16.97	8.55E-03
95	205.0	796.89	1.25E-03
100	193.0	3,698.85	2.70E-04

PROBLEMA

Con los datos que se presentan en el Cuadro 3.3, de calentamiento y enfriamiento en una conserva, calcular el tiempo para conseguir un Fo = 2.52

Trabajar con el método de la Integración gráfica.

SOLUCIÓN

1. Cálculo de la Letalidad

1. Mediante la fórmula:

$F = Fo \times 10^{-(T-TR/Z)}$

$F = 2.52 \times 10^{-(208-250)/18} = 527.43 \rightarrow 1/F = 1.8959 \times 10^{-3}$

$F = 2.52 \times 10^{-(215-250)/18}$

$F = 221.74$

NOTA: Primero se calcula el valor de F para todas las temperaturas. Luego se calcula el efecto letal causado en un minuto que viene de ser el valor recíproco de F.

Obtenido todos los valores de letalidad para las temperaturas de proceso. Se procede a plotear en un papel milimetrado los valores de la letalidad versus el tiempo (Fig 3.10).

Lo que se requiere es sumar el efecto del tiempo, temperatura, con relación a la destrucción del Cl. Botulinum, para que esta integración nos de un efecto de esterilización (E.E. es igual a 1.0).

Se encuentra el área equivalente a un E.E. = 1.0

El área equivalente para E.E. cuya letalidad es 100 x 10^{-3} y el tiempo de 10 minutos de 10 cm^2 (E.E. = 100 x 10^{-3} x 10 = 10 cm^2) y se debe ubicar debajo de la curva de letalidad térmica para el proceso.

Calcular el área de la curva de letalidad térmica con la ayuda de un planímetro o por triangulación para convertir esta área a tiempo se toma como base el área que produce una unidad esterilizante igual a 1. El área total (75 cm^2) se divide entre esta área (75/10 =7.5). Otro método sería luego de terminar a que efecto esterilizante corresponde 1cm^2, con este dato transformamos los cm^2 de cada área en sus respectivos efectos esterilizantes.

Una segunda área se grafica usando el mismo patrón anterior siguiendo el mismo perfil de enfriamiento. Ejemplo A_2 = 15 cm^2 entonces 15/10 = 1.5 cm^2.

Con esta información en otro papel milimetrado se plotea los puntos de las 2 áreas anteriores en minutos contra los tiempos de cierre de ingreso de vapor, luego se unen y se obtiene una recta.

Esta se intersecta con el eje deseado o requerido a la temperatura de trabajo. Bajando una perpendicular, de aquí se obtiene el tiempo de procesamiento térmico.

2. Utilizando la curva de supervivencia térmica

   Es mucho más rápido. Para ellos se ingresa con la temperatura en ºF, se traza una perpendicular en el punto donde corta a la recta, se traza otra perpendicular al eje Y (Tiempo en min.).

   La letalidad será 1/tiempo

FIGURA 3.10: CURVA DE LETALIDAD TERMICA

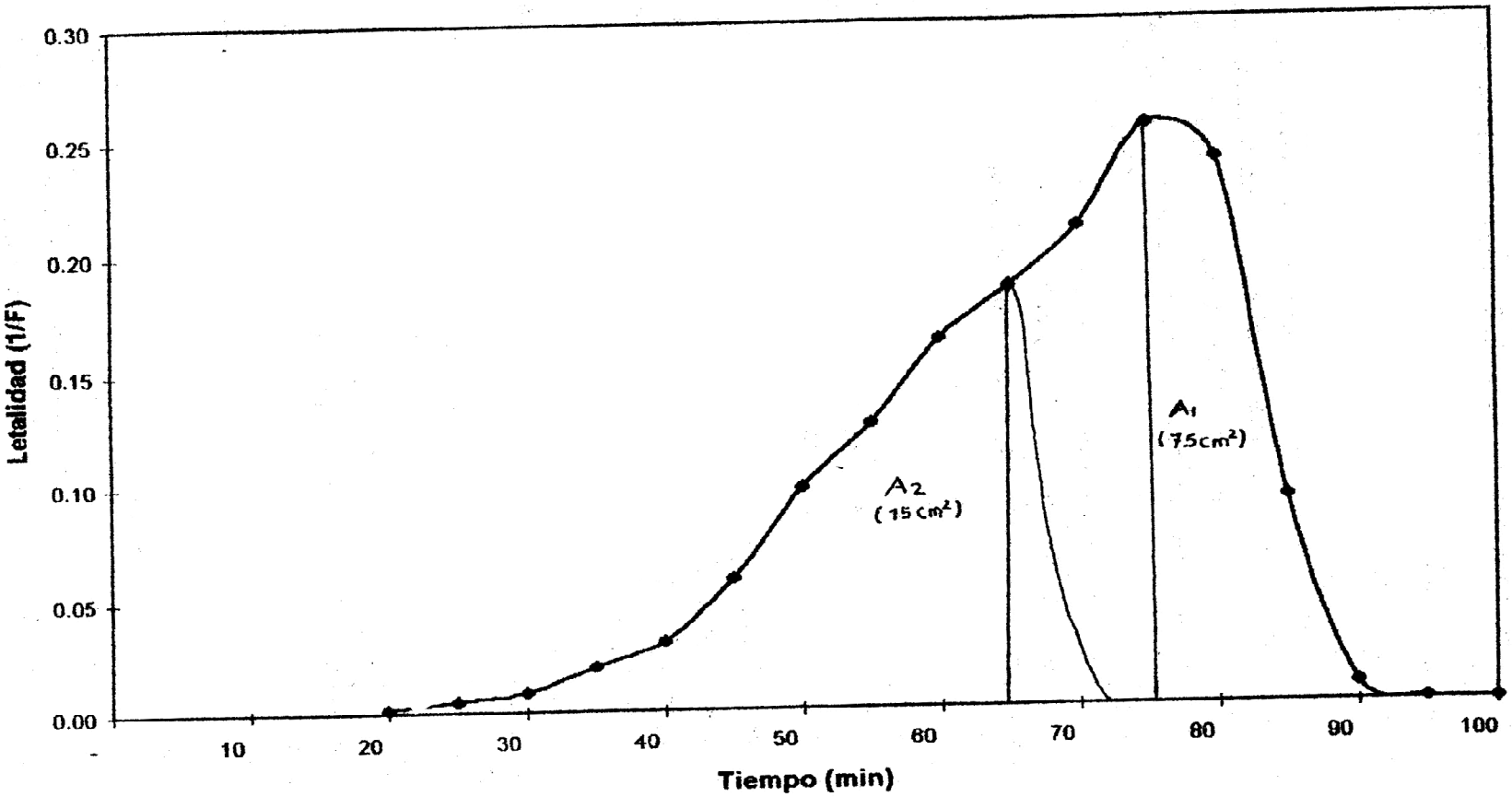
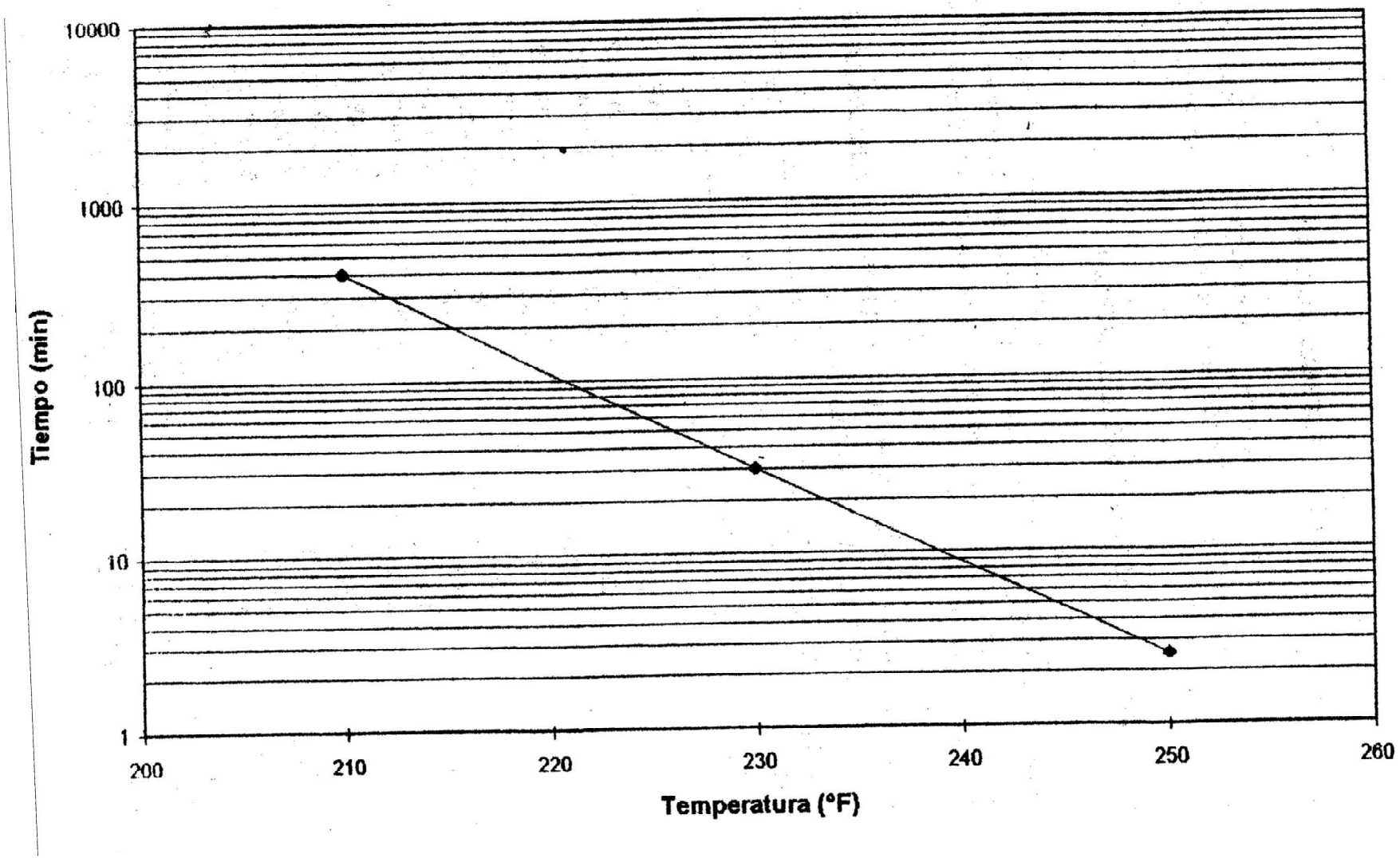


FIGURA 3.11: CURVA DE SUPERVIVENCIA TÉRMICA



B. MÉTODO GENERAL MEJORADO

El método general permite determinar el tiempo de procesamiento de 12 reducciones decimales cuando el Fo es diferente de 2.52.

PROBLEMA: **MÉTODO GENERAL MEJORADO**

En un experimento, se obtuvieron los tiempos y temperaturas en el punto más frío, que se muestran en el Cuadro 3.4, considerar que se está evaluando al *Clostridium botulinum* con Fo = 4.

CUADRO 3.4: TABNULACIÓN DE DATOS PARA CÁLCULAR LA LETALIDAD

TIEMPO (min)	TEMPERATURA ºF	F (min)	1/F (min^{-1})
20	208.0	215.44	4.64E-03
25	215.0	87.99	1.14E-02
30	220.0	46.42	2.15E-02
35	226.5	20.21	4.95E-02
40	230.0	12.92	7.74E-02
45	235.0	6.81	1.47E-01
50	239.0	4.08	2.45E-01
55	241.0	3.16	3.16E-01
60	243.0	2.45	4.08E-01
65	244.0	2.15	4.64E-01
70	245.0	1.90	5.27E-01
75	246.5	1.56	6.39E-01
80	246.0	1.67	5.99E-01
85	238.5	4.35	2.30E-01
90	220.0	46.42	2.15E-02
95	205.0	316.23	3.16E-03
100	193.0	1,467.80	6.81E-04

Fp = F proceso = 18.75 min

De la Figura 3.12, el tiempo de cierre de vapor es de 75 minutos

3. Se calculan otras áreas:

   En la gráfica F0 vs. θ, se trazan paralelas a la curva de enfriamiento, y se vuelve a sumar los cuadraditos, obteniéndose nuevas áreas (menores).

   A_2 (menor) = 37 cm^2

   Fp_2 = 37 cm^2/ 4 cm^2 = 9.25

   El tiempo de cierre de vapor para esta nueva área es de 65.5 minutos.

   Nota: Se puede calcular más áreas menores.

4. Luego graficamos estos valores de Fo obtenidos versus el tiempo de cierre de vapor (θ en min) y obtenemos una recta, tal como se puede apreciar en la Figura 3.13.

   Puntos: (X,Y)

   Primer punto = (75, 18.75)

   Segundo punto = (65.9, 9.25)

5. En esta figura se pueden encontrar los Fo que se solicite:

   Ejemplo: Para Fo = 4 → Tiempo de procesamiento térmico será 62 min.

   <u>SOLUCIÓN CON VALORES</u>:

   1. Cálculo de la letalidad (L) o el valor letal (Fo/min)

      Fórmula : $F = Fo \times 10^{-(T-To/Z)}$

T = Temperatura en el punto más frío del producto envasado

To = Temperatura referencua (Para *Cl. botul*. = 250 ºF)

Z = 18ºF para Clostridium botulinum

Ejemplo: $F = 1 \times 10^{-(208-250)/18} = 215.27817$

Letalidad = 1/215.27817 = 4.641591×10^{-3}

2. Plotear en papel milimetrado Fo/min vs. Tiempo (min). En esta figura se calcula o encuentra un área total o área de la gráfica de proceso; se puede calcular.

- Con la ayuda de un planímetro
- O en su defecto contando los cuadritos, en este caso:

Se mide el área para un Fo = 1

E.E. = L x θ = 0.1 x 10 = 1 (Para un área de 4 cm^2)

El área abjo la curva es 75 cm^2 ($\sum$ cuadraditos)

Luego 1 – 4 cm^2

X ---- 75 cm^2---------- Fp1 = 75 cm^2/ 4 cm^2

X = 18.75

FIGURA 3.12: CURVA DE LETALIDAD TÉRMICA

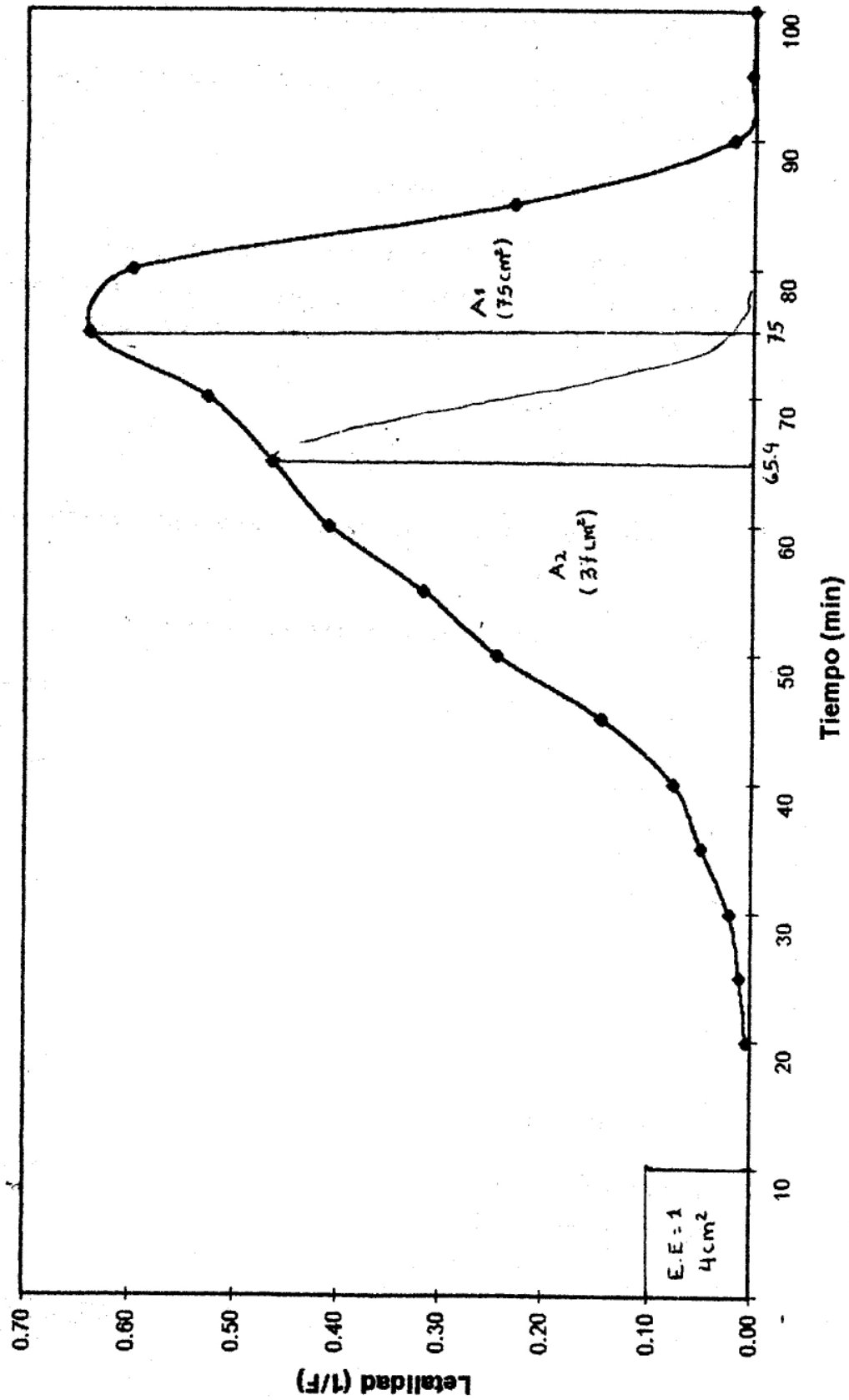
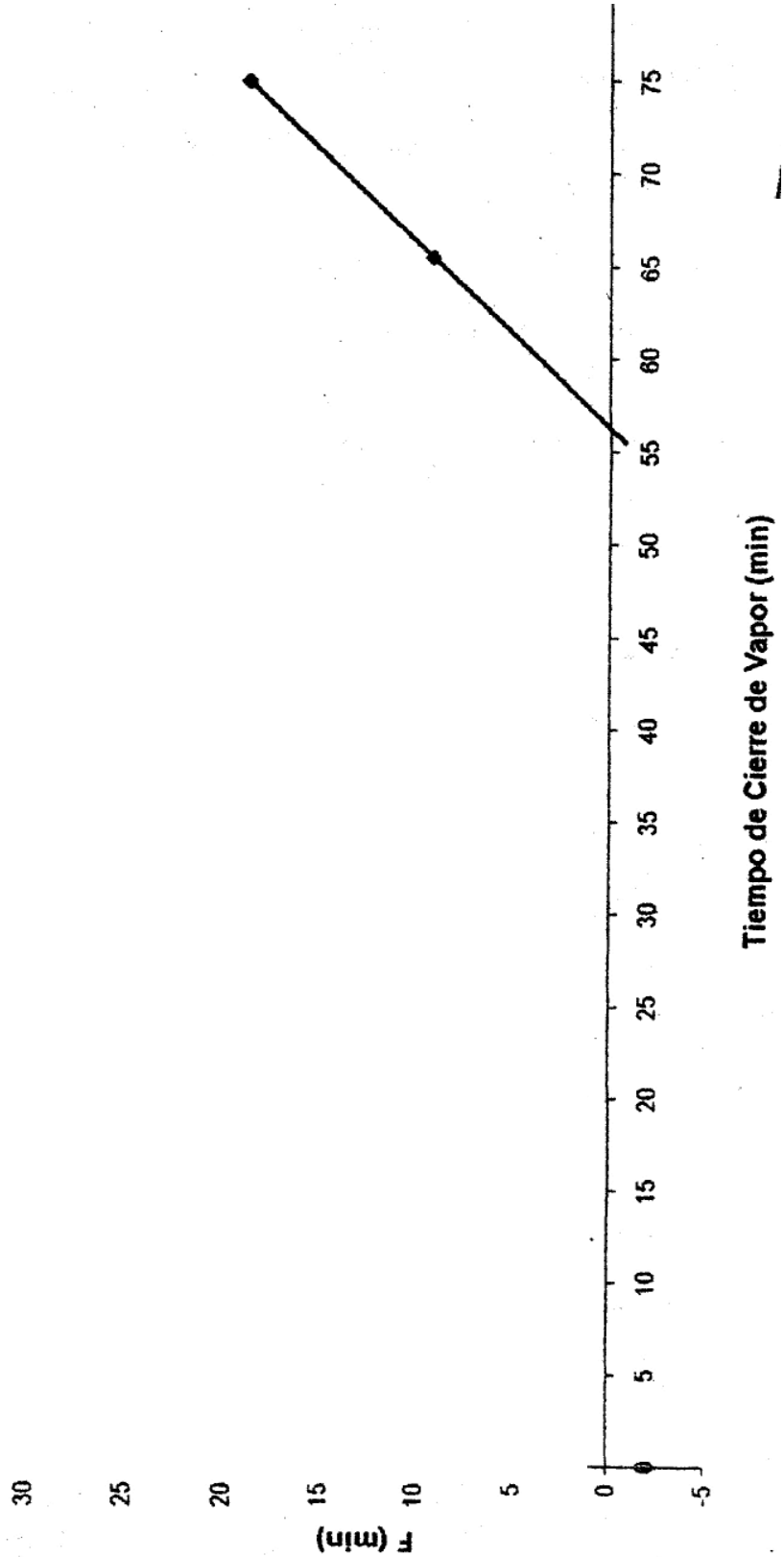


FIGURA 3.13: F CON RESPECTO AL TIEMPO



C. MÉTODO BALL

Pueden presentarse dos casos:

1) Dado Fo → Hallar tiempo de procesamiento

2) Dado el tiempo de procesamiento → Hallar el Fo (Fproceso)

1. **PRIMER CASO :** Dado Fp = 4 min → Se pide hallar el tiempo de procesamiento.

Fp = 4 min

CUT = 15 min: es el tiempo necesario para que la retorta llegue a la Tº de procesamiento

RT = 250ºF (Tº retorta)

TW = 60ºF = Tº del agua de enfriamiento

To = 73.76

J= ? → se determina por fórmula

Fh = ? → se determina de la curva: es el tiempo necesario en la porción recta de la curva para que atraviese un ciclo log. Fh = 1/m, donde m = pendiente.

Tpsi = es la Tº interna del producto obtenido por el cruce de la línea recta, trazada con el eje del cero corregido

CUADRO 3.5: DATOS EXPERIMENTALES DE TIEMPO Y TEMPERATURA

θ (tiempo)	Tº (ºF)
0	73.76
6	82.04
12	106.16
18	138.38
24	167.36
30	190.22
36	204.98
42	215.60
48	222.08
54	230.00
60	234.50
66	233.60

SOLUCIÓN:

1) Con los datos de tiempo vs Tº, se grafica en un papel semilog, para ello se invierte el papel

   Fig Gráfico Q – vs (TR – TPMF) y se empieza a enumerar de la parte superior con TR-1, en el ejemplo: TR = 250

   TR – 1 =249

2) Plotear el valor de TPMF (directamente) vs θ en la escala preparada.

3) Trazar la recta. Se observa que en la parte inferior tiene una forma curvada. Para calcular la temperatura PSEUDO INICIAL

   Aquí puede suceder:

- Si se trabaja sin CUT → sólo se prolonga la recta y en la intersección se toma la temperatura inicial del producto.

- Si se trabaja con CUT → en el caso de trabajar con CUT. Ball refiere que el 42% del CUT (tiempo) (en nuestro caso, 15 min, según dato), causa efecto esterilizante. Por ello mueve el cero (0) corregido el 58% del CUT.

0.58 x 15 = 8.7

-A 8.7 del tiempo en el eje X (cero corregido), se traza una recta que corta a ala prolongación de la recta TR-1 vs θ, de este punto se traza una perpendicular hacia TR-1, ese punto será la "Temperatura Pseudoinicial", para nuestro caso 72. Este es la Tº interna del producto.

4) Cálculo de J. Mide el grado de retardo en que la curva demora en ponerse recta

$$J = \frac{\text{Tº retorta} - \text{Tº Pseudoinicial}}{\text{Tº retorta} - \text{Tº inicial}} = \frac{TR - TPSI}{TR - TI}$$

$$J = \frac{250 - 72}{250 - 73.76} = 1.00998$$

5) Cálculo de la pendiente de la curva (m) y Fh

Fh = 1/m Es el tiempo necesario para que la porción recta de la curva atraviese un ciclo Log

Fh = 70-20 $\cong$ 50

Tg = Tº máxima que alcanza el producto

FIGURA 3.14: RELACIÒN ENTRE TR Y Tg

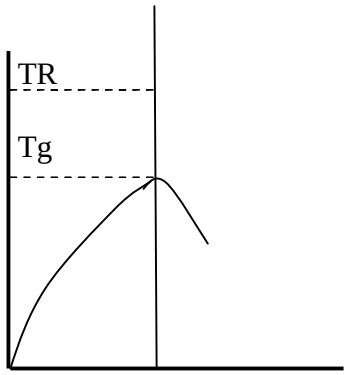
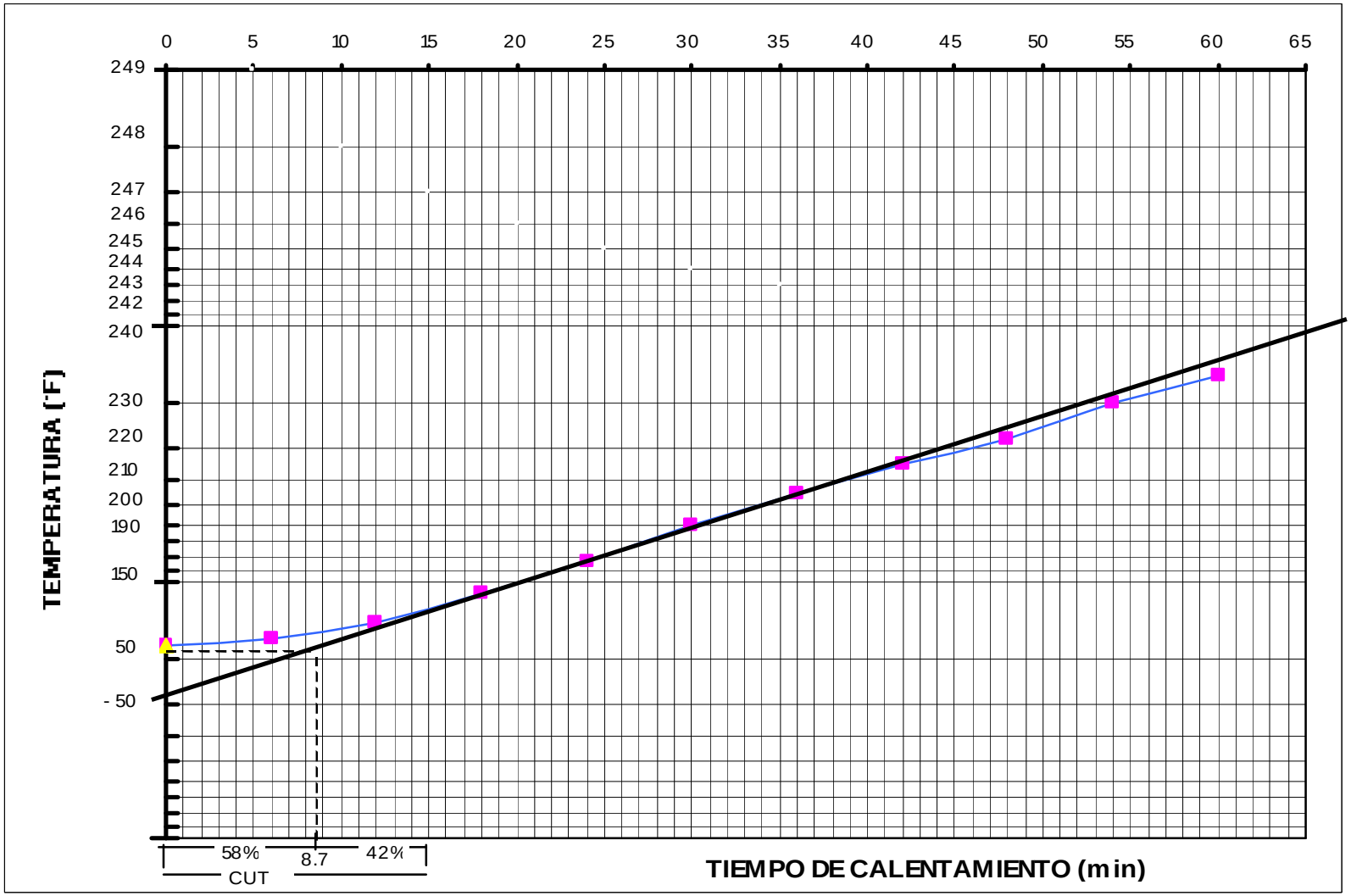


FIGURA 3.15: TIEMPO VERSUS TEMPERATURA



6) Fórmula de Ball

B = Fh [Log [J(TR-TI)] – Log (TR- Tg)] ∴ J, (TR-TI) y Fh son obtenidos experimentalmente de la Curva de Penetración de Calor

Donde : Tr – Tg = g

B = Fh [Log [J(TR-TI)] – Log g]

DATOS:

TR= 250

TW = Tº del agua de enfriamiento = 60

m + g = diferencia entre la Tº de la retorta y la Tº del agua de enfriamiento

g = Nº de grados por debajo de la Tº en la retorta en el cual la esterilización en la curva de tiempo de destrucción térmica será justamente obtenido incluyendo el efecto esterilizante de la etapa de enfriamiento.

U = tiempo necesarop equivalente a la letalidad requerida a la Tº de la retorta o tiempo de destrucción térmica F

m = Tg -Tw

m + g = (Tg –Tw) + g

m + g = (Tg –Tw) + (TR-Tg)

m + g = TR-Tw = 250 – 60 = 190

Cálculo de g:

De gráfica o tablas, se ingresa con Fh/U:

Primero se calcula U:

U= Fp x Fi

U = Fp x $10^{-(TR-To/Z)}$

U = Fo x $10^{-(250-250/Z)}$

U = Fo x $10^{-(250-250/18)}$ = 4

$\frac{Fh}{U} = \frac{50}{4} = 12.5$ Ir a las tablas → Log g = 1.01
o a los gráficos → Cáculo g

B = 50 [Log [1.00998 (250 - 0 - 73.06)] –1.01]

B = 50 (2.2508 - 1.01)

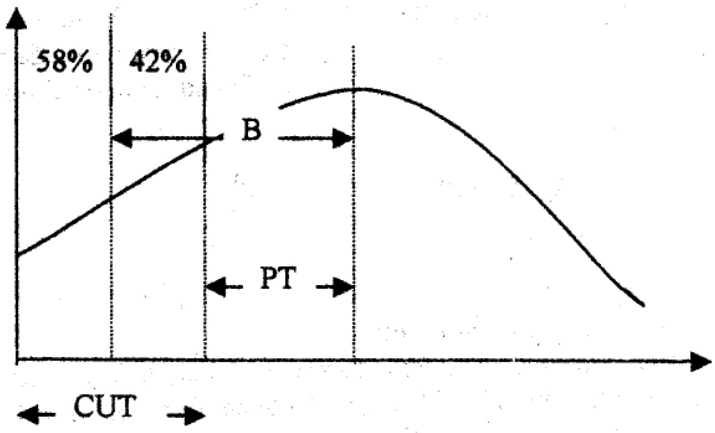
B = 62.04

Tiempo del operador = Pt = B – 0.42 (CUT) = 62.04 – 0.42 (15) = 55.74 ≅ 56

Tiempo total = Pt + CUT = 55.74 + 15 = 70.74 min

2. SEGUNDO CASO: Para un tiempo de procesamiento hallar el Fp (F proceso)

FIGURA 3.16: RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA Y EL TIEMPO Y CÁLCULO DE BALL



DATOS:

B =62

Tº = 73ºF (inicial)

Tr = 250ºF

Tw = 60ºF

Fh = 50 sale luego de calcular

J = 1.0099

Fórmula:

B = Fh [Log [J(TR-To)] – Log g]

Log g = Log [J(TR-To)] – B/Fh]

Log g = 2.251 – 62/50

= 2.251 – 1.24

Log g = 1.011

g = 9.525

Con g o con Log g → Tabla y se halla Fh/U

Log g en tablas → Fh/U = 12.6

U = Fh/12.6 = 50/12.6 = 3.97

U = Fp x Fi 3.97 = Fp x Fi

Fp = U/Fi Fp = (3.97/Fi) = 3.97/10 $^{(250-250/18)}$

Fp = 3.97/1 = 3.97

18

Fp = 3.97 → Quiere decir que se aplicó un valor F a 250ºF

250

de 3.97, equivale a 4

D. MÉTODO DEL NOMOGRAMA

- El método del nomograma fue desarrollado por Olson y Stevens (1939) y Roberts de la American Can Co., para los productos que presentan líneas rectas y quebradas de calentamiento.

- Fue diseñado con el propósito de proveer una solución gráfica de todos los cálculos requeridos en el método de Ball (Olson y Steven, 1939).

- Para el cálculo del tiempo de proceso (B) es necesario establecer primero los siguientes valores: RT, IT (Tih), fh, j y Fo. En este nomograma se asumió un valor de Z= 18ºF y m+g =180ºF. Los mismos valores de fh y j pueden ser usados para cualquier temperatura de retorta, temperatura inicial o Fo.

- El procedimiento para determinar el tiempo de proceso es el siguiente (Figura 3.17):

  1) Unir Fo en la escala 1 con RT en la escala 4, obteniendo un punto sobre la línea 3.

  2) Unir el punto sobre la línea 3 con fh de la escala 2, obteniendo un punto sobre la escala 4.

  3) De este punto, seguir paralelo a las líneas comprendidas entre las escalas 4 y 5 y marcar un punto en la escala 5.

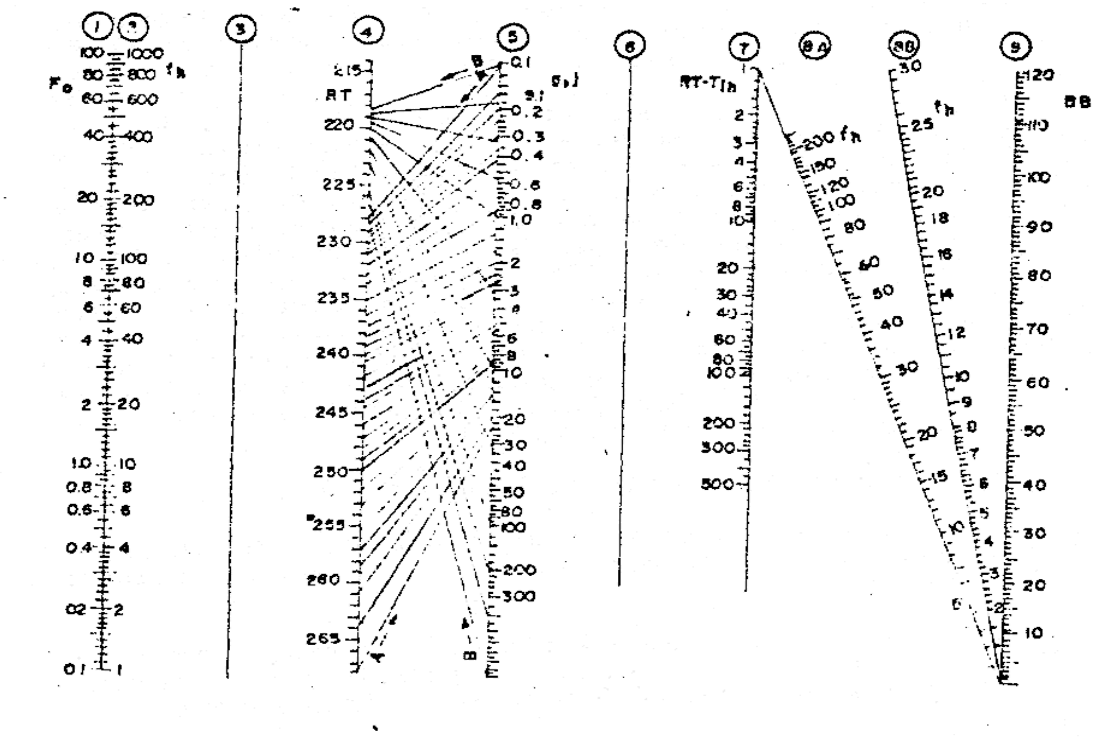
  4) Unir j sobre la escala 5 con RT-IT sobre la escala 7 y obtener un punto sobre la escala 6.

  5) Unir el punto sobre la escala 5 (paso 3) con el punto sobre la escala 6 y obtener un punto sobre la escala 7.

  6) Unir el punto sobre la escala 7 con fh sobre la escala 8 obteniendo el tiempo de proceso (BB) de la escala 9. Debido a que hay dos escalas 8, 8A y 8B, utilizar la escala 8A si se utilizaron las líneas inferiores comprendidas entre las escalas 4 y 5 y utilizar la escala 8B si se

utilizaron las superiores (estas mayormente tienen una pendiente hacia abajo).

FIGURA 3.17: NOMOGRAMA PARA EL CÁLCULO DEL TIEMPO DE PROCESAMIENTO TÉRMICO



FUENTE : National Canners Association (1968)

CAPÍTULO IV

CONSERVACION DE ALIMENTOS POR DESHIDRATACION

El secado de alimentos, también conocido como deshidratación consiste en la extracción del agua contenida en éstos, por medios físicos hasta el nivel de la monocapa que indicará su estabilidad. El contenido de agua dependerá del alimento y también del equipo. Por ejemplo, el secado de granos y cereales se realiza hasta obtener alrededor de 12% de humedad, para frutas secas los niveles son más bajos (8-10%), y para semillas los niveles son todavía más bajos (3-5%).

Cuando la humedad final que buscamos está por debajo de la humedad del aire normal o del medio ambiente, es necesario realizar un proceso controlado de secado utilizando aire calentado por cualquier fuente de energía: solar, eléctrica, por combustión de la madera u otros combustibles derivados del petróleo.

4.1 SECADO A LA SOMBRA

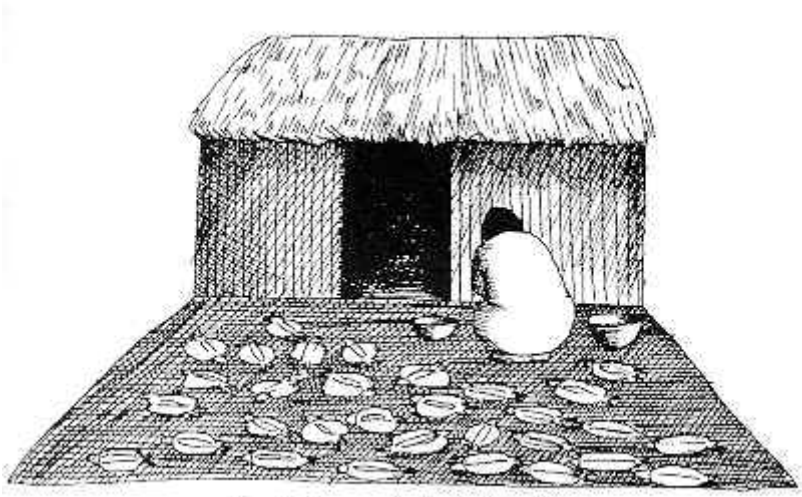
En algunos lugares, particularmente en aquellos de clima seco y con períodos de fuertes vientos, puede llevarse a cabo mediante un secado a la sombra, utilizando los aleros de las viviendas, los balcones o cobertizos construidos especialmente. Así no hay tantas posibilidades de que el producto cambie de color, se decolore o pierda vitaminas, y está protegido de la lluvia. Sin embargo, el secado a la sombra es un proceso lento, por lo que el producto está más expuesto al desarrollo de mohos.

Bajo esta modalidad se pueden secar diferentes alimentos que incluyen vegetales de hoja, algunas hierbas como el orégano hierba luisa cedrón manzanilla etc, especias, secado final del maíz y frutas en general.

4.2 SECADO AL SOL y AL AIRE LIBRE

El simple secado al sol es el método más usado en el mundo. En algunos países, los alimentos se secan extendiéndolos sobre los caminos, en las playas o en los techos de las casas, aprovechando el calor absorbido por estas superficies. Muchas veces se usan las rocas planas con el mismo propósito. Con frecuencia el material se coloca sobre esteras, lo que contribuye a reducir la contaminación causada por el polvo y facilita la manipulación. En la Figura 4.1 se presenta una ilustración de cómo se seca un alimento al sol, nótese que la operación se lleva a cabo en el patio de la casa y que con la finalidad de reducir la contaminación, sobre el piso se han acondicionado unas esteras.

FIGURA 4.1: EJEMPLO ILUSTRATIVO DE UN PROCESO DE SECADO AL SOL EN CONDICIONES NATURALES.



Secado de pescado al sol sobre esteras

4.3 SECADORES SOLARES

El secado solar controlado (uso de secadores diseñados) es una alternativa barata en regiones de la sierra y tropicales secas. No así en regiones tropicales húmedas, debido al cambio o aumento repentino de la humedad relativa en el medio ambiente por las lluvias.

El secado por aire calentado orientado a túneles o cabinas en donde se coloca el producto, es el más eficiente y recomendado, ya que los equipos construidos pueden controlar el proceso de secado: temperatura y velocidad del aire, y la disposición del alimento a secar

Hay que tomar en cuenta diversos criterios para escoger el método que mejor se adapte al secado de una substancia:

- El modo de funcionamiento del aparato
- La naturaleza y calidad del producto a secar
- La fuente de calor y el modo de transmisión del mismo
- La seguridad
- El consumo de energía

LOS COLECTORES SOLARES

- El colector es el elemento fundamental de todo sistema, se encarga de transformar la energía solar en térmica, la cual puede ser usada directamente: por ejemplo para calentar agua, para producir vapor, etc.
- De acuerdo a su geometría se les ha clasificado como planos y de concentración, aunque en los últimos años han aparecido geometrías que combinan propiedades de ambos.
- Los planos se usan cuando se quieren bajas temperaturas y los de concentración para medias (100 – 200 °C) o altas (300-900 °C) dependiendo del nivel de éstos.

COLECTORES PLANOS

- En estos colectores el área colectora de radiación solar es la misma que intercepta los rayos solares. Pueden diseñarse par temperaturas hasta aproximadamente 100 °C encima del ambiente. Tienen la ventaja de usar tanto la radiación solar directa como difusa, no necesitan ser orientadas

continuamente al sol y requieren poco mantenimiento.

En la Figura 4.2 se muestran las partes principales de un colector solar.

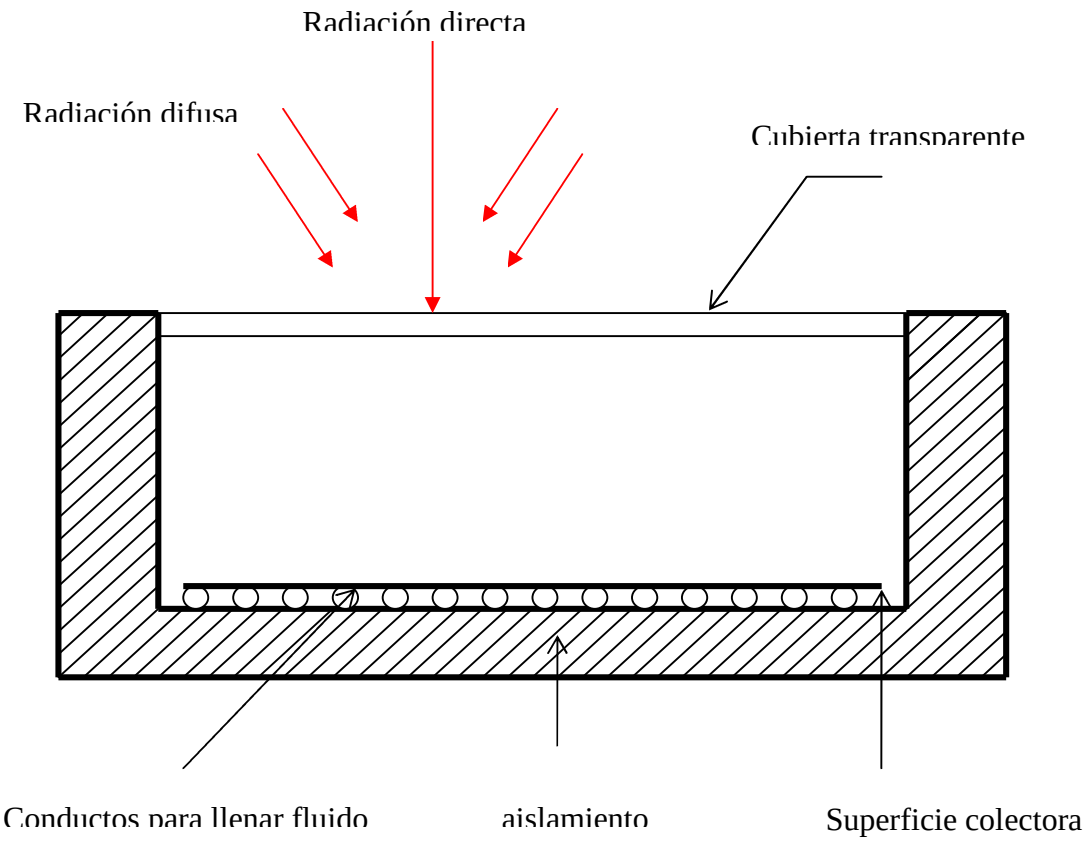
- La superficie colectora, que sirve para transferir la energía absorbida a un fluido.
- La cubierta transparente
- El aislamiento térmico.

El uso de secadoras solares tiene más ventajas que el secado al sol:

- Las temperaturas son más elevadas y, en consecuencia, los grados de humedad son menores. Esto trae como resultado un secado más rápido y una humedad final menor.
- Las temperaturas elevadas que se generan actúan como una barrera contra la presencia de insectos y el desarrollo de mohos.
- El producto dentro de la secadora está protegido del polvo y los insectos.
- El ritmo de secado es más acelerado.
- Permite un grado considerable de protección contra la lluvia, lo que hace innecesaria mano de obra adicional para recoger el material.
- Resulta comparativamente más barato de construir y no necesita mano de obra especializada.

Se pueden distinguir dos clases de secadoras solares: las secadoras solares directas y las secadoras solares indirectas.

FIGURA 4.2: PARTES PRINCIPALES DE UN COLECTOR



4.4 SECADORES MECÁNICOS

La mayoría de las secadoras de este tipo incorpora un quemador con un intercambiador de calor y un ventilador que permite la circulación de aire a través del producto. Por lo general se les adapta un termostato para controlar la temperatura del aire. Los tipos más comunes incluyen:

- Los secadores de bandejas (donde el aire caliente pasa a través de una serie de bandejas que con tienen el producto).
- Los secadores rotativas (el producto se coloca en un tambor rotativo a través del cual circula el aire) y a mayor escala).
- Los secadores de túnel, donde pequeños coches con las bandejas pasan a través de éste. Si se usa un quemador a gas y el equipo está bien

instalado, normalmente no se requiere incorporar un intercambiador de calor. Si bien estas secadoras accionadas a electricidad son más costosas, ofrecen grandes ventajas:

- Buen grado de control sobre el proceso.
- Total independencia de las variaciones climáticas locales.
- Producto final de superior calidad.

4.4.1 SECADORES DE BANDEJAS

Consiste en una cámara de secado con bandejas apiladas a través de las cuales circula el aire caliente, que es suministrado por un inyector de aire caliente ubicado en la parte inferior. Existen dos tipos: por tandas o por batch y las semicontinuos. La más simple es la secadora por tandas, en la cual la cámara se llena con bandejas que contienen el producto y el aire circula hasta que toda la tanda esté seca.

SECADORA DE BANDEJAS POR BATCH

- Consiste en un armario que puede contener varias bandejas. El aire caliente, termostáticamente controlado, es suministrado por un inyector a petróleo diesel, gas, energía eléctrica o cualquier otra, calor pasa de abajo hacia arriba a través de las bandejas**.**
- El sistema por tandas resulta más económico y requiere de menos mano de obra para el llenado y vaciado del producto. Por otro lado, los sistemas semicontinuos son más costosos y complejos de construir y demandan más mano de obra. Tienen la ventaja de ser más eficientes en cuanto a consumo de combustible, además de brindar productos de mejor calidad.

SECADORA DE BANDEJAS SEMICONTINUA

Un sistema mecánico permite que la bandeja que se seca primero se retire de la secadora (usualmente será la que se encuentra abajo, pues está más cerca de la fuente de calor). Las demás bandejas deben acomodarse dejando un

espacio libre en la parte superior, donde se coloca una nueva bandeja con producto fresco. Ambos sistemas tienen ventajas y desventajas.

SECADORES DE BANDEJAS CONTINUOS.

El diño es similar a lo antes indicado, la diferencia es que existe un sistema de transporte de la materia prima sincronizada con el tiempo, de tal modo que la permanencia del producto dentro del equipo solamente es la necesaria para llegar a la humedad deseada en el producto final. En el equipo se carga a la materia prima por un extremo del secador y sale el producto deshidratado por el otro.

4.4.2 SECADORES DE LECHO FLUIDIZADO

Son cámaras de secado similares a las ya indicadas, donde el producto alimenticio se mantiene en suspensión contra las fuerzas de la gravedad por medio de una corriente de aire que fluye verticalmente hacia la parte superior del secador. La velocidad del aire debe ser tal que mantenga las partículas en suspensión y por lo general es mayor a 5 m/s.

Puede existir también una corriente de aire horizontal para forzar el producto a través del secador.

El calor se transmite desde el aire al producto, en su mayoría por convección.

El rendimiento obtenido es alto, debido a que la temperatura del aire una vez realizado el intercambio siempre es mas baja que la temperatura máxima que alcanza el producto.

4.4.3 SECADORES ROTATORIOS

El producto alimenticio pasa a través de un cilindro horizontal que se calienta bien con aire circulando en su interior o por conducción de calor a través de sus paredes. En algunos casos el cilindro gira y en otros es estacionario moviéndose el producto por medio de palas o tornillos sin fin hasta la salida.

4.4.4 SECADORES DE CANAL

Los productos a secar se ponen en una cinta continua de forma de canal perforada, haciéndose pasar aire a través del mismo. El movimiento de la cinta cambia continuamente la posición de la sustancia alimenticia, exponiendo con ella nueva superficie al aire caliente.

4.4.5 SECADORES DE TOLVA

Los alimentos se colocan en una tolva con el fondo perforado, por donde se sopla aire verticalmente hacia arriba, de forma que pase a través del producto y lo seque.

4.4.6 SECADORES DE CINTA

El producto se extiende sobre una cinta agujereada o sólida y se pasa aire sobre o a través del mismo. En la mayoría de los casos la cinta es móvil, aunque en algunos diseños la cinta sea estacionaria y el producto se transporte por medio de rastrillos.

4.4.7 SECADORES NEUMÁTICOS

Estos tipos de secadores tienen aplicación en granos. El producto alimenticio es transportado a gran velocidad por medio de una corriente por aire caliente que lleva a cabo el secado.- pasa a continuación por un mecanismo de clasificación en el que el producto seco se separa de los demás, y la fracción remanente se recircula para continuar con el secado.

4.4.8 SECADOR AL VACIO

Son prácticamente iguales a los secadores de bandeja, excepto que la cámara tiene un dispositivo para funcionar al vacío, transmitiéndose el calor por conducción o por radiación. El vacío se consigue evacuando los gases de la cámara que contiene los soportes. Como en general el vapor de agua

producido se condensa, las bombas de vacío deben manejar solo gases no condensables

4.5 SECADO POR CONTACTO

4.5.1 SECADOR DE TAMBOR O RODILLO

- La desecación con tambor consiste en aplicar un material liquido, una solución, una papilla (o dispersión espesa) o una pasta, sobre un tambor metálico giratorio calentado que conduce el calor hasta la película húmeda para evaporar el agua durante una revolución parcial del tambor. Una cuchilla fija raspa del tambor el material seco. Los secadores de tambor pueden designarse por:
- Secador atmosférico de doble tambor,
- Secador atmosférico de un solo tambor,
- Secador atmosférico de tambores gemelos,
- Secador de vacío con un solo tambor.

A. SECADOR DE VACÍO CON DOBLE TAMBOR.

La desecación con tambor consiste en aplicar un material líquido, una solución, una papilla (o dispersión espesa) o una pasta, sobre un tambor metálico giratorio calentado que conduce el calor hasta la película húmeda para evaporar el agua durante una revolución parcial del tambor. Una cuchilla fija raspa del tambor el material seco. Los secadores de tambor pueden designarse por:

- Secador atmosférico de doble tambor,
- Secador atmosférico de un solo tambor,

- Secador atmosférico de tambores gemelos,
- Secador de vacío con un solo tambor,
- Secador de vacío con doble tambor**.**

La elección de un secador de tambor implica seleccionar un equipo que se adapte mejor al problema tratado y el mejor método para aplicar el líquido alimenticio. Las bases primordiales para la elección son la calidad y el aspecto físico del producto seco y la capacidad, Kg de producto seco/h-m^2 de superficie de tambor, que comprende la intensidad de evaporación y de transmisión de calor.

En el secado en tambor, el producto se expone al calor solamente durante cortos periodos de tiempo, constituyéndose en una ventaja comparativa ya que aunque el producto se acercare a la temperatura de la superficie del tambor, no suele producirse ningún efecto adverso por excesivo calentamiento.

B. SECADOR ATMOSFÉRICO DE DOBLE TAMBOR

El secador atmosférico de doble tambor se emplea mucho por su costo razonable, su flexibilidad en el trabajo, la regulación automática del espesor de la película sobre los tambores y porque no queda residuo del liquido alimentado, al final del periodo de funcionamiento.

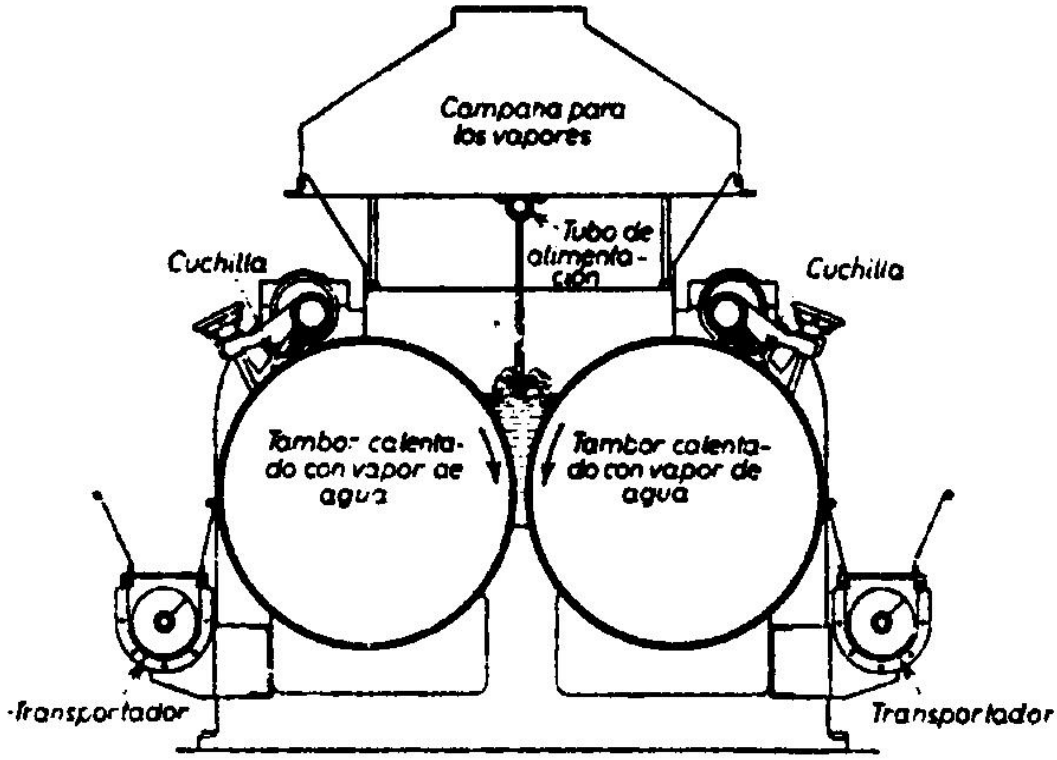
En la Figura 4.3 se representa un secador típico atmosférico de doble tambor con alimentación por tubería perforada. El sentido de rotación del secador de doble tambor es hacia abajo, en el punto en el que están más próximos los rodillos. Tableros colocados en los extremos, revestidos con un material apropiado para el líquido que se seca, contienen el producto entre los tambores. El revestimiento debe ser resistente al desgaste y al calor, por lo que se usan materiales como lona, bakelita, madera y metales, montados con un respaldo rígido de acero galvanizado. Suele emplearse un ajuste simple para mantener cada tablero contra los extremos de los tambores, aunque a veces se emplean ajustes de tres puntos.

El producto retenido entre los tambores se calienta hasta su temperatura de ebullición y se concentra parcialmente por la superficie caliente del tambor. Puesto que la película del producto que se adhiere a las superficies de los tambores tiene que pasar por el estrecho espacio que queda entre los mismos, el producto se distribuye uniformemente. El espesor de la película se regula ajustando dicho espacio libre.

C. SECADOR ATMOSFÉRICO DE UN TAMBOR Y TAMBORES GEMELOS

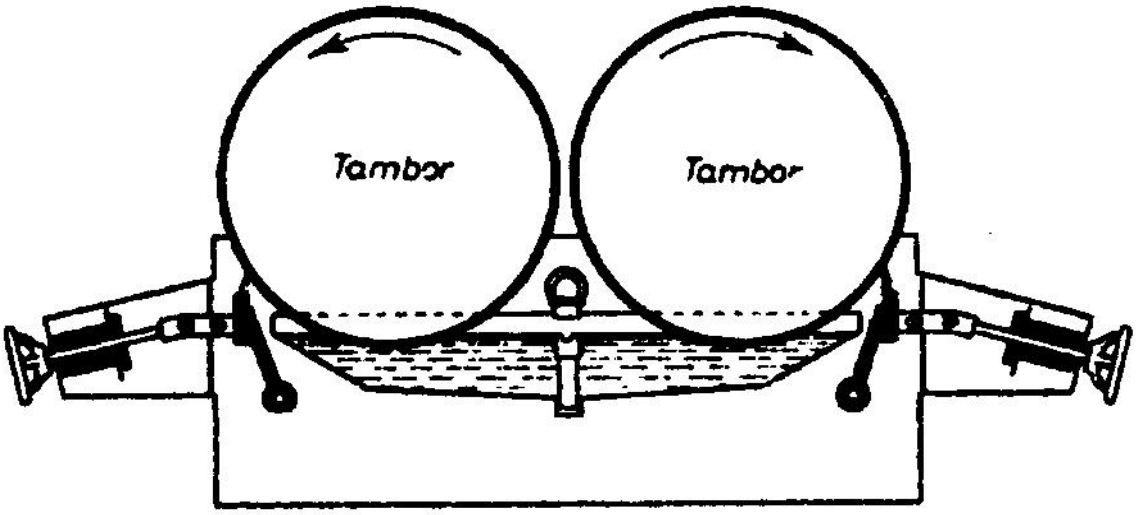
El secador atmosférico de un solo tambor y de tambores gemelos que giran en sentidos opuestos a los del secador con doble tambor, funcionan basándose en el mismo principio. El alimento esta contenido en un depósito independiente situado debajo o al costado del tambor o de los tambores.

FIGURA 4.3: SECADOR DE DOBLE TAMBOR CON ALIMENTACIÓN POR TUBO PERFORADO



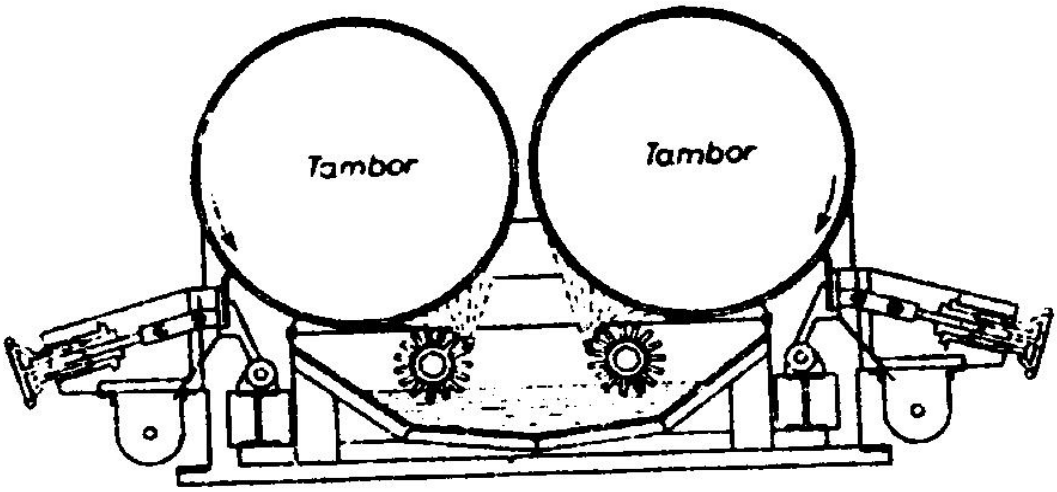
La forma de alimentación más sencilla de un secador de tambores gemelos es el de la inmersión, en la cual el tambor recoge una película liquida porque se sumerge en un depósito del alimento colocado debajo de él. El producto del depósito se concentra hasta un grado considerable, para reducir al mínimo esta concentración se emplea un rodillo de transferencia, único o doble, que traslada el alimento a la superficie del tambor. Este rodillo también puede colocarse cerca de la parte superior del tambor para eliminar la artesa alimentadora y permitir una desecación completa del producto, de la misma manera que con un secador de doble tambor. Esos rodillos introducen varias complicaciones, exigen un ajuste minucioso y con frecuencia quedan revestidos por el material. En la Figura 4.4 se muestra un secador atmosférico de un tambor y tambores gemelos con alimentación por inmersión

FIGURA 4.4: SECADOR ATMOSFÉRICO DE UN TAMBOR Y TAMBORES GEMELOS CON ALIMENTACIÓN POR INMERSIÓN



En la Figura 4.5 se presenta un secador de tambor gemelos con alimentación por salpicadura

FIGURA 4.5: SECADOR DE TAMBORES GEMELOS CON ALIMENTACIÓN POR SALPICADURA



En todos esos diferentes métodos de alimentación el objetivo principal es aplicar una película uniforme. Esto es a menudo difícil y a veces para vencer esta dificultad se recurre a dispositivos especiales, como barras o rodillos extendedores, que crean problemas adicionales. Las ventajas del secador de tambores gemelos sobre el secador de un solo tambor son que sus dos tambores ayudan a confinar el líquido pulverizado o salpicado y que los tambores pueden acercarse lo suficiente para que el revestimiento sea más uniforme. Con una alimentación por la parte superior como la empleada en un secador de doble tambor se obtiene una película gruesa, que pocas veces es uniforme debido a que el líquido hierve y forma burbujas.

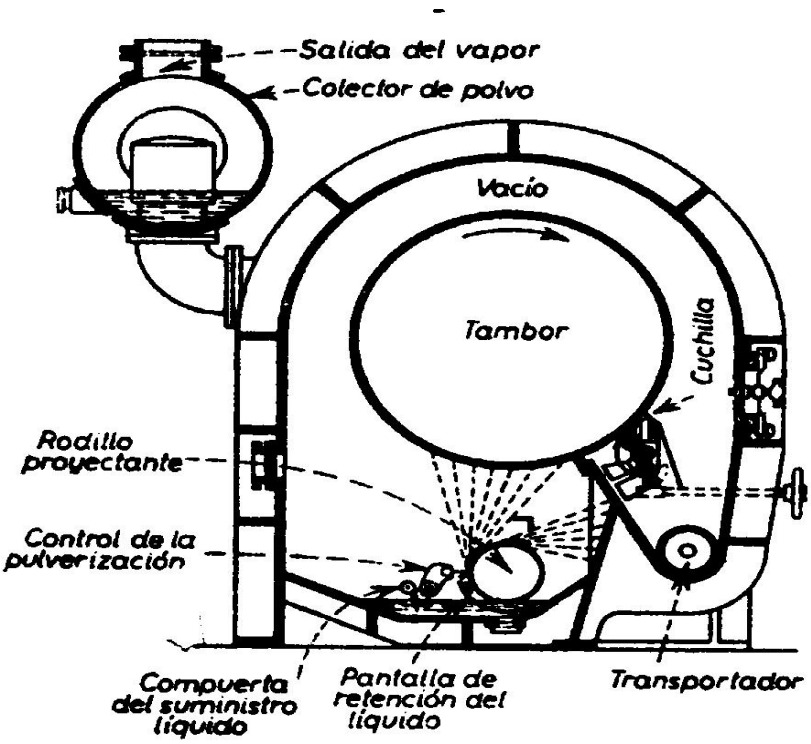
Los secadores de un solo tambor y los de tambores gemelos tienen su aplicación más importante en la desecación de papillas o dispersiones, estos secadores conservan el tamaño de partícula del sólido suspendido mejor que el secador de doble tambor.

4.5.2 SECADORES DE TAMBOR AL VACÍO

Los secadores de tambor al vacío trabajan basándose en el mismo principio que los secadores atmosféricos correspondientes. Se usan para materiales

sensibles al calor, para productos oxidables o cuando haya que recuperar disolventes. Estos secadores están dentro de una envoltura herméticamente cerrada para que en su interior pueda practicarse el vacío. La Figura 3.6 muestra un secador de este tipo en que se forma la película de la alimentación por un dispositivo pulverizador patentado. El material seco, separado del tambor por una cuchilla, cae en un transportador de tornillos sin fin que lo conduce a depósitos receptores. Los secadores grandes tienen dos receptores, de modo que pueda quitarse el vacío en uno de ellos y descargar su contenido mientras el otro se está llenando al vacío.

FIGURA 4.6: SECADOR DE UN SOLO TAMBOR CON VACÍO QUE MUESTRA LA ALIMENTACIÓN DE PELÍCULA ROCIADA



El funcionamiento de los secadores de tambor al vacío se complica por esta condición. El ajuste de las cuchillas, de la alimentación, de los extendedores o esparcidores, etc., dentro del secador se hace desde el exterior por medio de conexiones continuas que atraviesan prensaestopas herméticos al vacío. Mirillas de observación de cristal permiten vigilar el funcionamiento dentro de la cámara de vacío.

Un tipo especial del secador de tambor apropiado para secar pastas es el de un solo tambor con aletas. En este secador el tambor se ranura circunferencialmente en un torno. Las aletas así formadas están a una distancia de 6 a 9.5 mm y tienen una altura de unos 8 mm, contribuyendo a aumentar bastante la superficie de calefacción. El material húmedo se introduce en las ranuras por medio de un rodillo empastador, y el seco se saca con rascadores de lengüetas o machos que encajan entre las ranuras. El producto final suele tener la forma de cortos palillos en lugar de ser un polvo fino. Este tipo de secador suele emplearse como máquina preformadora en los secadores continuos de circulación atravesadora y pocas veces se usa para la desecación completa.

4.6 SECADO POR ATOMIZACIÓN

La atomización es una operación unitaria ampliamente utilizada en la industria procesadora de alimentos para secar disoluciones y papillas. El producto se introduce en una cámara de desecación en forma de fina lluvia entrando así en íntimo contacto con una corriente de aire caliente, lo que permite un secado muy rápido y la obtención de un polvo seco.

En el proceso de secado se debe controlar: Las características del material a secar como concentración, tamaño de partículas, viscosidad, entre otras; la velocidad de alimentación; La temperatura de entrada y salida del aire (TEA, TSA) consideradas como las principales variables. La alimentación puede ser por rodete o por boquilla. Los equipos pueden trabajar en cocorriente (aplicado a alimentos muy sensibles a la temperatura), contracorriente y flujo mixto.

Para optimizar el proceso de secado en lo posible la materia prima debe ingresar con la menor cantidad de sólidos insolubles, esto se consigue a través de un proceso previo de lixiviación o de prensado, de este modo se separa los sólidos insolubles haciendo que el producto final ofrezca una mayor concentración en sus grupos activos y por ende mejora la calidad.

La mayor parte de la desecación ocurre en condiciones que favorecen el proceso a velocidad constante y por tanto la temperatura de los sólidos apenas se eleva por encima de la temperatura de bulbo húmedo del aire, hasta el

final del proceso. Si las condiciones de operación son correctas y el equipo está bien diseñado, el tiempo de residencia de las partículas en la cámara de desecación puede controlarse de forma que sea mínimo el tiempo de contacto de las partículas secas con el aire caliente para no sobrecalentar el producto.

Guevara (1990) refiere que el secado por atomización se lleva acabo en dos períodos: (1) período constante y (2) período decreciente. Desde el momento que las partículas están finamente divididas en el secador, el tiempo es muy pequeño para los dos períodos.

El primer período toma lugar en la superficie de la partícula y el ritmo de evaporación es controlado por el ritmo de difusión del agua a través del aire que rodea a la película. La velocidad de difusión del agua a través de la partícula es capaz de ser mayor que, o igual a la velocidad de evaporación.

En el período decreciente, la velocidad de evaporación es mayor que la velocidad de difusión y puede ser considerada como sub.-dividido en dos estados: el primero es la formación de una estructura rígida o semi-rígida sobre la superficie de la partícula, el segundo consiste en la remoción de la porción remanente de la humedad presente y esto es frecuentemente acompañado por vaporización interna lo que puede causar expansión de la partícula. Es muy probable que en el secado de algunos materiales, estos dos pasos ocurran simultáneamente (Guevara, 1990).

Las principales características de este tipo desecación son los tiempos muy cortos, del orden de 1 a 10 s y las temperaturas del producto relativamente bajas. Las gotitas de aspersión normalmente tienen diámetros muy pequeños del orden de 10 – 200 um. y por lo tanto ofrecen al aire de desecación un área superficial muy grande por unidad de volumen lo que permite una desecación muy rápida.

Las dimensiones de las gotas y su división no sólo son elementos importantes para la consecución del secado, sino que también ejerce influencia sobre la granulación y por consiguiente sobre las propiedades de los productos acabados

En la Figura 4.7: representación esquemática de un atomizador.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ATOMIZACIÓN

Según Guevara (1990), Las ventajas y desventajas del secado por rociada son:

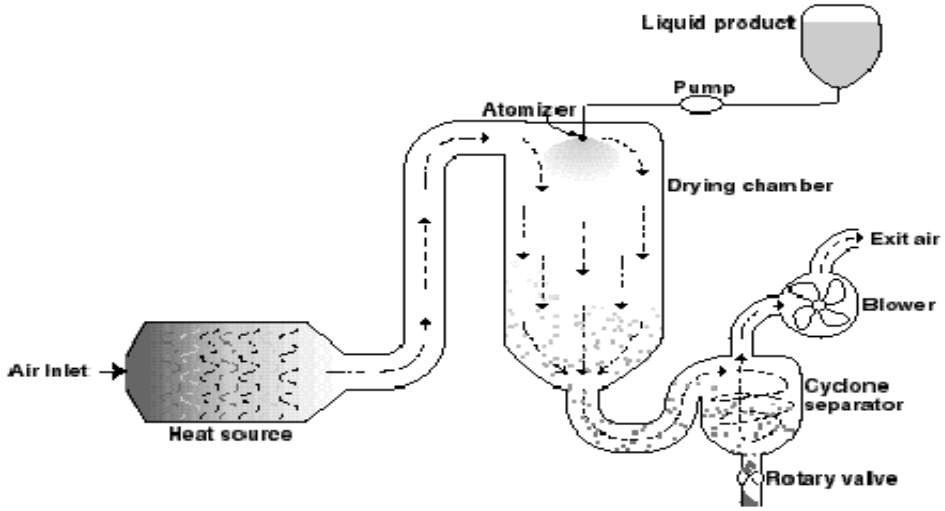
- Preserva mejor los productos.
- El secado es rápido.
- El producto final tiene una óptima solubilidad y velocidad de reacción.
- Por lo general las partículas son esféricas uniformes, lo que indica menos pulvurulencia y de fácil fluidez.
- Los tamaños uniformes de partículas significan una densidad más baja que la de otros productos.
- La corrosión es reducida debido a que el material no entra en contacto con la superficie del equipo hasta que no esté seco.
- Se puede regular las variables de operación para controlar la calidad del producto.
- El equipo puede ser parado o arrancado rápidamente.
- EL tiempo de secado es corto (segundos).
- La temperatura no se aproxima a la del aire de salida hasta que la mayor parte del agua haya sido eliminada, de manera que se evita la posibilidad de un calentamiento en demasía.

Las desventajas son:

- Los secadores son por lo general inflexibles.
- Por lo general para una determinada cantidad se requieren mayores cargas de evaporación

- Elevados costos de instalación, eficacia térmica, calor residual y manejo del aire agotado en condiciones de saturación o cercanas a ellas

FIGURA 4.7: REPRESENTACIÓN ESQUEMATICA DE UN ATOMIZADOR



La manera en el cual el atomizado toma contacto con el aire secador es un importante factor en el diseño de secadores por atomización, al tener gran relación con las propiedades del producto seco debido a efectos en el rango de operación. Este contacto está determinado por la posición del atomizador en relación al aire de ingreso. En todos los casos el movimiento relativo del aire predetermina el rango y grado de evaporación, el que está influenciando por:

- El pasaje del rociado a través de las zonas de secado.
- La concentración del producto en la región de las paredes del secador.
- La cantidad de aquellas gotas que reingresan a las áreas calientes alrededor del aire dispersante.

Secado de las gotas

La evaporación de las gotas formadas es llevada a cabo en el secador. Una gota puede entrar al cambiador de calor del secador a una temperatura de alimentación mayor, menor, o igual a la temperatura de equilibrio dinámico del aire de secado. La temperatura de equilibrio dinámico será más alta que la temperatura de bulbo húmedo para gotas de soluciones.

En el caso de suspensiones la temperatura de equilibrio dinámico será igual a la del bulbo húmedo. Si la temperatura inicial de la gota no es igual a la temperatura de equilibrio dinámico del aire de secado, esta tenderá a crecer hasta alcanzar esta temperatura. Durante el periodo inicial inestable la cantidad de secado que toma lugar es usualmente despreciable, sin embargo, esto no puede ser cierto a muy altas temperaturas.

Cuando la temperatura de la gota alcanza a la del equilibrio dinámico del aire empieza el periodo de secado a velocidad constante. Las gotas atomizadas en el estado inicial de evaporación tienen superficies saturadas con líquido, las temperaturas de las gotas están por debajo del punto de ebullición. La evaporación tiene lugar en la superficie de la partícula, la velocidad de evaporación es controlada por la velocidad de difusión del vapor a través de la película de aire que la rodea. La fuerza impulsante principal es la deferencia entre la temperatura de aire que la rodea y la temperatura de la partícula que puede considerarse como la de bulbo húmedo del aire de entrada. En esta fase, la velocidad de difusión del agua a través de la partícula es capaz de ser más grande o igual que la velocidad de evaporación. Mientras más grande es la temperatura del aire de secado y más alta la concentración del material, más corto es el periodo de secado constante.

Es este periodo ocurre cristalización de algunos sólidos en solución. Si el calor despedido por cristalización es insignificante en comparación con el calor latente de evaporación, entonces, el periodo de secado a velocidad constante debería ser tratado como dos periodos separados con una temperatura superficial distinta para cada uno. El primer semiperiodo puede ser tratado como anteriormente se ha mencionado. En el segundo la cristalización debe ser calculado con un balance de energía el cual incluye el calor de cristalización. Este calor contribuye a la evaporación e incremente la temperatura de la interfase.

El periodo de evaporación se da seguido por un periodo en el que la fase sólida ofrecerá la principal resistencia a la evaporación (Periodo de secado decreciente o falling rate periodo). Durante el periodo que tomó el formar una fase sólida la temperatura del aire de secado es reducida.

El periodo de secado decreciente puede ser dividido en dos estados: el primero, es la formación de una estructura rígida o semi rígida sobre la superficie de la partícula, el segundo consiste en la remoción de la porción remanente de la humedad presente y es acompañado por vaporización interna lo que puede causar expansión de la partícula. Es muy probable que en el secado de algunos materiales estos dos pasos ocurran simultáneamente.

Esto puede ofrecer problemas por el endurecimiento de la fase sólida. Cuando la superficie de la gota forma una cáscara seca durante el secado el líquido ejerce una presión al vaporizarse y puede estirar o romper la cáscara de la partícula. Esto resulta en una partícula de tipo esfera hueca con o sin agujeros en la pared.

Una cuarta etapa es también considerada en el proceso de secado por atomización.

En la Figura 4.8 se muestra un secador por atomización utilizado a pequeña escala. Se puede apreciar el sistema de alimentación, la recepción del producto atomizado, la recuperación de finos, y la apertura para la limpieza del equipo.

3.7 SECADO POR LIOFILIZACIÓN

La liofilización es un proceso que consta de tres etapas: La congelación, la sublimación y la desorción. Al desecar un producto previamente congelado, se logra la sublimación del hielo bajo vacío. Es por lo tanto el paso directo del hielo (sólido) a gas (vapor), sin que en ningún momento aparezca el agua en su estado líquido. Bajo estas condiciones de proceso se obtiene una masa seca, esponjosa de más o menos el mismo tamaño que la masa congelada original, mejorando su estabilidad y siendo fácilmente redisuelta en agua

A la materia prima, se le acondiciona, puede ingresar al equipo: entera, en trozos, en pulpa, en suspensión o en solución, e inmediatamente es congelada hasta completa solidificación (- 38 a – 40ºC), para después pasar al proceso de liofilización en cámaras de vacío. Durante este proceso y bajo la influencia de un ligero calentamiento, el agua contenida en los productos en forma de hielo, es convertida en vapor y eliminada de las células. La forma, el

color, el tamaño y la consistencia se conservan. La estructura porosa de las células resultantes en el producto final permite reabsorber rápidamente el agua en condiciones similares a la materia prima original.

FIGURA 4.8: ATOMIZADORES UTILIZADOS A PEQUEÑA ESCALA.

El proceso consiste en separar el agua del alimento de su estado sólido a gas o vapor sin pasar por la fase líquida. Los productos sometidos a esta tecnología, tienen la virtud de conservar, en un alto porcentaje, su sabor, vitaminas, minerales y aromas que poseen los productos originales proporcionando un producto completamente natural, libre de aditivos y conservadores.

Posterior a la sublimación acontece la desecación secundaria o desorción la cual remueve el agua que aún se encuentra adsorbida en las estructuras interna del producto; para tal fin se debe lograr mantener una presión reducida, de manera que la velocidad de transferencia de masa sea elevada; ya que en esta etapa se reporta el aumento de la temperatura, todo ello permite el secado del producto a humedades residuales mínimas.

El proceso de liofilización, consiste en introducir el producto a tratar en una cámara, y realizarle vacío rápidamente. Debido a la disminución de presión, el agua contenida en el material se congela; a continuación se comienza a calentar, manteniendo el vacío, para aumentar la velocidad de sublimación del hielo (Los niveles de vacío y de temperatura de calentamiento varían según el producto a tratar).

La congelación se realiza hasta que el agua alcance su completa solidificación, también denominado a temperaturas inferiores a la de solidificación total, o sea, que el producto debe estar congelado a temperaturas entre 10 y 15 ºC por debajo de su temperatura eutéctica para evitar la formación de coágulos de H_2O.

En la Sublimación o desecación primaria la mayor parte del agua libre pasa a vapor, los parámetros temperatura, presión y tiempo pueden ser modificados independientemente pero están íntimamente relacionados, no es posible modificar uno de ellos, sin que se afecten los otros, por lo que en todo momento deben ser considerados conjuntamente y analizados sus efectos.

En la desorción o desecación secundaria: se eliminan las últimas trazas de vapor de agua, evaporando el agua no congelada ligada al producto. Se lleva a cabo a una temperatura inferior a la de desnaturalización del producto y se logra una humedad final hasta valores inferiores al 1 %, se mantiene la presión de la sublimación y se trabaja con temperaturas promedias de 40 °C.

En las instalaciones industriales convencionales, el vacío se logra mediante la combinación de bombas de vacío y "trampas frías" que operan a -40 o -50 °C, para congelar el agua que se extrae del producto, y reducir la presión de la cámara de liofilización, con la utilización de bombas de vacío mecánicas y grandes equipos de frío.

REQUISITOS QUE DEBEN CUMPLIR LAS MATERIAS PRIMAS

La liofilización es ampliamente usada para la conservación de productos alimenticios porque detiene el crecimiento de microorganismos (hongos, moho, etc.), inhibe el deterioro por reacción química (cambio de color y sabor,

ranciedad, pérdida de propiedades fisiológicas, etc.), y facilita la distribución y el almacenamiento, ya que no es necesario mantener una cadena de frío.

En el procesamiento de alimentos, las materias primas deberán cumplir dos requisitos fundamentales:

- Deberá justificar ser liofilizada.- Esto quiere decir que el alimento sea termolábil y además deberá tener en su composición gran cantidad de compuestos activos que puedan ser degradados por cualquier otro tipo de secado como sustancias aromáticas y sabores.
- La materia prima una vez mostrada como producto liofilizado.- debe necesariamente volver a su forma inicial, esto se nota en la rehidratación ya sea por que el mercado lo exige o por necesidad fija.

VENTAJAS DE LA LIOFILIZACIÓN.

- Se obtienen productos de redisolución rápida
- La forma y características del producto final son esencialmente las originales
- Proceso idóneo para sustancias termolábiles
- Pérdida mínima de constituyentes volátiles
- Contenido muy bajo de humedad final
- Compatible con la elaboración en medio aséptico.
- Los constituyentes oxidables están protegidos La temperatura a que es sometida el producto, está por debajo de aquella a la que muchas sustancias inestables sufren cambios químicos.
- Debido a la baja temperatura que se opera, la pérdida de constituyentes volátiles, es mínima, se reduce el peligro de contaminación microbiana y los preparados enzimáticos no sufren alteraciones.

- Se eliminan los fenómenos de oxidación, dado que se opera y envasa a alto vacío.
- La gran porosidad del producto facilita con rapidez la reconstitución por la adición de agua o del solvente adecuado.
- Al ser despreciable la humedad remanente, el producto puede ser almacenado por tiempo ilimitado, constituyendo productos de larga estabilidad.
- Todas estas particularidades pueden resumirse en: una estabilidad óptima, una solubilidad fácil, rápida y completa; una conservación ilimitada; una buena protección contra las influencias externas nocivas y una rápida disponibilidad de uso.

DESVENTAJAS DE LA LIOFILIZACIÓN.

- Alto coste de instalaciones y equipos
- Elevado gasto energético
- Operación de larga duración
- Es un Proceso costoso.
- Necesidad de personal calificado en la operación y mantenimiento de los equipos.
- Elevado costo de inversión de las instalaciones y equipos.

ETAPAS DE LA LIOFILIZACIÓN

La liofilización se realiza en tres etapas:

a. Congelación:

El agua se encuentra unida de diversas formas al medio disperso o a la estructura del alimento, esto influye en el curso de la congelación y las etapas posteriores de la liofilización. Las formas de unión se dividen de acuerdo a la energía necesaria para la separación isotérmica de una unidad de masa de agua del material húmedo y de acuerdo a ello se puede realizar la siguiente clasificación:

Agua Químicamente ligada: Unida por enlaces iónicos, a causa de reacciones químicas y solo puede ser eliminada con la destrucción del material. Su energía de enlace varía de 20 a 100 Kcal/mol.

Agua Adsorbida: El agua es retenida por las fuerzas de las superficies internas y externas de las partículas del material.

La primera capa adsorbida llamada monocapa crea su propio campo de fuerza y adsorbe una tercera capa y así sucesivamente. El espesor de estas capas puede ser 100 veces mayor al diámetro de la molécula de agua y la energía de unión disminuye conforme el agua se aparte de la superficie del material; variando entre 5 y 15 Kcal/mol.

Agua de los capilares: Fundamentalmente es agua libre, a excepción de una capa fina adsorbida a las paredes del capilar. La energía de ligación es menor a la de adsorción.

Agua osmóticamente retenida: Es el agua libre que migra a través de la membrana semipermeable; actúa como solvente en diversas soluciones celulares. Presenta una actividad ligeramente inferior a la del agua pura, se libera fácilmente y es disponible para el desarrollo microbiano. Durante la congelación cristaliza como hielo puro. Su energía de unión, es débil, alrededor de 0.5 Kcal/mol.

La congelación es la etapa en sí que consiste en someter a los alimentos a una temperatura inferior al punto de solidificación de sus componentes líquidos.

En la congelación se registra la separación del agua libre, entre intersticios del soluto disuelto o partículas coloidales, que se transforman en hielo puro, traduciéndose esto como efecto de primera deshidratación.

En la congelación de alimentos y otros materiales biológicos, primero se verifica la eliminación del calor sensible por enfriamiento, para después eliminar el calor latente durante la congelación.

El calor latente de la congelación del agua es de 79,7 Kcal/Kg, es una porción considerable del total del calor que se elimina durante la congelación. Puede estar presente otros defectos ligeros como los calores de disolución de las sales, etc, pero generalmente son pequeños.

Durante esta etapa ocurre la formación de cristales de hielo; la cual puede ser convenientemente dividida en dos partes: Nucleación y Crecimiento de cristales

La nucleación va siempre precedida de una sobrefusión, es decir el agua durante cierto tiempo persiste en el estado líquido a una temperatura inferior al punto de Fusión. Inmediatamente se eleva ligeramente la temperatura a consecuencia de una formación de núcleos cristalinos y una liberación del calor de cristalización

A la agrupación de moléculas que pueden crecer para formar un cristal mayor se le llama núcleo cristalino. Se dice que es de tamaño crítico cuando hay igual probabilidad de que pueda crecer o desvanecerse. La formación de un núcleo de cristal puede ocurrir por dos mecanismos: En agua pura una nucleación homogénea y en agua que presenta partículas extrañas; nucleación heterogénea y es la que predomina en los alimentos y materia viva (plantas).

Una vez que se ha desarrollado un núcleo cristalino y continúa el crecimiento del cristal, el hielo formado se compone de agua pura, sea cual fuere la solución de la que proviene. El creciente cristal incorpora agua de la solución dejándola cada vez más concentrada.

Para determinar la temperatura de fin de congelación, se efectúa por medio de medidas eléctricas, es así que cuando el sistema se encuentra completamente congelado, se torna impermeable a la corriente eléctrica. De acuerdo con lo dicho, la temperatura máxima de congelación para la mayoría de los productos a liofilizar fluctúa entre -40 y -60ºC.

El número y tamaño de cristales de hielo depende de la velocidad de desplazamiento del frente de congelación, así para una congelación lenta (0.1 a 0.5 cm/hr) tiene la formación de pocos cristales intersticiales de gran tamaño y para un congelación rápida (0.5 a 5 cm/hr) se forman cristales pequeños y numerosos.

La congelación conserva a los alimentos impidiendo la multiplicación de los microorganismos. Dado que el proceso no destruye a todos los tipos de bacterias, aquellos que sobreviven se reaniman al descongelarse y a menudo se multiplican mucho más rápido que antes de la congelación.

La congelación retrasa el deterioro de los alimentos y prolonga su seguridad evitando que los microorganismos se desarrollen, debido a la disminución de la actividad del agua. Cuando el agua de los alimentos se congela, se convierte en cristales de hielo y deja de estar a disposición de los microorganismos que la necesitan para su desarrollo. No obstante, la mayoría de los microorganismos (a excepción de los parásitos) siguen viviendo durante la congelación, así pues, es preciso manipular los alimentos con cuidado tanto antes como después de ésta.

La congelación puede dañar a algunos alimentos debido a que la formación de cristales de hielo rompe las membranas celulares. Este hecho no tiene efectos negativos en términos de seguridad (de hecho, también mueren células bacterianas), sin embargo, el alimento queda menos crujiente o firme. Entre los alimentos que no resisten a la congelación se encuentran las verduras para ensaladas, los champiñones y las bayas.

Por otro lado, los alimentos con mayor contenido de grasa, tienden a cortarse cuando se congelan.

La congelación comercial es más rápida, gracias a lo cual los cristales de hielo que se forman son más pequeños. De esta forma, se reduce el daño ocasionado a las membranas celulares y se preserva aún más la calidad.

La congelación como fase inicial de la sublimación es una operación previa y obligatoria. El tiempo de duración depende de varios factores como la cantidad,

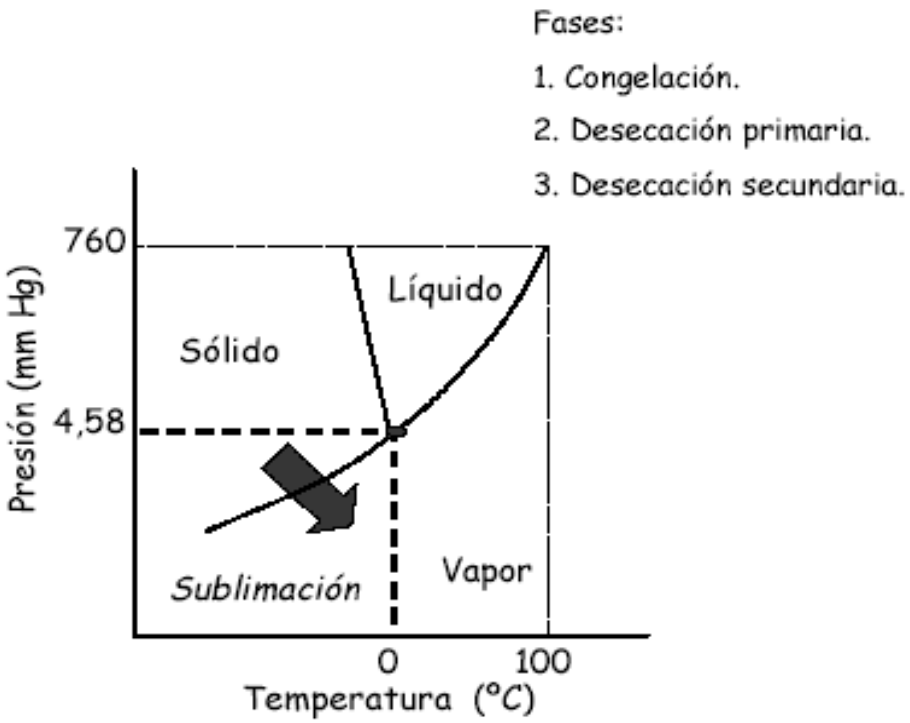
concentración y naturaleza propia del producto . En términos generales se puede afirmar que una congelación adecuada es la base de que el producto liofilizado presente óptimas condiciones de aspecto, conservación de sus propiedades originales y rápida rehidratación.

b. Desecación Primaria o Sublimación:

La fase de sublimación propiamente dicha, llamada a veces deshidratación primaria elimina alrededor del 90% del agua del alimento de modo que el producto queda con una humedad del orden del 15%.

El término sublimación se utiliza para indicar el paso directo del estado sólido a vapor sin la intervención del líquido. La sublimación solo se efectúa cuando la presión parcial de vapor y la temperatura de la superficie del hielo poseen valores inferiores al punto triple; 4,579 mmHg y 0.009ºC, lo cual se puede apreciar en la Figura 4.9.

FIGURA 4.9: FASES DE LA LIOFILIZACIÓN.



En la práctica la desecación en estado congelado exige que las presiones en la superficie del producto congelado estén comprendidas entre 133 y 13,3 pascales (0.1 y 0.01 mmHg) en el dispositivo de producción de vacío que tiene por finalidad disminuir la presión de los gases incondensables, generalmente aire, a fin de facilitar la transferencia de vapor de agua, que se va eliminando mediante un condensador que posee una temperatura inferior a la del producto congelado y dicha temperatura tiene que ser tal que la presión parcial de vapor del agua congelada en el condensador sea menor que la que existe en el aparato.

La velocidad de sublimación es proporcional a la diferencia entre las presiones parciales de vapor de agua del hielo que se encuentra a nivel del frente de sublimación y sobre el condensador; dicha diferencia depende de la gradiente de temperatura entre los mismos.

Así mismo la velocidad y tiempo de sublimación dependen de parámetros como presión de la cámara, temperatura de placas y la densidad de carga La resistencia a la transferencia de masa es ocasionada por el aumento de la presión en el aparato y contrariamente se facilita la transferencia de calor.

Estudios hechos por Welti y Lafuente (1985), concluyeron que al incrementar la presión (entre 0.25 a 1 mmHg) dentro de la cámara tiende a disminuir el tiempo de sublimación; mencionaron que se debe al incremento de la conductividad térmica del material. Pero que a presiones 0.25-0.5 mmHg se mantiene la temperatura del producto por debajo de la temperatura de eutectica.

La cantidad de calor necesaria para sublimar es del orden 680-700 Kcal/Kg. de hielo (calor latente de sublimación), por tanto se debe aportar calor hasta lograr dicho fin pero este suministro debe controlarse de manera que la temperatura se mantenga próxima a la temperatura de eutéctica.

El incremento de la temperatura en las placas radiantes de 40 a 70ºC, experimentadas en la liofilización de disgregados de naranja, genera una reducción del tiempo de secado en 51%; pero ello también conduce a un decaimiento de la calidad del producto traduciéndose en baja retención de B-caroteno, ácido ascórbico y el incremento del grado de paredamiento. Se

obtuvieron la mejor calidad con la temperatura de placas más baja que experimentaron (40ºC)

La transferencia de masa y calor son influenciadas por el espesor de la capa seca y por el espesor total del producto por lo que el tiempo de sublimación es proporcional al espesor

La transferencia de calor se lleva a cabo cuando el calor latente de sublimación es suministrado, mediante resistencia calefactoras que están colocadas debajo de las placas y por contacto con la superficie o capa inferior del producto le transfiere el calor, esta a su vez la conduce a través del espesor de la capa congelada hacia el frente de sublimación; en este flujo de calor se considera el bloque de hielo como seudo estable

c. Desecación Secundaria o Desorción.

La liofilización no culmina con la sublimación del agua congelada del material, todos los productos retienen por absorción una cantidad de agua (2 a 8% aproximadamente) que pone en peligro una buena conservación del producto.

La fase de desorción o de desecación secundaria elimina el 10% del agua ligada restante y permite conseguir un producto con una humedad de alrededor del 2%.

Esta fase es una evaporación a vacío, a temperatura, de 20 a 60 °C. Es por ello que durante la desorción las moléculas de agua remanentes son extraídas bajo un alto vacío y a temperaturas relativamente altas según la naturaleza del producto alrededor de (40 a 70°C). La desorción puede prolongarse indefinidamente pero nunca el contenido de agua se elimina totalmente, la cantidad de la misma se determina de acuerdo a la mayor estabilidad del producto que generalmente coincide con la cantidad que representa la capa monomolecular de agua adsorbida.

Si la temperatura sobrepasa ciertos límites puede ocasionar defectos en el producto como pardeamiento no enzimático, desnaturalización de proteínas,

pérdida de componentes, etc, por lo que es necesario controlar los parámetros que aseguren la calidad del producto.

En las Figuras 4.10 y 4.11 se presenta el esquema de un sistema de liofilización y un equipo de liofilización, respectivamente.

FIGURA 4.10: ESQUEMA DE UN SISTEMA DE LIOFILIZACIÓN

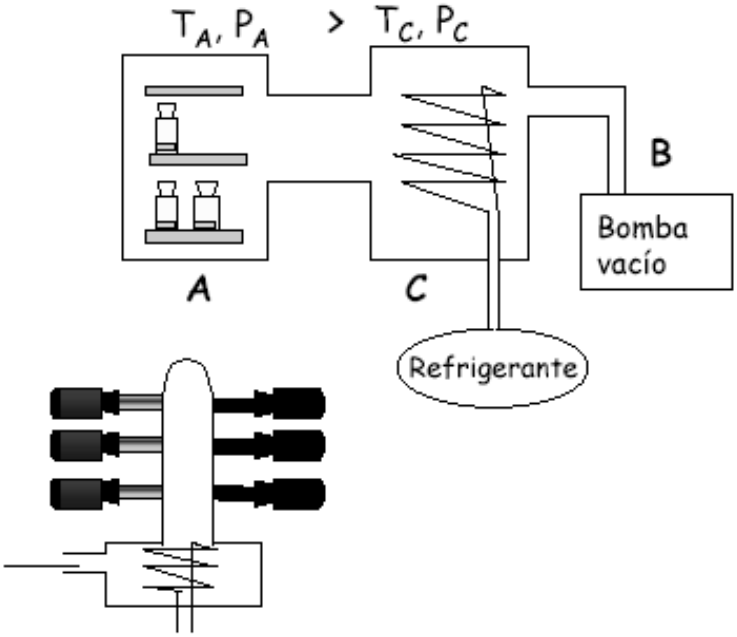


FIGURA 4.11: EQUIPO DE LIOFILIZCIÓN

4.8 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

La deshidratación osmótica es un método combinado de secado en el cual la eliminación del agua del alimento se realiza en dos etapas: la primera por ósmosis utilizando soluciones azucaradas que desplazan al agua del alimento hasta un determinado nivel de equilibrio, y la segunda mediante un secado por cualquier método hasta que se obtenga la humedad deseada.

El proceso osmótico de frutas no constituye un método de preservación sino que es solamente la primera parte (preconcentración) de un proceso de secado, siendo la segunda un secado convencional. Usualmente la pre-concentración osmótica sólo se realiza hasta alcanzar una reducción del peso del 50%.

La ósmosis es un proceso de remoción de agua basado en la colocación del alimento, ya sea de fruta o vegetales en una solución hipertónica. Dado que esta solución tiene una alta presión osmótica y consecuentemente, una baja actividad de agua; existirá una fuerza impulsora para la remoción de agua entre la solución y el alimento, mientras la pared actúa como una membrana semi-permeable. Como la membrana es solo parcialmente selectiva, siempre existe alguna filtración de soluto desde la solución al alimento y viceversa; siendo la deshidratación por ósmosis por tanto un proceso de difusión simultánea de agua y soluto.

Es una técnica útil para la concentración de fruta y vegetales, conseguido al colocar alimentos sólidos, entero o en piezas, en soluciones de azúcar o sal a una alta presión osmótica. Esto da al menos dos flujos mayores de contracorriente simultánea: un importante flujo de salida de agua del alimento a la solución concentrada y una simultánea transferencia de solutos de la solución concentrada al alimento. En los sistemas naturales del alimento hay también una salida de solutos (azúcar, ácidos orgánicos, minerales y sales) que atraviesan la membrana poco cuantificable pero esenciales por lo que confiere cualidades organolépticas o nutricionales.

Cuando el secado osmótico se aplica como etapa intermedia en la deshidratación de frutas, el uso de la relación 1:1 y 2:1 entre el medio osmótico y la fruta acondicionada da muy buenos resultados.

La velocidad de deshidratación por ósmosis depende principalmente del tamaño de la pieza de la fruta, y de la temperatura de deshidratación; comportándose en forma similar que en el secado por aire caliente.

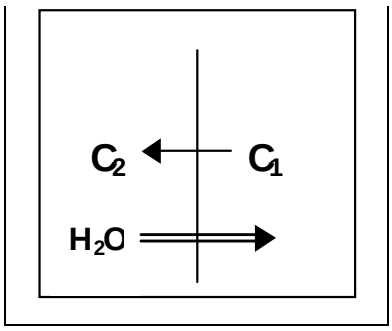
La ósmosis consiste en el flujo de un solvente desde una solución diluida contenida dentro de una membrana semipermeable hacia una solución más concentrada que rodea a la membrana. Depende de la selectividad que ésta tenga en el sentido que el agua pueda pasar a través de ella, mientras que los otros componentes de la solución no puedan hacerlo o lo hacen muy lentamente.

El fenómeno de ósmosis se sujeta a leyes definidas, entre ellas:

- Es preciso la interposición de una membrana semipermeable
- Es preciso que dicha membrana semipermeable sea mojada o embebida por líquidos que constituyen el solvente.

En la Figura 4.12 se muestra una representación esquemática de un proceso osmótico. Supóngase que la membrana interpuesta sea de poros tan pequeños que no deja atravesar a la sustancia disuelta o, a los elementos cinéticos que tienden a difundirse hasta igualar las concentraciones de acuerdo a la primera ley de difusión. Es evidente que si C1 es mayor que C2 la difusión es de derecha a izquierda.

FIGURA 4.12: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UN PROCESO OSMOTICO



La deshidratación osmótica es un método energéticamente más eficiente para remover la humedad de trozos de alimento debido a que el agua no sufre cambio de fase. Consiste en la inmersión de productos alimenticios en soluciones acuosas de alta presión osmótica, tales como soluciones azucaradas o salmueras, seguidas de transferencia de agua desde alimenticio hacia la solución por ósmosis. Algunos sólidos solubles presentes en la solución pueden ser absorbidos por el alimento; como parte de los sólidos solubles del producto alimenticio original pueden eliminarse de éste.

$C_1 > C_2$

El proceso osmótico puede ser usado para remover agua desde una solución diluida contenida dentro de una membrana semipermeable que está rodeada por una solución más concentrada desde el lado más diluido hasta que se establezca el equilibrio. El soluto es incapaz de difundirse a través de la membrana en sentido contrario.

La deshidratación osmótica es un proceso dinámico en el cual el agua y el ácido de la fruta son extraídos rápidamente al principio y luego de forma más lenta, mientras que la penetración de azúcar es lenta al principio y se va incrementando con el tiempo, por ello las características del producto puede variarse controlando la temperatura del proceso, la concentración de azúcar del medio, tiempo de proceso, etc; para hacer que la ósmosis sea más rápida o más lenta.

La velocidad de deshidratación osmótica es marcadamente afectada por la temperatura; si bien ésta se incrementa con la temperatura, existe un límite probable de 120 ºF (49 ºC) encima del cual empiezan a tomar lugar reacciones de oscurecimiento enzimático y deterioro del sabor. La ósmosis es suficientemente rápida debajo de esta temperatura, por lo tanto hace el proceso práctico; así por ejemplo el 50% de reducción de peso, usualmente puede ser obtenido de 2.5 a 3 horas a 50 ºC, pero quizás sea más deseable usar un tratamiento durante toda la noche a temperatura ambiente. La fruta no es dañada por un tratamiento extenso, ya que el jarabe concentrado es un inhibidor de fermentaciones por levaduras o mohos.

Trabajos de deshidratación osmótica realizados en diferentes en frutas, tales como: piña, plátanos, mango y papaya. Los resultados fueron muy exitosos, tanto usando temperatura ambiente (21 – 39 ºC), como a 47 y 60 ºC; observaron que no hay diferencia entre trabajar a temperatura ambiente o a mayor temperatura, ya que los daños en el color, sabor y textura de las frutas son minimizadas.

La reducción de la temperatura del medio o de la concentración del jarabe prolongan el proceso; sin embargo permite que el azúcar se difunda al interior de la fruta y el producto resulte mucho más dulce.

CAPÍTULO V

CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS POR APLICACIÓN DE FRÍO

El frió es un método de conservación muy utilizado desde la antigüedad y en los actuales momentos es el más utilizado por los habitantes de la tierra.

5.1 PRINCIPIOS ESENCIALES PARA LA APLICACIÓN DEL FRÍO:

1.- El producto debe ser sano. El frío no puede devolver a un producto las cualidades que no tiene, éste es el caso cuando el producto está en vías de deterioro.

2.- La refrigeración tiene que ser rápida. Para el caso de vegetales, un día de espera a 20ºC, después de la cosecha, corresponde en cuanto a la maduración, a 20 días de almacenamiento a una temperatura de 20ºC.

3.- La cadena debe ser contínua. Durante todas las etapas, hasta el consumo final. Cosecha, transporte, comercialización, compra por el consumidor. Se debe procesar el alimento desde el inicio, y no se debe olvidar ninguna etapa comprendida en la comercialización.

5.2 OBJETIVOS:

Sanitario: impide afecciones graves para el consumidor.

Económico: prolonga el plazo de conservación normal, y favorece la distribución o comercialización de los alimentos con el tiempo.

5.3 VENTAJA:

Es el único medio de conservar alimentos en su estado original.

5.4 DESVENTAJA:

El equipo es relativamente costoso y voluminoso.

5.5 CONSERVACIÓN POR REFRIGERACIÓN

Conservar por refrigeración a los alimentos, involucra el uso de bajas temperaturas como medio de eliminar o retardar la actividad de los agentes degenerativos (microorganismos y enzimas).

El grado de temperatura baja, requerido para la conservación adecuada, varía con el tipo de producto almacenado, y con el período de tiempo en almacenaje.

Con fines de conservación, los alimentos pueden ser agrupados en 2 categorías:

- **Los que están vivos en el momento de distribución y almacenaje.**

Ejemplo, frutas y legumbres. La vida misma suministra protección contra la carga microbiana, el problema es mantener la sustancia viva, retardando al mismo tiempo la actividad enzimática natural, con el objeto de hacer más lento el ritmo de maduración.

- **Los alimentos que no están vivos.**

Como por ejemplo: la carne, aves y pescado. Estos productos son muchos más susceptibles a la contaminación bacteriana y destrucción. Aquí el problema radica en proteger el tejido muerto de todas las fuerzas de putrefacción y degeneración, tanto enzimática (enzimas que hidrolizan y oxidan las grasa), como bacteriana.

A. Condiciones y temperaturas de almacenamiento

Las condiciones, dependerán del tipo de producto y periodo de almacenamiento. Cada producto tiene su temperatura de almacenamiento, si no se controlan estrictamente estos rangos, se tendrán problemas con las **“Enfermedades de almacenamiento por frío”**.

B. Humedad y movimiento del aire

El almacenamiento de alimentos deteriorables, requieren además de la temperatura, controles de humedad y movimiento del aire.

La pérdida de humedad de las superficies del producto, por evaporación es una causa principal de deterioro de los alimentos no empacados, tales como carnes, huevos, pescado, frutas, legumbres, etc., conociéndola como desecación.

La desecación ocurrirá siempre que la presión de vapor del producto sea mayor que la presión de vapor del aire circundante.

En el Cuadro 5.1 se presenta las condiciones de almacenaje para frutas. Aprecie que se considera la temperatura, el tiempo de vida útil y la humedad relativa. Las condiciones ideales para evitar la deshidratación del producto almacenado, son 100% de humedad relativa y aire quieto: desafortunadamente, estas condiciones también conducen al rápido crecimiento de mohos y formación de manchas ocasionadas por bacterias, por ejemplo en carnes. Del mismo modo, una buena circulación del aire en el espacio refrigerado y alrededor del producto, es requerida para una adecuada refrigeración del mismo.

C. Almacenamiento mixto

Lo ideal sería almacenar cada producto en una cámara, sin embargo, muchas veces no es posible por el aspecto económico. Por tanto, las diferencias requeridas por productos individuales, se torna en un problema.

CUADRO 5. 1: CONDICIONES DE ALMACENAJE PARA FRUTAS.

FRUTAS	TEMPERATURA (° C)	HUMEDAD RELATIVA (%)	TIEMPO DE ALMACENAJE	PUNTO DE CONGELACIÓN (°C)
Fresa	0	90 - 95	5 a 6 días	-0.7
carambola	9 a 10	85 - 90	3 a 4 semanas	------
Ciruela	-0.5 a 0	95 - 95	2 a 5 semanas	-0.8
Durazno	-0.5 a 0	90 - 95	2 a 4 semanas	-0.9
Guayaba	5 a 10	90	2 – 3 semanas	-----
Mango	13	85 - 90	2 – 3 semanas	-0.9
Manzana	-1 a 4	90 - 95	1 – 12 meses	-1.5
Mandarina	4	90 - 95	2 – 4 semanas	-----
Melón	7	90 - 95	2 – 3 semanas	---
Membrillo	-0.5 a 0	90	2 – 3 meses	-2
Papaya	7 a 13	85 - 90	1 – 3 semanas	-----
Piña	7 a 13	85 - 90	2 – 4 semanas	-----
Sandía	10 a 15	90	2 – 3 semanas	-----
Tomate de árbol	3 a 4	85 - 90	10 semanas	-----
Uva de mesa	-0.5 a 0	85	2 – 8 semanas	-1.2

Por lo general, la solución sería condiciones intermedias. Se requieren temperaturas arriba de las óptimas y de este modo se evita el daño por frío.

Otro problema es la absorción de olores y sabores, al respecto, se debe evitar almacenar juntos, productos que presenten estas características.

D. Condiciones del producto al entrar a almacenamiento

- Se deben aceptar alimentos en buenas condiciones.

- En el caso de vegetales y frutas a conservar, deben cosecharse antes de una completa madurez.
- Los alimentos deben enfriarse inmediatamente después de realizada la cosecha o beneficio.
- Cuando se embarcan productos por distancias largas hasta el almacén, deben enfriarse previamente y en lo posible utilizar transportes refrigerados.

E. Enfriamiento del producto

El enfriamiento del producto se distingue del almacenamiento, en que el producto entra a la cámara o cuarto de enfriamiento a una temperatura elevada (generalmente, a la temperatura de cosecha o sacrificio) y se enfría tan rápido, como sea posible a la temperatura de almacenamiento.

Es muy importante que el equipo de refrigeración tenga la capacidad suficiente para evitar que la temperatura del cuarto de enfriamiento se eleve excesivamente durante el período máximo de enfriamiento.

5.6 CONSERVACIÓN POR CONGELACIÓN

Por lo general se aplica a productos que deben preservarse en un estado fresco original por periodos relativamente largos.

Es una técnica relativamente antigua en los productos animales (carne y pescado), su aplicación en los productos vegetales data de sólo unos 80 años atrás.

A. FACTORES QUE RIGEN LA CALIDAD Y VIDA DE ALMACENAMIENTO DEL PRODUCTO CONGELADO:

- La naturaleza y composición del producto a ser congelado.
- El cuidado que se haya puesto en la selección, manejo y preparación del producto, para su congelación.
- Las condiciones de almacenamiento.

B. ALMACENAJE DE PRODUCTOS

Para el mantenimiento adecuado de la calidad de los productos congelados, durante el almacenaje, se debe seleccionar la temperatura adecuada para el periodo esperado.

C. PELIGROS QUE HAY QUE EVITAR PARA QUE LA CALIDAD SEA MANTENIDA:

- Baja humedad relativa en el almacén.
- Retención del producto después de la vida de almacenaje esperada.
- Fluctuaciones de temperatura (durante el almacenaje, en el proceso de carga, descarga y despacho de vehículos).
- Daños al producto o al embalaje durante el almacenamiento o manipuleo.
- Contaminación de los productos por cuerpos extraños.

D. PROCESO DE CONGELACIÓN

ETAPAS:

a) Bajar la temperatura inicial del producto hasta la temperatura donde comienza la congelación.

b) Cubre la formación del hielo en los productos, comienza desde la temperatura inicial de congelación hasta 5ºC por debajo del centro del producto (la mayor parte del agua es convertida en hielo y con una pequeña reducción de temperatura se logra un gran cambio de entalpía).

c) Consiste en bajar la temperatura hasta la Tº final de almacenaje.

Al salir el producto del congelador, se tiene que la distribución de temperaturas en él no es uniforme; más caliente en el centro y más frío en la superficie. La

temperatura promedio es la que corresponde a la temperatura a la cual se equilibra el producto (Temperatura de Equilibrio).

En general, es recomendable enfriar el producto hasta una temperatura de equilibrio por debajo de 18ºC. El producto que sale del congelador a temperaturas mayores se almacenará en condiciones desfavorables.

La conversión del agua en hielo produce la concentración de componentes solubles, cambios de pH, y afecta los tejidos produciendo cambios en la textura y reacciones bioquímicas.

E. TIEMPO DE CONGELACIÓN

Está determinado por:

- Temperaturas iniciales y final del producto y su cambio de entalpías.
- Temperatura del medio de enfriamiento.
- Dimensiones y forma del producto.
- Coeficiente total de transferencia de calor, coeficiente de transferencia de calor superficial (q) y la conductividad térmica del producto (K).

F. VELOCIDAD DE CONGELACIÓN

La congelación siempre debe ser lo suficientemente rápida para minimizar el desarrollo de los cambios microbiológicos y enzimáticos.

VELOCIDADES DE CONGELACIÓN EN LA PRÁCTICA COMERCIAL

Congelamiento lento: 0.2 cm/h (túnel baja velocidad aire).

Congelamiento normal: 0.5 – 3 cm/h (túnel c/5m/s, placas).

Congelamiento rápido: 5 – 10 cm/h (10f fluidización).

congelamiento ultra rápido: 10 – 100 cm/h (inmersión Criogénicos).

Son consideradas velocidades satisfactorias:

Para productos como cuartos de res: 0.1 cm/h (3 a 4 días).

Productos alimenticios comunes: 0.5 cm/h ó más.

Productos congelados individualmente (IQF): 5 cm/h ó más.

G. EQUIPOS DE CONGELACIÓN:

CONGELADORES POR AIRE

a) Túnel de congelación por lotes (BATCH):

b) Congeladores de faja:

- Faja simple
- Fajas de disposición múltiple
- Fajas en espiral

c) Congeladores por fluidización

- I.Q.F.

CONGELADORES POR CONTACTO

a) Congeladores de placa

b) Congeladores de banda de acero

c) Congeladores sigma freezer

CONGELADORES POR INMERSIÓN

CONGELADOR DE EVAPORACIÓN DE LÍQUIDOS

a) Nitrógeno Líquido

b) Dióxido de Carbono

c) Fluorocarbono Líquido

H. CONGELACIÓN IQF EN LOS ALIMENTOS "Individually Quick Frozen"

- También conocida como fluidificación o congelación rápida.
- Tiene mucha aplicación en frutas y hortalizas
- La velocidad de congelación es entre 5 y 10 cm/h.

H. 1 ETAPAS DE LA CONGELACIÓN IQF

Se dan tres etapas:

- Precongelación. Lapso de tiempo en que el producto desde su temperatura inicial es sometido al proceso de congelación, hasta que comienza la cristalización del agua.
- Congelación. Cubre la formación del hielo. Comienza desde la Tº inicial de congelación hasta 5ºC, por debajo del centro del producto.
- Reducción a la temperatura de almacenaje.

Como consecuencia de que el agua es removida de su posición inicial, se produce una concentración de los componentes solubles, cambio de pH que afecta a los tejidos, produciendo cambios en la textura y reacciones bioquímicas.

Al salir el producto del congelador, la distribución de temperaturas es desuniforme, dándose una gradiente de Tº.

H.2 MÉTODOS DE CONGELACIÓN POR FLUIDIFICACIÓN

- Los productos de dimensiones apropiadas son sometidos a una corriente de aire ascendente (flujo vertical).
- Las partículas flotan en la corriente como un fluido, cada partícula separada de la otra, pero rodeada del aire y libre para moverse.

- Si las partículas son retenidas en un recipiente cúbico que es diseñado con un lado abierto (salida) ligeramente más bajo que los otros tres lados, se puede introducir más producto, el cual desplaza al anterior causando un flujo a través del recipiente.

- Con la utilización del aire frío se produce la fluidización siendo el producto enfriado y simultáneamente llevado por el mismo aire sin la ayuda de transportadores mecánicos.

H. 3 VENTAJAS DEL SISTEMA IQF

- El producto es congelado de manera individual

- Es independiente de las fluctuaciones de la carga.

- Es seguro para productos que tienen humedad en la superficie.

- Con equipos IQF se pueden congelar productos muy húmedos.

- Tienen bajos costos de instalación.

- Son de fácil adaptabilidad y expansión.

- Son de fácil control y saneamiento.

- Sus partes intercambiables son standard.

H.4 PROCESO DE CONGELACIÓN IQF

- La velocidad del aire debe ser tan alta que garantice la congelación en ciclos prefijados y evite la congelación de la materia prima en la cinta.

- El túnel de congelación se divide en tres zonas:

    - Hasta 1 m aproximadamente desde la entrada de la materia prima, con un tiempo aproximado de 20 s. La velocidad media del aire es de 6-8 m/s. Esta hace que el producto no congele, lo separa de la cinta y lo deseca. En esta zona se instala un ventilador RADIAL con presiones de 1000 – 2000 Pa.

- Longitud de la cinta (unos 3 m). El proceso dura 80 a 100 s, la velocidad del aire es de 4 a 5 m/s. En esta zona se da un intenso enfriamiento y la congelación de la superficie del producto.

- Resto de la longitud de la cinta (8m), la duración del proceso es de 6-16 min. Dependiendo de la materia prima. La velocidad media del aire es de 3-4 m/s. En esta zona se congela completamente el producto (-20ºC). En las últimas dos zonas se colocan ventiladores AXIALES de potencia aprox. 9000 Pa.

En la Figura 5.1 se presenta un equipo de congelación IQF, en la que se indica la entrada de la materia prima, el sistema de congelación y la salida del producto congelado.

FIGURA 5.1: EQUIPO REPRESENTATIVO DE UN CONGELADOR IQF

H.5 EQUIPOS MÁS COMUNES EN EL MERCADO

o Túnel Flo-Freeze (suecos 1962)

- Túnel ZFT (Polonia 1969)
- Congelador combinado de lecho fluidificado modelo REN (Polonia 1972)
- Túnel Transportador fluidizado Lewis (Americano)

H.6 CONSIDERACIONES GENERALES PARA CONGELAR

1. HORTALIZAS

- Las hortalizas que pueden congelarse con éxito: GUISANTES, ESPINACAS, COLES DE BRUSELAS, COLIFLORES, MAIZ, PAPAS, VAINITAS, ETC.
- Las hortalizas que se consumen crudas tienden a perder su textura después de la congelación: tomate, lechuga, pepino, etc.
- En términos generales, las características de textura de un producto descongelado consumido crudo es peor cuanto mayor es su contenido de agua.

2. FRUTAS

- Las frutas se congelan de diversas formas: enteras, en mitades, en rodajas, en azúcar o en jarabes, zumos concentrados y purés.
- Desde un punto de vista industrial interesa la composición química, estructural y morfológica.
- Se busca: ausencia de componentes propensos a alteración, una buena aceptación sensorial, estado de madurez apropiado.

H.7 TRATAMIENTOS PRELIMINARES

- Selección – Clasificación
- Lavado – desinfectado
- Escaldado / Blanqueado

- Otros: Cortado, cubitado, pelado, etc.

- Enfriamiento

I. CONGELACIÓN CON NITROGENO LÍQUIDO

El nitrógeno es un gas incoloro, inodoro e insípido. No es inflamable ni aporta a la combustión. El aire atmosférico contiene un 78.09% de nitrógeno (volumen). Este gas es ligeramente más liviano que el aire y ligeramente soluble en agua. Es inerte excepto a grandes temperaturas. En forma gaseosa se puede emplear en la conservación y acondicionamiento de productos entre ellos podemos mencionar:

- Conservación de carnes y pescados en atmósferas de nitrógeno.

- Protección de vinos y otras bebidas desde la elaboración al embotellado con nitrógeno gaseoso.

La congelación Criogénica puede ser definida como congelación a muy bajas temperaturas, debajo de - 60ºC. Los criógenos son refrigerantes de muy bajas temperaturas. Recientes investigaciones han revelado que muchos alimentos congelados por un gas criógeno retiene su forma natural y sabor, mejor que por otros métodos de congelación rápida (Tressler, Van Arsdel y Copley, 1968). La ventaja de la congelación por inmersión es el perfecto contacto entre el medio refrigerante y el producto, por lo tanto la velocidad de transferencia de calor es muy alta (Tressler y Evers, 1957). Algunos de los Criógenos más usados en congelación de los alimentos perecibles son: Argón, Dióxido de Carbono, etano, Neón, Nitrógeno, Óxido Nitroso, R13 (Monoclorotrifluormetano) y R14 (Tetrafluormetano).

En un congelador típico de Nitrógeno Líquido con una banda recta, éste es rociado sobre el producto a -196ºC el cual es circulado con agitadores en el ambiente interior. Como el nitrógeno cae directamente sobre el producto se evapora rápidamente y se circula este vapor en contra flujo para tener un preenfriamiento. Finalmente, el Nitrógeno Líquido provee un rápido ciclo de congelación y una gran capacidad de reserva. En algunos casos, la capacidad

de congelación puede duplicarse, pero se tiene un gran consumo incrementándose grandemente los costos. También, algunos productos pueden no resistir el esfuerzo térmico por la alta congelación a que son sometidos pudiendo rajarse su superficie.

En la Figura 5.2 se presenta un esquema de congelación con nitrógeno liquido, en el que se puede observar la entrada del producto y el sistema de congelación ultyrarrápido.

FIGURA 5.2: EQUIPO REPRESENTATIVO DE UN CONGELADOR CON NITRÓGENO LÍQUIDO

En el Cuadro 5.2 se muestran las propiedades del nitrógeno líquido y en el Cuadro 5.3 las principales industrias en las que se utiliza.

CUADRO 5.2: PROPIEDADES DEL NITRÓGENO

PROPIEDADES	UNIDADES	
	MÉTRICAS	INGLESAS
Punto de ebullición (1 atm)	- 196ºC	320.454 ºF
Calor latente de Vaporización (a p.eb.)	47.59 kcal/kg	85.67 Btu/lb
Calor sensible, gas a 70ºF (21ºC)	53.88 kcal/kg	96.99 Btu/lb
Calor Total a 70ºF (21ºC)	101.49 kcal/kg	182.68 Btu/lb
Densidad de Líquido a p.eb.	807.94 Kg/m^3	50.44 $lb/pies^3$
Densidad de gas a 32ºF (0ºC), 1 atm	1.249 Kg/m^3	0.078 $lb/pies^3$
Volumen específico a cond. Estándards	0.862 m^3/Kg	13.80 $pies^3/lb$
Ratio de Calor Específico (K) a 70ºF (21ºC)	1.40	1.40
Calor Específico, a Pr. cte. a 70ºF (21ºC)	0.2484 Kcal/KgºC	0.2484 Btu/lbºF
Calor Específico, a Vol. cte. a 70ºF (21ºC)	0.1774 Kcal/KgºC	0.1774 Btu/lbºF
Peso Molecular	28.018	28.018
Color, Olor	Ninguno	Ninguno

Cuatro son las cualidades principales para los procesos de refrigeración y ultracongelación:

- Su inercia química (no ataca ni reacciona con otros cuerpos).
- Su potencia frigorífica.
- No es tóxico.
- Su bajo precio.

CUADRO 5.3: PRINCIPALES INDUSTRIAS EN LAS QUE SE UTILIZA EL NITRÓGENO LÍQUIDO

INDUSTRIA ALIMENTARIA	*OTROS AMBITOS*
Congelación de alimentos (carnes, pescados, etc.) Conservación y desodorización del aceite Cocinas centrales, Catering y Precocidos Envasado en atmósferas protectoras Glaseo de vegetales y frutas (brócoli, fresas, etc.) Industria del vino Inertización Molienda criogénica Industria de Snacks (papas fritas, etc.) Procesamiento y conserva del zumos	Criocirugía Electrónica Industria química Impresión Investigación médica y biológica Medicina Metalurgia Tratamientos de metales, Afino de aluminio Caucho, Plásticos Productos farmacéuticos Refinería Reproducción animal, Inseminación artificial Vidrio

I.1 NITRÓGENO GASEOSO:

El nitrógeno es un gas incoloro, inodoro e insípido. No es inflamable ni aporta a la combustión. Al aire atmosférico contiene un 78.09% de nitrógeno (volumen). Este gas es ligeramente más liviano que el aire y ligeramente soluble en agua. Es inerte excepto a grandes temperaturas. En forma gaseosa se puede emplear en la conservación y acondicionamiento de productos entre ellos podemos mencionar:

- Conservación de carnes y pescados en atmósferas de nitrógeno.
- Protección de vinos y otras bebidas desde la elaboración al embotellado con nitrógeno gaseoso.

I.2 EFECTO SPARGING

Es el proceso de infundir gas nitrógeno en un líquido para remover el oxígeno disuelto. Como las pequeñas burbujas de nitrógeno se distribuyen a través del líquido, se crea una diferencia de presiones parciales entre el nitrógeno y el oxígeno. Esta diferencia en presiones parciales origina que el oxígeno disuelto salga del fluido.

Todos los gases se propagan de un lugar donde se encuentran en gran concentración a un lugar donde estén en baja concentración. En el sparging el gas inerte es burbujeado a través de un líquido. Él oxígeno fluirá del líquido donde se encuentra en una relativa alta concentración hacia las burbujas del gas inerte donde se encuentra a baja concentración y es por lo tanto retirado del liquido por la burbuja.

La eficiencia de este efecto de sparging depende de dos factores. El primero es el tamaño de burbujas de nitrógeno. Mientras más pequeñas las burbujas para una cantidad dada de gas, será más grande el área interfacial disponible para remover el oxígeno. El segundo factor es el periodo de tiempo que estas burbujas están expuestas al oxígeno disuelto. A mayor tiempo, es más efectivo el proceso de sparging

CAPÍTULO VI

CONSERVACION DE ALIMENTOS MEDIANTE FERMENTACIÓN

En la conservación de alimentos por fermentación se hace uso de microorganismos seleccionados a través de procesos controlados que conducirán a la obtención de substratos que generalmente serán: alcohol, ácidos, y desarrollar en ellos delicados aromas o bouquets que aumenten su calidad, valor nutritivo y modificar su textura.

Para conservar a estos alimentos, será necesario tener en cuenta la cantidad de substrato presente y de este modo se recurrirá a métodos combinados de conservación o tecnologías de barreras o tecnología de obstáculos.

6.1 FERMENTAQCIÓN ALCOHOLICA

Este proceso esta gobernado por dos reacciones sucesivas:

1. piruvato --------> acetaldehido + CO2

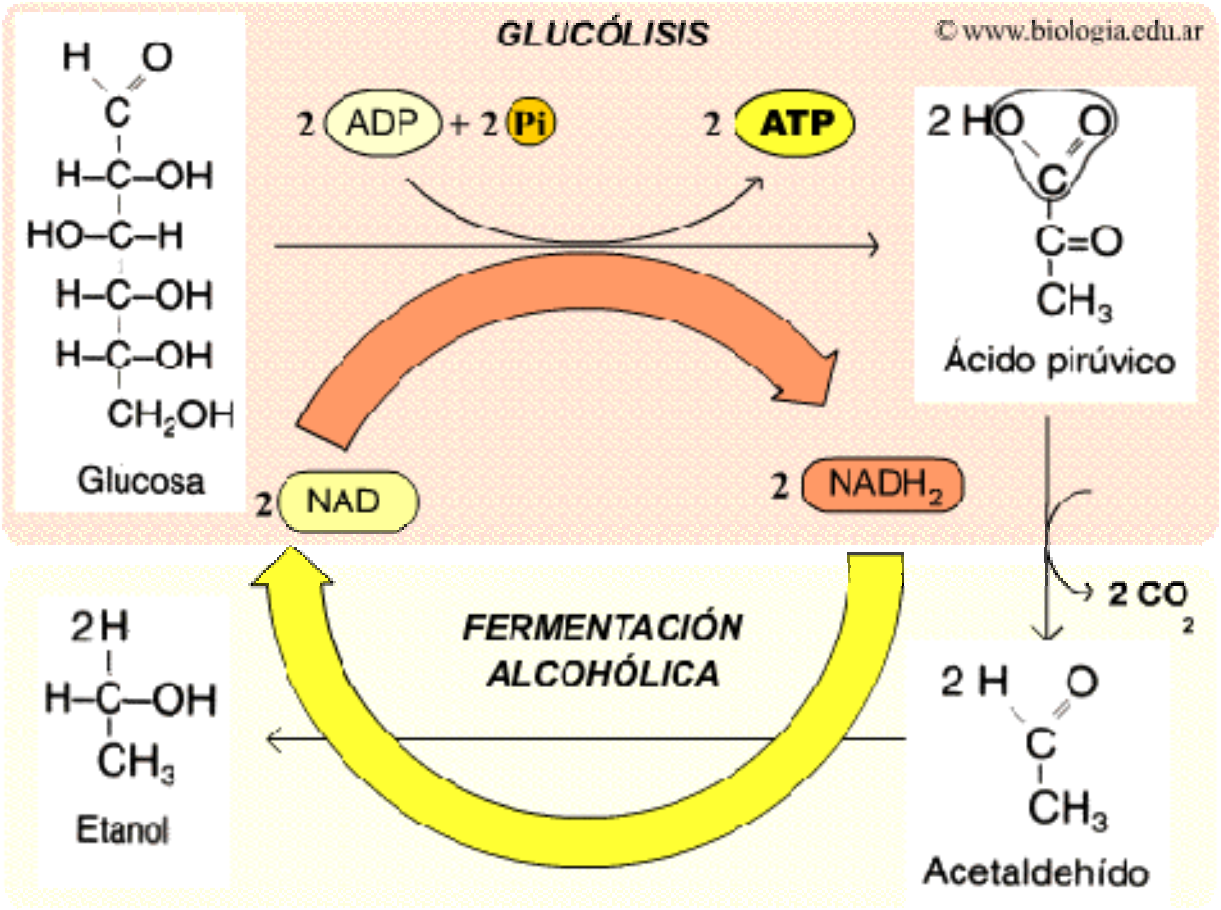
2. acetaldehido + NADH + H^+ -------> etanol + NAD^+

Se Pueden llevar a cabo por levaduras que son los principales microorganismos comprometidos, además por algunos hongos y algunas bacterias. La levadura de género Saccharomyces es capaz de fermentar un amplio número de azúcares, entre los que se encuentran: sacarosa, glucosa, fructosa, galactosa, manosa, maltosa, maltotriosa.

La producción de etanol es el principal producto de la fermentación, En la Figura 6.1 se muestra la vía metabólica de la fermentación alcohólica.

Las levaduras en condiciones aeróbicas producirán biomasa y en condiciones anaeróbicas producirán alcohol. En la Industria alimentaria se utilizan estas dos condiciones a nivel industrial

FIGURA 6.1: VIA METABÓLICA DE LA FERMENTACION ALCOHOLICA



De este tipo de fermentación son típicos la elaboración de: cerveza, vino, sidra y otros licores fermentados; para obtener pisco, alcoholes y aguardientes en general luego de ser fermentados tienen que ser destilados.

En las Figuras 6.2 y 6.3, se muestran destiladores para aguardiente. En la Figura 6.3 se puede apreciar el sistema con calienta vino.

FIGURA 6.2: EQUIPO PARA LA DESTILACIÓN DE PISCO

FIGURA 6.3: EQUIPO PARA LA DESTILACIÓN DE AGUARDIENTE

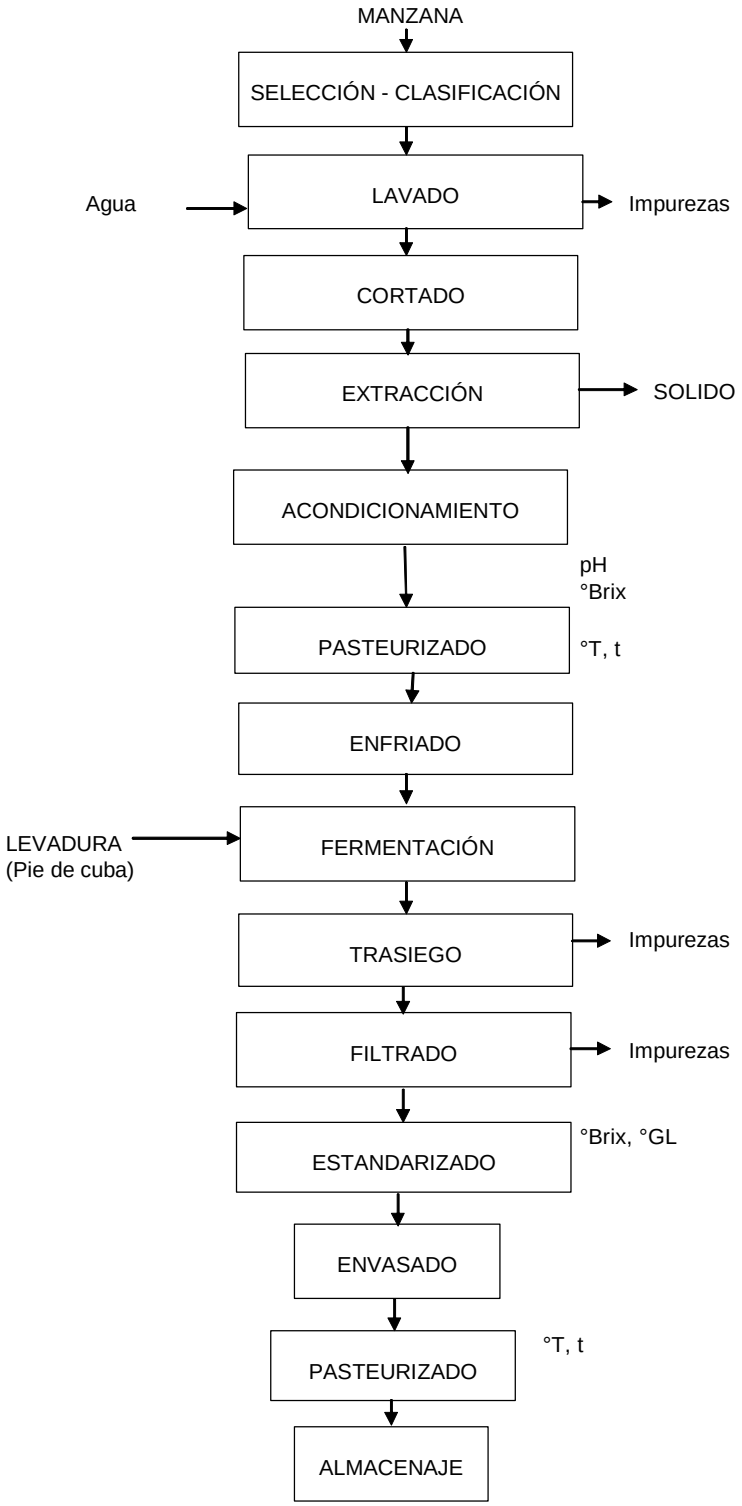
En la Figura 6.4 se aprecia una planta para destilar alcohol, esta está constituida como mínimo para obtener alcohol rectificado por dos columnas una

mostera, una rectificadora y para obtener alcohol extrafino (apto para el consumo humano) se incorpora una repasadora en la cual el alcohol se evapora en un sistema de chaqueta no entrando en contacto el vapor con el producto.

FIGURA 6.4: MÓDULO PARA LA DESTILACIÓN DE ALCOHOL

En la Figura 6.5 se muestra un flujo de operaciones para obtener sidra. .A continuación se dan detalles de las principales operaciones.

FIGURA 6.5: FLUJO DE OPERACIONES PARA ELABORAR SIDRA DE MANZANA



Obtención del substrato

La fruta debe ser sometida a un lavado con la finalidad de eliminar impurezas y luego a una extracción del jugo o zumo utilizando equipos apropiados.

Acondicionamiento del mosto

Consiste en la regulación del medio en el que la levadura actuará. Para ello la concentración de **azúcares en promedio debe estar en 16% y el pH en 4.0.**

Inoculación de la levadura

La cantidad de inóculo debe ser de 5% (V/V) del volumen total de mosto a fermentar, con una concentración de 107 - 108 células/ml. En esta etapa es necesario darle al mosto las condiciones aeróbicas con la finalidad de obtener la biomasa necesaria para empezar el proceso de fermentación.

Fermentación alcohólica

Una vez adicionada la levadura comienza la fermentación alcohólica, la cual se debe llevar a cabo en condiciones anaeróbias y en un rango de temperatura comprendida entre 10 y 15°C por un tiempo de 15 a 20 días

Trasiego

Consiste en separar la levadura del mosto por decantación.

Filtrado

Se realiza a fin de eliminar componentes que dan opacidad al producto.

Estandarizado.

Consiste en regular los °Brix dependiendo del mercado y tipo se sidra, y los °GL que en promedio estarán en el orden del 5% de alcohol

Envasado

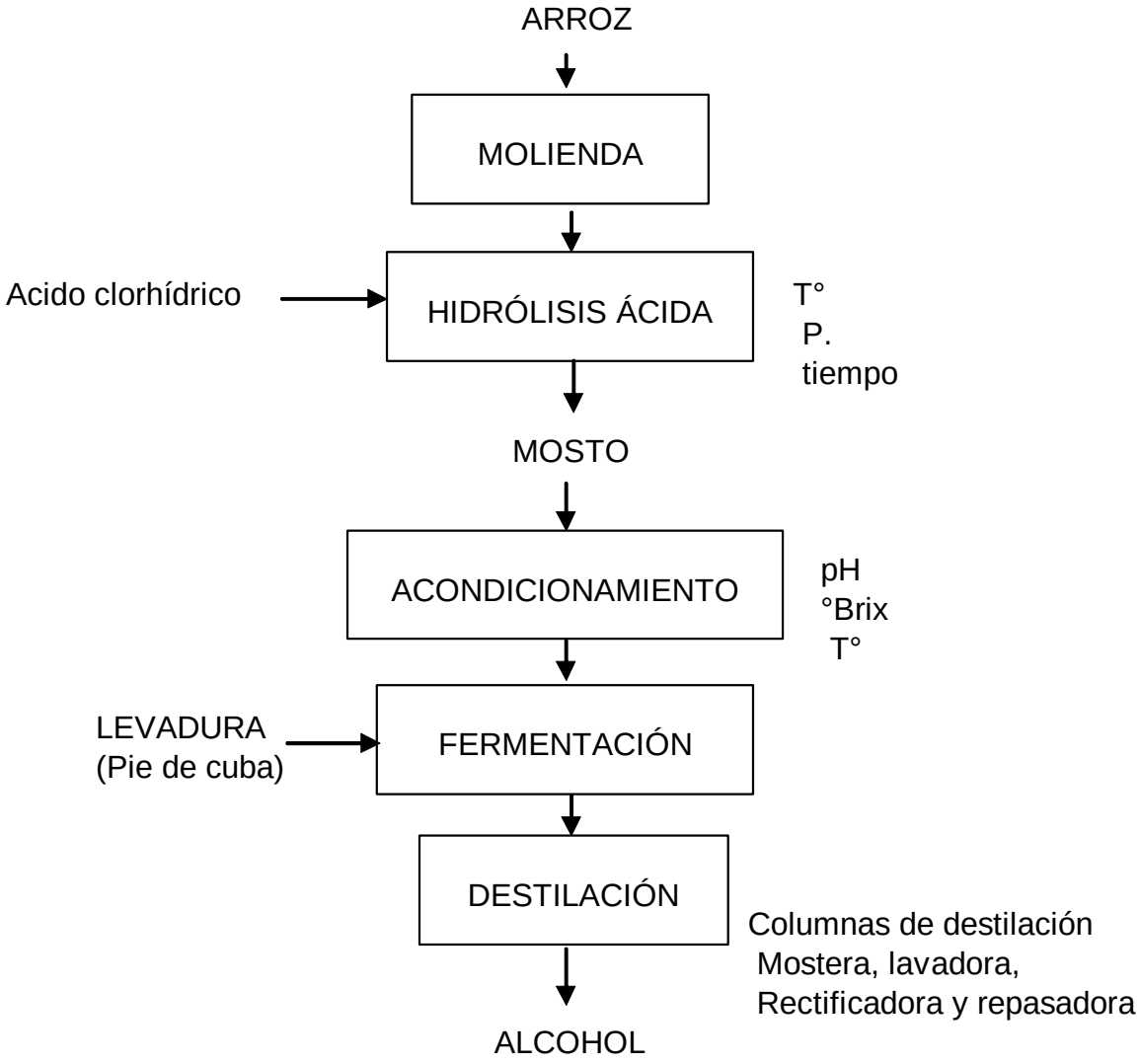
El envasado se realiza en botellas de vidrio.

Pasteurizado

Se realiza a 70 °C por 5 minutos.

En la Figura 6.6 se presenta el flujo de operaciones para obtener alcohol a partir de materias primas amiláceas. La metodología a seguir para la obtención de alcohol a partir de un material amiláceo será: sacarificación, fermentación y destilación. A continuación se dan detalles del proceso.

FIGURA 6.6: FLUJO DE OPERACIONES PARA OBTENER ALCOHOL A PARTIR DE MATERIAS PRIMAS AMILACEAS



SACARIFICACIÓN

Consistirá en la hidrólisis ácida del material amiláceo previa gelatinización del almidón. Para ello se realizará una mezcla con agua la que dependerá del autoclave a utilizar, generalmente es entre 1 de arroz con 2 o 3 de agua. A esta mezcla se adiciona el ácido hasta que reporte 1.5 a 1.7 de pH

FERMENTACIÓN

Acondicionamiento del mosto

Consiste en la regulación del medio en el que la levadura actuará. Para ello la concentración de sólidos solubles debe estar entre 18 y 22 y el pH entre 3.5 y 4.5, y la temperatura en 28°C.

Inoculación de la levadura

La cantidad de inóculo debe ser de 5% (V/V) del volumen total de mosto a fermentar, con una concentración de 10^7 - 10^8 células/ml. Generalmente se utiliza 0.1% de levadura comercial para preparar el pie de cuba.

Fermentación alcohólica

Una vez adicionada la levadura comienza la fermentación alcohólica, la cual se debe llevar a cabo en condiciones anaeróbias y en un rango de temperatura comprendida entre 25 y 30°C.

DESTILACIÓN

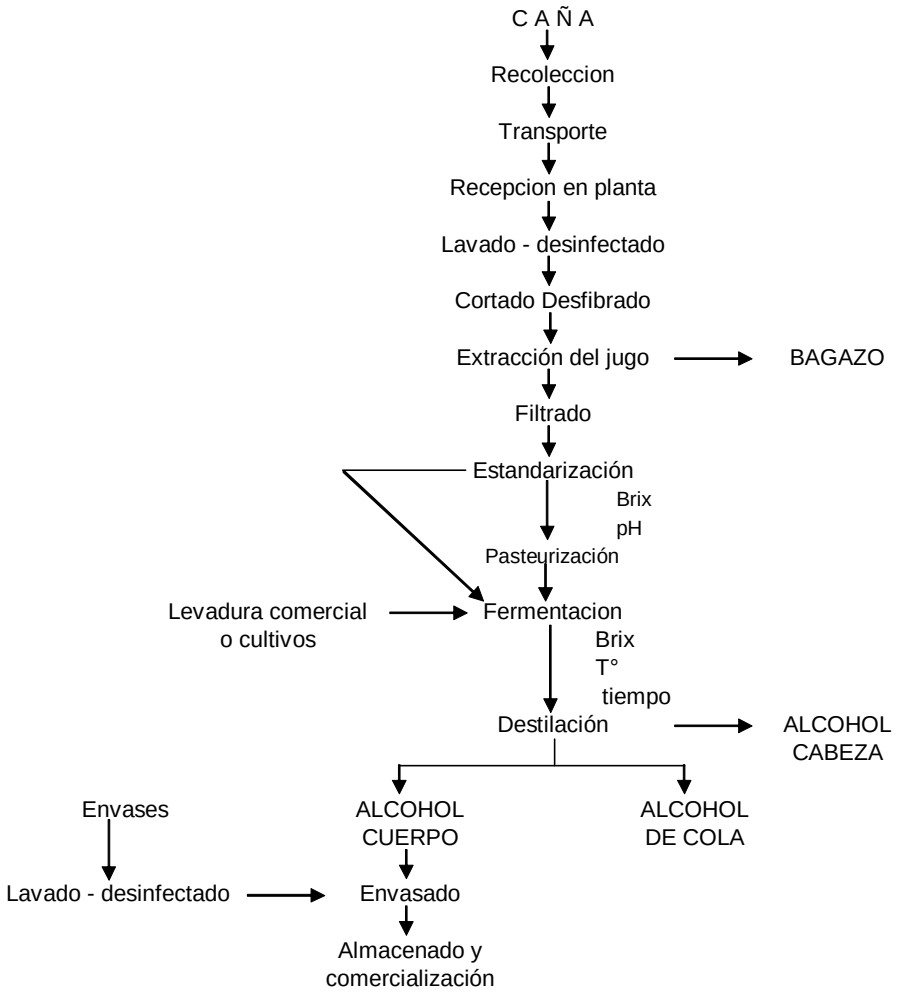
Se procederá a destilar al mosto, para ello se utilizará columnas de destilación fraccionada por la que se hará pasar los destilados para incrementar la concentración de alcohol.

ENVASADO.

El alcohol será envasado en depósitos apropiados.

En la Figura 6.7 se presenta el flujo de operaciones para obtener alcohol a partir de jugo de caña.

FIGURA 6.7: FLUJO DE OPERACIONES PARA OBTENER ALCOHOL A PARTIR DE JUGO DE CAÑA



6.2 FERMENTACIÓN LÁCTICA

El proceso esta gobernado por la siguiente ecuación:

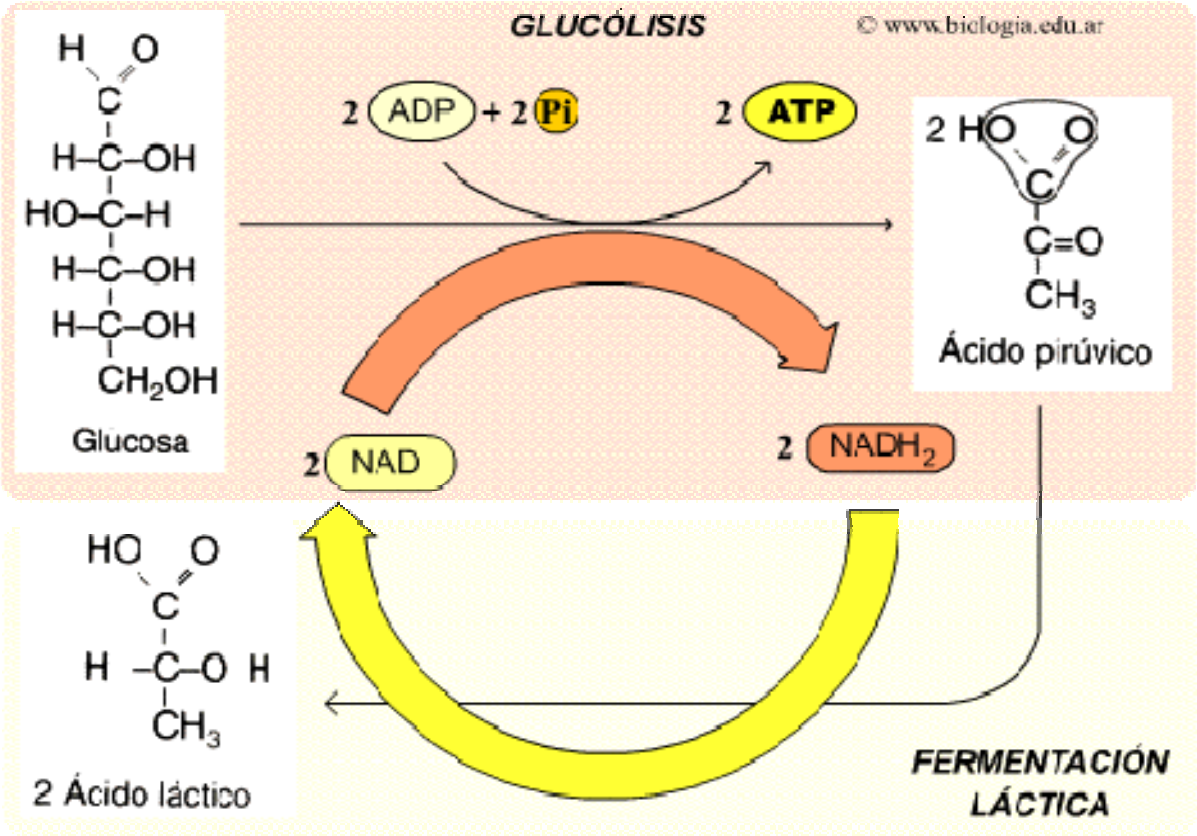
PIRUVATO + NADH + H^+-------> ÁCIDO LÁCTICO + NAD^+

La fermentación láctica es producida por bacterias lácticas, también por algunos protozoos y en el músculo esquelético humano. Las bacterias lácticas son las responsable de la producción de productos lácteos acidificados --->

yoghurt, quesos, cuajada, crema ácida, etc. El ácido láctico tiene excelentes propiedades conservantes de los alimentos.

En la Figura 6.8 se puede apreciar la vía metabólica de la fermentación láctica

FIGURA 6.8: VIA METABÓLICA DE LA FERMENTACION LÁCTICA



La secuencia en la que las bacterias lácticas intervienen en la fermentación viene determinada principalmente por su tolerancia al pH. Así, por ejemplo, en la leche cuando la concentración de ácido láctico alcanza 0.7-1.0% se inhibe el crecimiento de *Streptococcus liquefaciens* apareciendo entonces otras especies que soportan mejor el pH. De forma semejante, en la fermentación de productos vegetales, los lactobacilos tienen mayor poder acidificante que los estreptococos. De los cuatro principales grupos de bacterias lácticas los Streptococcus y los Pediococcus son homolacticos, los leuconostoc son

heterolácticos, mientras que el comportamiento de los Lactobacillus depende de cada cepa.

En algunos tipos de fermentaciones, en especial en las de productos poco ácidos (leche, carne), con objeto de conseguir una elevada concentración en el sustrato de microorganismos y reducir así el tiempo de fermentación e inhibir el crecimiento de gérmenes patógenos y bacterias causantes de alteraciones, para esto se adiciona una determinada cantidad de cultivo starter.

En otro tipo de fermentaciones la flora natural del producto es ya suficiente para provocar un rápido descenso del pH que evite el crecimiento de microorganismos no deseados.

Para el caso de fermentaciones en vegetales (aceituna, encurtidos), se recomienda acidificar el medio para así acelerar a acción de las bacterias lácticas y reducir a lo mínimo la acción de la bacterias Gram$^-$ que de actuar por tiempos prolongados generan CO_2 y como consecuencia se produce un alimento de baja calidad por la presencia de bolsas de aire y aberturas en el tejido debido al aire ocluido

Uno de los ejemplos donde se da una fermentación láctica es durante la elaboración de yogurt que es un derivado lácteo fermentado que resulta del crecimiento de las bacterias: Lactobacillus bulgaricus y Streptococcus thermofilus en leche tibia y se caracteriza por una textura suave delicada y por su sabor sui géneris, desde tiempo remotos el yogurt ha sido consumido por varios países del suroeste del Asia y Europa Oriental.

Las características del yogurt: debe ser un líquido viscoso y suave o un delicado y suave gel uniforme, de textura firme con la mínima sinéresis y de sabor característico.

Tipos de Yogurt. Según Navarrete et al. (1998), teniendo en cuenta el método de elaboración en el mercado se encuentran tres tipos de yogurt:

COAGULADO O AFLANADO. Se le denomina así cuando la fermentación se lleva a cabo en el envase.

BATIDO. Se le denomina así cuando terminada la coagulación, se lleva a cabo un batido y un envasado. El producto en promedio presenta 14 % de sólidos totales.

LIQUIDO. Es el producto en el que la leche pasteurizada presenta un contenido de sólidos totales entre 8 y 9 % y por ello resulta un producto con menor viscosidad.

Teniendo en cuenta el contenido en grasa, al yogur se puede clasificar en:

YOGUR ENTERO. El contendido de grasa de la leche es igual o mayor a 3%

YOGUR PARCIALMENTE DESCREMADO. El contenido de grasa de la leche se encuentra en el rango de 1 a 2.9 % de grasa.

YOGUR DESCREMADO El contenido de grasa esta en el orden del 1%

Teniendo en cuenta el sabor.

YOGUR NATURAL. No incluye en su formulación saborizantes, colorantes y edulcorantes. Si puede emplearse estabilizantes y conservadores.

YOGUR FRUTADO. Cuando se le ha adicionado fruta, y aditivos que la legislación lo contempla.

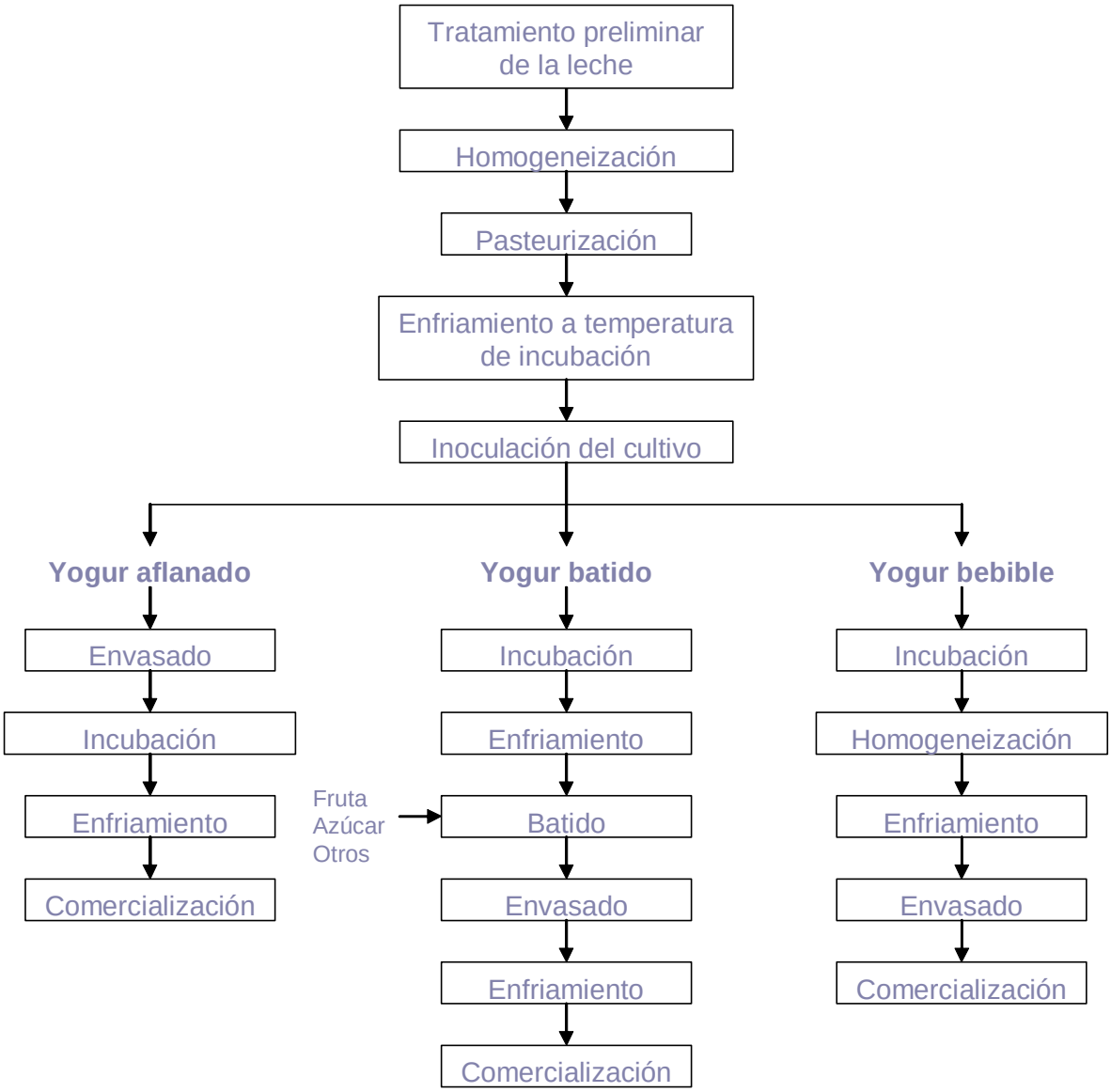
YOGUR SABORIZADO. Cuando tiene saborizantes naturales y/o artificiales y otros aditivos que la legislación lo contempla

En la Figura 6.9 se aprecia el flujo de operaciones para obtener yogurt, el procedimiento consiste en seguir los siguientes pasos:

REGULACIÓN DE LOS SÓLIDOS DE LA LECHE

El contenido de sólidos totales debe estar en el orden del 14%, por lo tanto será necesario adicionar leche en polvo de acuerdo con la siguiente fórmula:

FIGURA 6.9: FLUJO DE OPERACIONES PARA ELABORAR YOGUR AFLANADO, BATIDO Y BEBIBLE



<u>GRASA</u> + <u>*DENSIDAD*</u> + 0.26 = SÓLIDOS NO GRASOS de la leche

5 4

Considerar la centésima y milésima de la densidad. Ejemplo:

Si la densidad es 1.030, considerar 30

Se debe conocer el contenido de grasa y la densidad de la leche.

SOLIDOS TOTALES = SOLIDOS NO GRASOS + GRASA

PASTEURIZACIÓN DE LA LECHE.

El objeto será inactivar la carga microbiana, de preferencia se debe realizar una pasteurización lenta 80 a 85 °C por 20 a 30 min algunos autores recomiendan 90°C por 5 min. Esta operación además contribuye con la coagulación.

SIEMBRA O INOCULACIÓN.

Se procede al enfriamiento de la leche pasteurizada a una temperatura de 45 °C , temperatura ideal para que los microorganismos presentes en el cultivo puedan realizar sus funciones vitales. La proporción del cultivo a adicionar varía en un rango del 1.5 al 3% respecto al total de la leche a emplear.

INCUBACION.

Se incuba a una temperatura comprendida entre 42 y 45 °C por 2.5 a 3.5 horas, dependiendo del cultivo, hasta alcanzar una acidez láctica de 0.8 a 1%

REFRIGERACIÓN.

Inmediatamente después de la incubación la temperatura debe bajarse entre 1 a 4 °C, por 24 horas, durante esta etapa se desarrolla el aroma.

BATIDO

Se efectúa con el objeto de romper el coágulo formado y para obtener la consistencia del yogurt deseada. Durante esta etapa se debe adicionar la base de fruta en una relación del 10 al 15% del total de producto obtenido o azúcar entre el 8 al 10% (este contenido de azúcar puede adicionarse durante la pasteurización). También se puede resaltar con colorante y saborizante.

ENVASADO

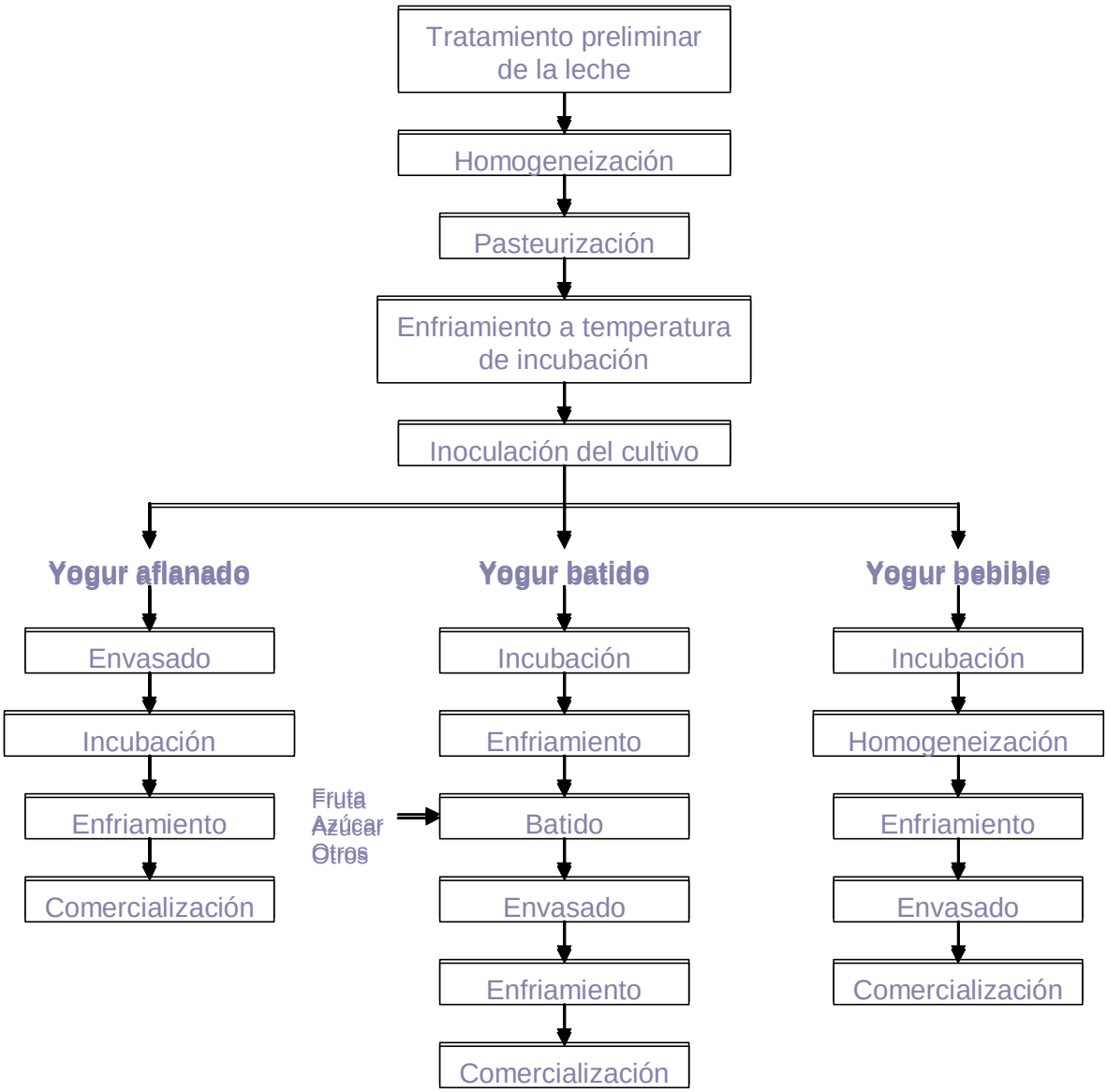
El envasado se realiza en recipientes acordes con la aceptación del mercado consumidor

ALMACENAMIENTO

El producto obtenido puede conservarse por 3 a 5 semanas, siempre que éste

se conserve entre 3 a 5 °C

FIGURA 6.8: FLUJO DE OPERACIONES PARA ELABORAR YOGUR AFLANADO, BATIDO Y BEBIBLE



6.3 FERMENTACIÓN ACÉTICA

La fermentación acética se puede definir como un proceso aerobio de oxidación; mediante el cual, un sustrato con bajo contenido en etanol (50-100 gr/lt) es oxidado parcialmente por las bacterias acéticas para dar ácido acético y agua.

Existen diferentes métodos para la obtención de ácido acético, estos son:

❖ ***Método Orleáns**:* El medio a transformarse se coloca en toneles de roble rellenos hasta las 3/4 partes, posterior al desarrollo de la madre todo el etanol se habrá transformado en ácido acético, se renuevan 2/3 del medio, teniendo buen cuidado de conservar el velo superficial microbiano.

Este método se utiliza para producir pequeñas cantidades de vinagre de vino o de sidra y de calidad.

❖ ***Método Rápido**:* En este método, el medio alcohólico fluye lentamente sobre virutas de madera que haya en el interior de una cuba cilíndrica. Las bacterias acéticas se desarrollan en la superficie de las virutas donde se encuentra en condiciones favorables para oxidar el etanol. El líquido en fase de acetificación se recicla hasta el agotamiento del etanol. Se mejora el proceso por aireación forzada y controlando la temperatura.

La producción media de los aparatos es e 5 litros de etanol transformado por m^3 y por día, con un rendimiento del 85 al 90%.[1]

ELABORACIÓN DE VINAGRE

El vinagre, una solución acuosa de ácido acético, se obtiene mediante la fermentación por oxidación de una solución diluida de etanol. El proceso metabólico se basa en la conversión del etanol, bajo la acción de alcohol

deshidrogenasa, en acetaldehído y del acetaldehído hidratado en ácido acético por la acción del acetaldehído deshidrogenasa.

La formula que rige esta conversión es la que a continuación se muestra.

C_2H_5OH -> CH_3CHO + H_2O-> $CH_2CH(OH)_2$ -> CH_3COOH + H_2O

Las materias primas para la obtención del vinagre pueden ser: Materias primas que previamente han sido fermentadas de azúcares a alcohol, como es el caso de vino, sidra y fermentaciones alcohólicas de otros vegetales. También se puede partir de etanol purificado diluido. En ambos casos se debe tener en cuenta que la bacteria acética (Acetyobacter aceti)requiere condiciones apropiados también en nutrientes, así que se le debe dar una fuente de nitrógeno, fósforo, azufre (combinación apropiada de minerales)

Las bacterias ácido acéticas que oxidan el etanol a ácido acético y pueden existir a valores bajos de pH son los géneros acetobacter y gluconobacter que se encuentran estrechamente relacionados. Los cultivos puros de estos Micoorganismos se caracterizan por su alto grado de variabilidad y los cultivos industriales se seleccionan en función de que toleren una acidez elevada y de que las velocidades de producción de ácido sean altas.

La bacteria acética formará una capa que estará suspendida en la superficie del líquido, la que habrá que cuidar que no se caiga, ya que si esto ocurre la fermentación se detendrá hasta que se forme nuevamente la capa. Debe evitarse los movimientos bruscos del tanque, debiéndose hacer el retiro del vinagre ya elabora por la parte inferior y la introducción del mosto alcohólico mediante un dispositivo que no mueva la capa.

El control de la fermentación se hace mediante la determinación de la acidez acética, esto es muy importante ya que determina el punto final de la fermentación, el cual se da cuando la acidez ya no aumenta.

La determinación del punto final de la fermentación es muy importante porque sino eliminamos la bacteria acética una vez terminada la fermentación, esta al no encontrar alcohol seguirá un proceso de oxidación del ácido acético formando finalmente agua y anhídrido carbónico.

- ***Separación del vinagre y Carga con nuevo Mosto Alcohólico**:* Una vez determinado el punto final de la fermentación, cuando se fermenta en batch, especialistas recomiendan separar la mitad del vinagre dejando la otra mitad para que sirva de inoculo al nuevo mosto alcohólico, el cual será adicionado en la misma proporción que el vinagre que fue retirado del tanque de fermentación.

- ***Clarificación:*** Si el vinagre está muy turbio será necesario utilizar ciertos clarificantes como la bentonita.

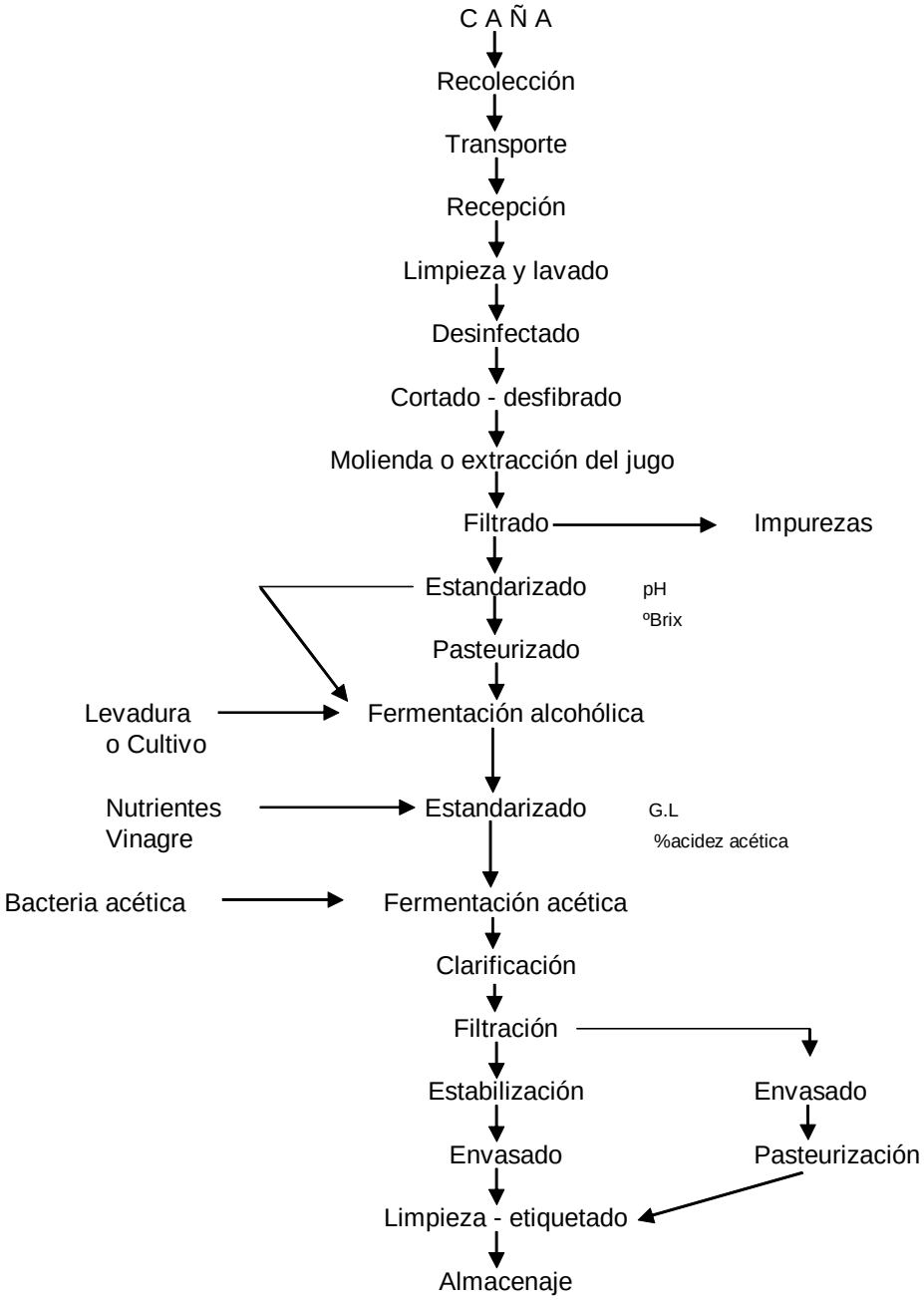
- ***Filtrado**:* Se realiza para eliminar los sólidos y los clarificantes utilizados y dejar el vinagre claro y transparente. Para realizar esta operación se utiliza un filtro prensa a nivel industrial o uno de tela o lana o de algodón a nivel artesanal.

- ***Estabilizado**:* Para evitar que la bacteria acética vuelva a desarrollar y transforme el ácido acético en agua y anhídrido carbónico es necesario darle un tratamiento al vinagre que inactive a esta bacteria. Este tratamiento puede ser una pasteurización, lo cual no es muy práctico; o la adición de metabisulfito de sodio en cantidades promedias de 35 mg/l y la sal que se usa en la proporción de 1 gr/l.

- ***Embotellado**:* Una vez estabilizado el vinagre se procede al embotellado en botellas de vidrio o de plástico.

En la Figura 6.9 se presenta el flujo de operaciones para elaborar vinagre a partir del jugo de caña. Como se aprecia el proceso consiste primero en obtener el jugo, a este jugo fermentarlo en condiciones anaeróbicas y luego darle una segunda fermentación en condiciones aeróbicas.

FIGURA 6.9: FLUJO DE OPERACIONES PARA OBTENER VINAGRE A PARTIR DE JUGO DE CAÑA



VII. BIBLIOGRAFIA

1 ARTHYE, D. 1991. Vegetable Processing Blackie. London. Inglaterra.

2 BADUI, S. 1984. Química de los Alimentos. Segunda Edición. Editorial Alhambra Mexicana S. A. México. D.F. México.

3 BANLIEU, J. 1969. Elaboración de Conservas Vegetales. Editorial Sintes. Barcelona. España. 214p

4 BARBOSA –CANOVAS, G.; POTHAKAMURY, U.; PALOU, E.Conservación No Térmica de Alimentos. Editorial Acribia- saragoza. España

5 BENNION, J.; BUTTERS, J.; COWELL, N; LILLY, A. 1980. Las operaciones de la Ingeniería de alimentos. Editorial Acribia Saragoza. España.

6 BROOKER, K.; BAKKER-ARKEMA, F; HALL, C. 1992. Drying and storage of grains and oil seeds. USA.

7 BRUINSMAN, D.; WITSENBURG, W; WUDERMANN, W. 1985. Selection of technology food processing in developing countries. USA.

8 BURGEOIS,C.; MESCLE.; J.; ZUCCA.; J. 1994. Microbiologia Alimentaria Volúmen I Editorial Acribia. Zaragoza-España

9 CASP, A. Y ABRIL, J. 1999. Procesos de Conservación de Alimentos. Madrid Vicente Ediciones. Ediciones Mundi-Prensa. España.

10 CHARLEY, H.1987. Tecnología de Alimentos. Primera Edición. Editorial Limusa S.A. México.

11 CHEFTEL, J - C.; CHEFTEL, H. 1980. Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos. Tomo I. Editorial Acribia saragoza. España.

12 CHEFTEL, J – C.; CHEFTEL, H.; BENSANCÓN, P. 1983. Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los alimentos. Tomo II. Editorial Acribia Saragoza. España.

13 DESROSIER, A. 1994. Introducción a la Tecnología de los alimentos. Editorial CECSA. México.

14 DONDERO M. 1990. Bioquímica y tecnología de la aplicación del frío

en alimentos. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile; pp 37-38, 41-43

15 FELLOWS, P. 1994. Tecnología del procesamiento de Alimentos. Principios y problemas. Editorial Acribia saragoza. España.

16 FENNEMA, O. 1993. Química de los alimentos. Editorial Acribia – España Zaragoza:. 1095 p.

17 FENEMA, O. 1985. Introducción a la Ciencia de los Alimentos. Tomo I y II. Editorial Reverté. España.

18 GUEVARA, A. 2007. Elaboración de Licores. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú.

19 GUEVARA, A. 1996. Conservación de los Alimentos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú.

20 GUEVARA, A. 1996. Tecnología Post-Cosecha. Industrialización de la Aceituna. UNALM-FIAL. Lima-Perú.

21 GUEVARA, A. 2001. Sanidad e Higiene en Plantas Agroindustriales. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.

22 IPEN. 2008 Planta de irradiación multiuso. Ministerio de Energía y minas. www.ipen.gob.pe/

23 JAY, J. 1994. Microbiología Moderna de los Alimentos. Tercera Edición. Editorial Acribia. España.

24 KNORR, D. 1994. Hydrostatic pressure treatment of food: microbiology. Ch. 8 in New methods of food preservation, G.W. Gould. Blackie Academic & Proffessional. pp. 159-175

25 MEYER, M. Y PALTRIENIEM, G. 1989. Elaboración de frutas y hortalizas. Editorial Trillas. México.

26 OBREGÓN, A. 2001. Efecto de la temperatura sobre la textura de mandarina (citrus unshiu) en almibar. Tesis para optar el Grado de Magíster en Tecnología de Alimentos. Escuela de Post grado Universidad Nacional Agraria – La Molina- Lima

27 PURSLEY, W. 1993. Saneamiento/higiene en el procesamiento de los alimentos. USA.

28 KNORR, D. 1994. Hydrostatic pressure treatment of food: microbiology. Ch. 8 in New methods of food preservation, G.W. Gould. pp. 159-175. Blackie Academic & Professional

29 QUITRAL, V.; ABUGOCH, L.;VINAGRE, J.; Y LARRAÍN, M, 2001. Efecto de tratamientos térmicos sobre el contenido de lisina disponible en carne de jaiba mora (Homalaspis plana). Archivos Latinoamericanos de Nutrición. V (51) Nº 4

30 QUITRAL, V.; ROMERO, N.; ÁVILA, L.; MARÍN, M.; NUÑEZ, H. Y SIMPSON, R. 2006 Retención de Tiamina como Función de las Condiciones de Proceso Térmico en Salmón en Conserva. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. V (56) Nº 1

31 RANKEN, M. 1993. Manual de la Industria de los Alimentos. Segunda Edición, Editorial Acribia. España.

32 RAUCH, G. 1970. Fabricación de Mermeladas. Editorial Acribia. España.

33 REES, J. Y BETTINSON, J. 1994. Procesado Térmico y Envasado de los Alimentos. Editorial Acribia. España.

34 SEGURA, A. 2006. Aplicación de Tomografía de Impedancia Eléctrica Como Sensor en Calentamiento ómhico de Alimentos Fluidos con Partículas. Universidad Nacionale de Quilmes. Argentina.

35 TAKAHASHI, K.; ISHII, H.; ISHIKAWA, H. 1993. Sterilization of bacteria and yeasts by hydrostatic pressurization at low temperature. En: High pressure science for food. Ed. Hayashi, R. pp 225-232. Kyoto.

36 THOMPSON, A. 2003 Almacenamiento en atmósferas controladas de frutas y hortalizas. Editorial Acribia. Zaragoza -España.

37 VARMAN, A.; SUTHERLAND, J. 1997. Bebidas Tecnología Química y Microbiológica – Serie Alimentos Básicos. Edit. Acribia – Zaragoza – España.

38 ZANDER, K. 1980. Some safety aspects of wire-wound pressure vessels and press frames for isostatic pressing and industrial applications in general. Proc. 4th Int. Conf. on Pressure Vessel Technology, 549-560.

39 Zimmerman, F.; Bergman, C. 1993. Isostatic high-pressure equipment for food preservation. *Food Technol.* 47(6), 162-163.