



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

LA LIOFILIZACION COMO METODO DE CONSERVACION DE ALIMENTOS

TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
QUIMICA DE ALIMENTOS
PRESENTA:

LILIANA OZUNA MARTINEZ



291.776



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA

MEXICO, D. F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado asignado

Presidente	Prof. Federico Galdeano Bienzobas
Vocal	Prof. Lucia Cornejo Barrera
Secretario	Prof. Luis Orlando Abrajan Villaseñor
1er sup	Prof. Leticia Gil Vieyra
2do sup	Prof. Ismael Bustos James

Sitio donde se desarrolló el tema:

Departamento de Alimentos y Biotecnología UNAM

Asesora:



M. en C. Lucia Cornejo Barrera

Sustentante:



Liliana Ozuna Martínez

Dedico este trabajo de tesis a mi padre que con su apoyo incondicional y amor Permitió llegar a titularme.

También a el apoyo y dedicación de mi asesora.

Y gracias a Dios.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO	3
CAPITULO 1	4
⊗Teoría de la liofilización	4
⊗La materia y su comportamiento	4
⊗Propiedades coligativas de las soluciones	4
⊗Mecánica de la cristalización	8
⊗Transmisión de calor	9
⊗Sistemas de vacío	11
⊗Equipo de liofilización	12
⊗Sistemas de condensación	13
⊗Sistemas de calefacción	13
⊗Sistemas de medición y control	13
⊗Secadores dinámicos	15
⊗Secadores de placas circulares	15
⊗Instrumentos de medición y control	16
⊗Medición de vacío	17
CAPITULO 2	18
⊗Congelación y liofilización	18
⊗Agua de los alimentos	19
⊗Liofilización de alimentos	19
⊗Fundamento de la liofilización	20
⊗Proceso de liofilización	21
⊗Alimentos líquidos y semilíquidos	24
⊗Velocidad de transferencia de calor	28
⊗Velocidad de transferencia de masa	28
⊗Deshidratación convencional y la liofilización	29
⊗Aplicaciones	31
⊗Aspectos económicos	31
⊗Desarrollo del proceso de liofilización de alimentos	31
⊗Selección de materia prima	31
⊗Costos de liofilización	31
⊗Coadyuvantes de la preparación y del pretratamiento	38
⊗Alimentos adecuados para liofilizar y casos de aplicación	39
⊗Efecto de la adición de maltodextrina y lactosa en la obtención de jugo de frambuesa liofilizado a dos temperaturas de procesamiento	39
⊗Determinación de esteres de ácido ptáico en materiabiológica por hplc	40
⊗Transición, plasticidad de agua y cristalización de lactosa en leche en polvo	41

⊗ Optimización de huevo deshidratado por microondas mediante liofilización e incorporación hidrocoloide	41
⊗ Estabilización de biomateriales lábiles mediante deshidratación en matrices protectoras	42
⊗ La liofilización de productos farmacéuticos	43
⊗ Ventajas y desventajas de la técnica de liofilización	43
⊗ Efecto sobre los alimentos	44
⊗ Efecto de la liofilización sobre las proteínas	45
⊗ Liofilizadores	47
⊗ Instrumentación	47
⊗ Instalaciones tipos de liofilizadores	48
⊗ Liofilizadores discontinuos	51
⊗ Unidades de cabinas múltiples	54
⊗ Liofilizador de túnel	54
⊗ Otros sistemas de liofilización de alimentos	55

Capítulo 3 56

⊗ Deshidratación	56
⊗ Métodos de deshidratación	56
⊗ Deshidratación por atomización	59
⊗ Deshidratación al vacío:	59
1) El proceso de liofilización acelerada	59
2) El proceso neocelandés	60
3) El sistema canadiense	60
⊗ Máquinas de deshidratación utilizadas para alimentos	61
⊗ Deshidratadores de cadena artesana	61
⊗ Armarios o cámaras de deshidratación	62
⊗ Deshidratadores continuos de cadena transportadora	63
⊗ Deshidratadores de tambor	63
⊗ Deshidratadores de acabado	64
⊗ Deshidratadores de lecho fluidizado	65
⊗ Deshidratadores de torre	65
⊗ Secaderos de corriente superficial	66
⊗ Deshidratadores de armario	67
⊗ Deshidratadores de túnel	68
⊗ Deshidratadores portátiles	69
⊗ Deshidratadores rotativos	69
⊗ Deshidratadores espirales	70
⊗ Deshidratadores de nebulización o atomizadores	70
⊗ Mecanismo de atomización	71
⊗ Cámara de deshidratación	72
⊗ Deshidratadores de corriente de aire a través del lecho	73
⊗ Deshidratadores de turbina	74
⊗ Deshidratadores de vacío	74
⊗ Tipo armario	74
⊗ Tipo de placa de contacto	75
⊗ Tipo continuo	75

Ⓞ Liofilizadores	76
Ⓞ El deshidratador de carne neocelandés	77
Ⓞ Dehidrocongelación	78
Ⓞ La conservación de alimentos por deshidratación	79
Ⓞ Factores que regulan la deshidratación	79
Ⓞ Tratamientos a los cuales se someten los alimentos antes de su deshidratación	80
Ⓞ Deshidratación durante el sulfurado	81
Ⓞ Durante la deshidratación	82
Ⓞ Después de la deshidratación	83
Ⓞ Vegetales deshidratados	83
Ⓞ Sistemas de deshidratación	85
Ⓞ Instalación de secado	86
Ⓞ Deshidratación de frutas	87
Ⓞ Deshidratación de hortalizas	90
Ⓞ Deshidratación de la carne	91
Ⓞ Estabilidad de las grasas en las carnes deshidratadas	92
Ⓞ Deshidratación de la leche	93
Ⓞ Cambios por deshidratación	95
CONCLUSIONES	98
BIBLIOGRAFIA	99

INTRODUCCIÓN

La liofilización se ha usado como método de conservación durante muchos años, pero fue durante la segunda guerra mundial cuando se desarrollo todo su potencial como método de conservación del plasma sanguíneo.

En alimentos es una técnica reciente que se viene aplicando y siendo objeto de numerosos estudios desde hace unos 30 años, es un método de deshidratación en el que los productos se someten a un congelado y alto vacío, produciendo una sublimación del agua, la sublimación es endotérmica y el calor de sublimación es del orden de 680 Kcal / Kg de agua.

Los alimentos liofilizados son muy porosos de esta propiedad se desprende que son muy fáciles de reconstituir las pérdidas de color, aroma, sabor y textura son menores y su calidad nutricia se conserva resisten mas el almacenamiento que cualquier método comercial de conservación, se detienen las reacciones químicas y enzimáticas.

En el proceso de liofilización es importante constatar la transferencia de calor que aporta la energía necesaria para la transformación de agua a vapor y la transferencia de vapor de agua a través y fuera del alimento

La liofilización es muy utilizada en la industria farmacéutica para la deshidratación de productos termolábiles como vacunas, antibióticos, sangre, cepas de microorganismos.

A causa de su costo elevado la liofilización se emplea poco en la industria de alimentos. Los alimentos que más se liofilizan son: café en polvo, champiñones, trozos de carne, legumbre para sopas deshidratadas.

Los alimentos liofilizados son muy higroscópicos y porosos lo que obliga a un embalaje rigurosamente estático, bajo vacío o en atmósferas de nitrógeno, esto contribuye a aumentar su costo.

La mayoría de alimentos se pueden liofilizar, sin embargo es más fácil de aplicar a alimentos con más de un 45 % de peso en agua, deben ser de tamaño pequeño, los alimentos ricos en grasa no son muy adecuados para la liofilización, ya que al aplicar calor en la superficie se funde la grasa y forma una capa de aislante inhibiendo la

difusión de vapor de agua de la superficie. Los alimentos ricos en azúcares no se deben liofilizar ya que se vuelven viscosos y difíciles de manipular cuando se aplica calor.

La liofilización se ha demostrado que es destacadamente útil en mariscos pequeños como camarones y langostinos. Un alimento liofilizado correctamente y envasado se conserva durante más de 12 meses sin apenas modificaciones de su valor nutricional y sus características organolépticas, de esto nace el interés de realizar un trabajo para conocer los principios básicos de la liofilización y cuál es su aplicación en la industria de alimentos como método de conservación.

CAPÍTULO UNO

TEORÍA DE LA LIOFILIZACIÓN

La materia y su comportamiento

Normalmente la materia existe en algunos de los tres estados; sólido, líquido o gas. Hay dos factores que determinan la posición de la materia dentro de la escala de estados; la intensidad de fuerzas intermoleculares de todos tipos y la temperatura

Cuando un sólido absorbe calor, al llegar a cierto nivel de su entalpía, cambia al estado líquido, si éste continua aumentando, al llegar a un nivel más alto, cambia al estado gaseosos.

Cuando un sólido cambia al estado líquido pueden ocurrir dos tipos de fusión:

Fusión cristalina: coexisten la forma sólida y la líquida, el sólido que aún no funde, conserva todas las propiedades de los sólidos.

Fusión amorfa: implica una condición intermedia de toda la masa que toma características plásticas antes de pasar a la forma líquida.

Propiedades coligativas de las soluciones

Cuando una sustancia, se disuelve en un solvente, la solución resultante manifiesta propiedades distintas a las del soluto o el solvente puro.

Las propiedades coligativas dependen del número de partículas de soluto que se encuentran en solución. A medida que las concentraciones de las soluciones aumentan, suelen encontrarse desviaciones, del comportamiento ideal.

Son cuatro las principales propiedades coligativas de una solución:

- a) Presión osmótica
- b) Disminución de la presión de vapor
- c) Elevación del punto de ebullición
- d) Disminución del punto de congelamiento

Presión osmótica

La difusión es un fenómeno espontáneo, más perceptible en los gases, la difusión siempre se hace de regiones de alta concentración a regiones de baja concentración. Cuando la difusión de un líquido se efectúa a través de una membrana semipermeable, a dicho fenómeno se le llama presión osmótica, es directamente proporcional a la concentración del soluto, y al número de partículas del mismo.

Disminución de la presión de vapor

Cuando un soluto volátil, se disuelve en un solvente, hay una baja de la presión de vapor, con respecto a la del solvente puro. Las moléculas de soluto han quedado homogéneamente mezcladas con las del solvente, en la superficie de la solución sucede lo mismo, algunas moléculas tienen baja tendencia de escape, consiguientemente se produce una disminución en la cantidad de moléculas que abandonan el líquido y que son las que ejercen la presión de vapor.

Elevación del punto de ebullición

Conociendo el efecto anterior, y teniendo en mente que la presión de vapor aumenta al aumentar la temperatura, se puede graficar las presiones de vapor contra la temperatura del solvente y de una solución cualquiera obteniendo una gráfica como la mostrada en la figura 1.

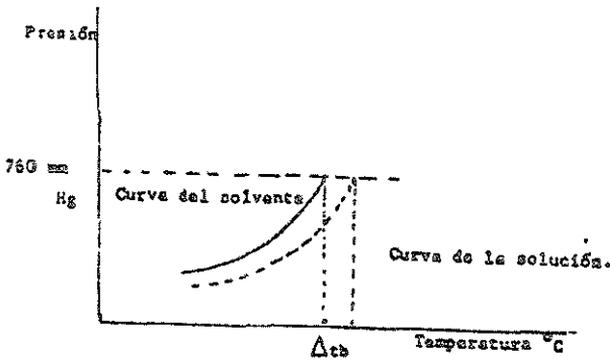
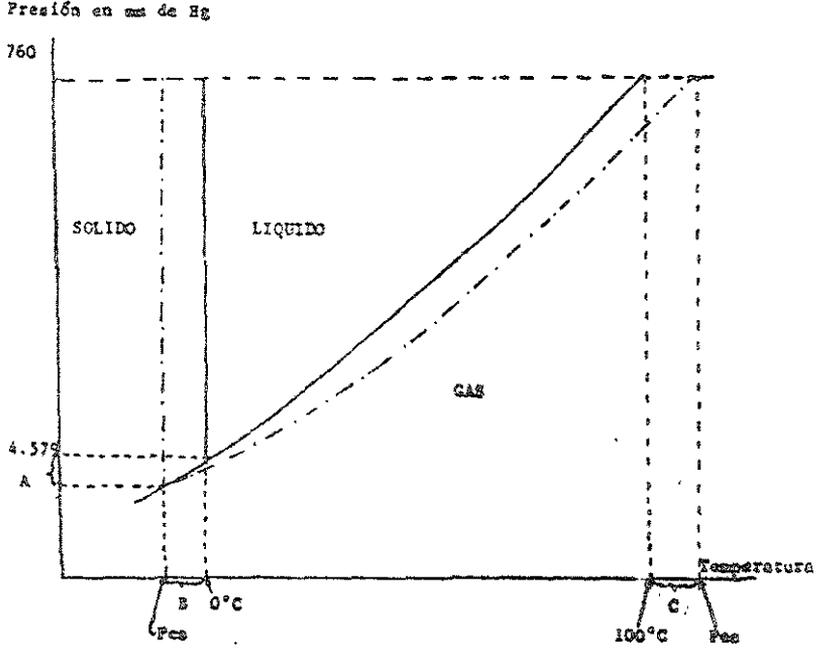


Figura 1 Representación de la variación de la presión de vapor, para un solvente puro y para una solución en función de la temperatura, donde T_b es el aumento en el punto de ebullición.

Disminución del punto de congelamiento

El punto de congelamiento de un solvente es la temperatura en la que las presiones de vapor de la forma sólida y de la forma líquida son iguales o en otras palabras; es la temperatura en la que coexisten en equilibrio las fases, sólida y líquida de una sustancia. El punto de congelamiento de una solución es la temperatura en la que coexisten en equilibrio la solución en su forma líquida con el solvente en forma sólida, puesto que se sabe que la presión de vapor de una solución es siempre menor a la del solvente puro o igualmente la temperatura es menor a la del solvente puro.

A continuación se muestra un diagrama de fases para agua y una solución acuosa:



- A = disminución de la presión de vapor
- B = disminución del punto de congelamiento
- C = aumento del punto de ebullición
- Pcs = punto de congelación de la solución
- Pcs = punto de ebullición de la solución

Figura 2 Diagrama de fases (presión de vapor vs temperatura) del agua y de una solución acuosa

Mecánica de la cristalización

La cristalización a partir de una solución es un ejemplo de la creación de una nueva fase dentro de una mezcla homogénea. El proceso tiene lugar en dos etapas, formación del cristal o nucleación y el crecimiento del cristal. El potencial impulsor de ambas etapas es la sobresaturación.

Los factores que interaccionan en la cristalización son la concentración y la temperatura (la viscosidad sería un tercer factor).

Según la teoría de Miers, no puede haber nucleación heterogénea sin la existencia de una solución sobresaturada. Para una condición dada de la nucleación heterogénea se puede establecer una curva localizada en la zona de sobresaturación y que es paralela a la habitual curva de solubilidad. (Mc Cabe, 1964)

En la figura 3 se aprecia esta teoría. Una solución en las condiciones del punto "A" (infra-saturada) requiere un gran descenso en la temperatura para poder cristalizar; una solución en el punto "B" es metaestable. Una solución en el punto "C" cristaliza espontáneamente bajando su concentración hasta "D".

La nucleación y cristalización implican un descenso en el nivel de energía libre, estos fenómenos son exotérmicos; en general puede considerarse que la cristalización es un fenómeno inverso a la solubilización.

En la liofilización no debe excederse nunca la concentración eutéctica, para evitar la formación de matrices de sal.

Transmisión de calor

Existen tres tipos fundamentales de transmisión de calor, la conducción, convección y radiación. La transmisión de calor por conducción es la más usada en la liofilización. Este tipo de transferencia de calor se expresa por la ley de Fourier.

$q = U A \Delta T$ donde

q = cantidad de calor por unidad de tiempo

U = coeficiente total de transferencia de calor

A = área de transferencia

ΔT = gradiente de temperatura

Congelación

Existen infinidad de variantes para congelar un producto, pero todas son modificaciones de tres métodos fundamentales:

- a) congelación en placas por evaporación de un gas refrigerante
- b) congelación centrífuga por evaporación de un líquido
- c) congelación por inmersión en un líquido refrigerante

Congelación en placas: consiste en placas metálicas sobre las que descansa el producto, mismas que están en íntimo contacto con un serpentín en donde al evaporarse un gas, tiene lugar gran absorción de calor.

Congelación centrífuga: Se basa en el hecho de que al hacer vacío en un dispositivo que contenga una muestra, y se alcance a igualar la presión de vapor, dicha muestra hierve, y al hervir se enfría puesto que toma energía de sí misma.

Congelación por inmersión: El producto se pone en contacto con alcohol, acetona o alguna salmuera enfriada a una temperatura suficientemente baja. Una variante muy usada cuando se van a liofilizar cantidades grandes en un recipiente, es el congelamiento

en cilindros; consiste en hacer girar los dispositivos que contienen la salmuera, sobre un eje horizontal, a 100 rpm. Mientras se encuentran parcialmente sumergidos en un líquido refrigerante.

Sistemas de refrigeración

Un sistema mecánico de refrigeración consta de las siguientes partes:

1. Un evaporador, en él se efectúa el cambio de fases del fluido refrigerante
2. Un compresor mecánico (de pistones o rotativo) que aspira los vapores producidos en el evaporador, los comprime y envía al condensador.
3. Un condensador
4. Un depósito para retener momentáneamente el gas refrigerante licuado
5. Un regulador del paso del líquido al evaporador; manual o automático, es básicamente una válvula de sección variable (válvula de expansión)

Las unidades empleadas en sistemas refrigerantes son las toneladas estándar, un sistema de una tonelada es el que puede absorber 12,000 BTU por hora. Hay básicamente dos tipos de compresores, los de desplazamiento positivo de tipo recíprocante, y los centrífugos: el primero es el más usado en la liofilización.

Los gases más usados para refrigeración en los liofilizadores son: el Freón 12, el Freón 22, el Freón 13 y el 13 B ;

Sistemas de vacío

El sistema de vacío es indispensable en la liofilización para evacuar la cámara de secado rápidamente sin permitir que el material precongelado funda, después de esto reducir la presión progresivamente hasta el vacío deseado y mantenerlo en ese nivel.

El equipo de vacío puede ser, bombas de difusión, bombas rotatorias o un sistema de eyectores de varios pasos. (Enciclopedia de Química, 1970)

Bombas rotatorias: son de desplazamiento rotativo en uno o dos tiempos, para evitar la reexpansión de cualquier gas que haya quedado en su interior después del golpe de compresión, es preciso reemplazar el gas por aceite obturador no compresible que generalmente se introduce a través de la junta del eje, estando sumergida la bomba en un tanque de aceite, con el tiempo el aceite se mezcla con los gases y pequeñas gotas de agua, entonces debe ser reemplazado

Bombas de difusión: llamadas de condensación se emplean casi tanto como las rotatorias. Las más perfeccionadas tienen medios para la purificación continua del fluido operante. Pueden utilizarse muy diversos fluidos tales como, mercurio, aceites pesados de petróleo, ésteres ftálicos, hidrocarburos clorados y aceites de silicones, éstos tienen la ventaja de no oscurecerse o perder eficacia cuando se exponen calientes a la atmósfera. (Foust, 1968)

Eyectores: Estos dispositivos tienen un diseño sencillo y son fáciles de operar su característica exclusiva es que el fluido de trabajo se mezcla con el fluido que va a ser comprimido. El fluido de trabajo aire o vapor a alta presión se alimenta a través de una boquilla dentro de una cámara de vapor donde entra en contacto con los gases o vapores que lo rodean.

Equipo de liofilización

Cualquier equipo para liofilizar, consta fundamentalmente de cinco elementos indispensables:

1. El sistema de congelamiento
2. El sistema de vacío
3. El sistema de condensación
4. El sistema de calefacción
5. Sistema de medición y control

Sistema de congelamiento

El sistema de congelamiento es muy importante ya que de ello depende la obtención de un producto con características adecuadas para poder procesarse posteriormente. Para productos como carne molida, vegetales, la congelación se hace por inmersión en fluidos líquido fríos (túneles de aire frío), en bandas metálicas refrigeradas o por congelación evaporativa al vacío.

Para soluciones se emplean extractos, con un contenido de sólidos de 25 a 50% que son congelados empleando dispositivos para producir hielo en escamas. Para obtener la densidad requerida se introduce una corriente de gas inerte o aire que se mezcla con las escamas, obteniéndose una más suave (como nieve) que posteriormente se enfría aún más para endurecerla, y se muele en molinos de martillos hasta obtener un granulado adecuado (0.5 a 2 mm). Otro método es colocar el producto en charolas que están colocadas en carros transportadores, mismos que son llevados a un cuarto de refrigeración a aproximadamente -50°C y son manejados automáticamente.

Sistemas de vacío

La función del vacío es evacuar de la cámara de secado los vapores producidos sin permitir que el material precongelado funda. (Pyle, 1970)

Sistemas de condensación

Los tres métodos más comunes para eliminar el vapor de agua son: condensadores de contacto directo e indirecto, agentes deshidratantes como cloruro de calcio y bombas de vacío. Los condensadores de contacto indirecto ofrece un arreglo óptimo para eliminar el agua a escala industrial. La superficie de condensación puede estar colocada dentro de la cámara de secado o en una cámara separada. El vapor de agua condensa y forma una capa de hielo sobre la superficie enfriada y es eliminada en forma intermitente por fusión o continuamente raspando la superficie. (Harrison, 1970)

Sistemas de calefacción

Los sistemas de calefacción son generalmente de alguno de estos tipos: Calentamiento por resistencias eléctricas, calentamiento por circulación de un líquido caliente o calor radiante. Las placas calefactoras en las que es colocado el material congelado pueden ser huecas y en ellas se admite vapor para calentarlas (Henry, 1970)

Sistema de medición y control

Los instrumentos de medición deben estar distribuidos de modo que se controle la temperatura en las placas de calentamiento, el producto, en el condensador, la presión de la cámara de secado en la cámara de condensación en el sistema de vacío. (Abbott, 1964)

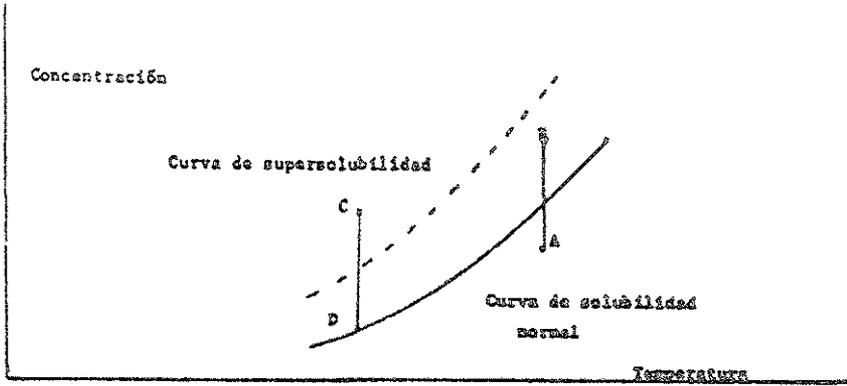


Figura 3. Representación esquemática de la teoría de Miers

Sistema de secado estático

Secador de charolas el producto está inmóvil durante el secado en la figura 4 se muestra este tipo de liofilizador. (Pyle, 1970)

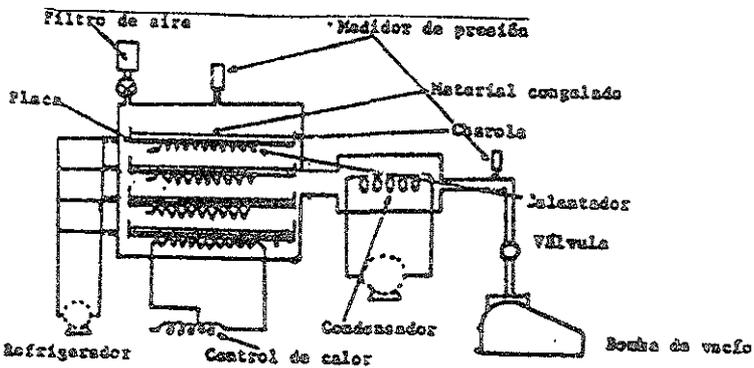


Figura 4. Sistema de secado estático

Las charolas son construidas de un material de conductividad calorífica conocida, a lo ancho de las charolas normalmente van insertadas placas para obtener un rendimiento mayor.

Secadores dinámicos

Secado por aspersión: consiste básicamente en una torre que tiene dos funciones

1. suministrar el calor necesario para sublimar
2. deflexión de los vapores de agua a diferentes niveles

Secadores de placas circulares

El principio de estos secadores es el calentamiento por placas circulares arregladas una sobre otra con una flecha en el centro. En estas placas existe un deflector que hace que el producto viaje por todas las placas describiendo una trayectoria espiral. Por calentamiento de varias placas a diferentes temperaturas se obtiene un perfil de temperatura necesario para el secado.

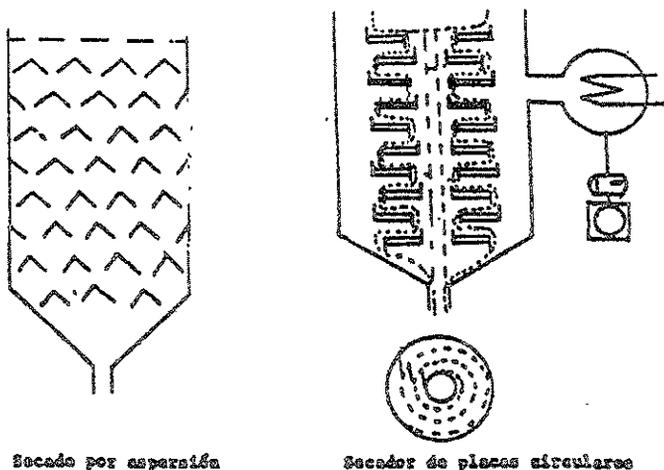


Figura 5. Secadores dinámicos

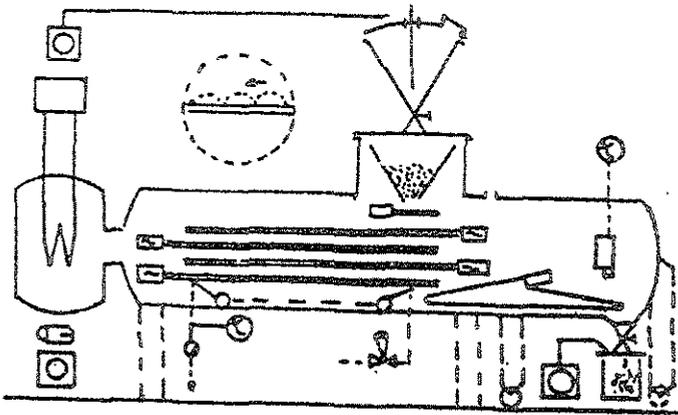


Figura 6. Secador vibratorio horizontal

Instrumentos de medición y control

Para obtener características constantes en el producto liofilizado, es importante garantizar la reproductibilidad de ciclos, para ello, las condiciones de presión y temperatura deben controlarse en ciclos distintos para un mismo producto.

Medición de temperatura

1. Termómetros de elemento líquido, termómetros de expansión, en los que el capilar se encuentra lleno del fluido, teniendo en su extremo una espiral que al abrirse o cerrarse por efecto de presión que se produce como consecuencia del aumento de temperatura, acciona una aguja que se desplaza sobre una escala de temperatura.

2. Termopares : miden la temperatura basada en fenómenos eléctricos. La radiación con termopares es la más usada en los equipos de liofilización.
- 3 Termómetros de resistencia: miden la temperatura aplicando el hecho que la resistividad eléctrica de los conductores cambia con la temperatura en forma constante.

Medición de vacío

El vacío en un liofilizador se expresa en términos de presión residual. Las unidades de medición son milímetros de mercurio o las micras de mercurio, a estos niveles los aparatos habituales de medición de presión resultan inexactos. Los aparatos medidores mas comúnmente usados en liofilización son: McLeod y Pirani.

El McLeod es un instrumento mecánico contra el cual se calibran todos los demás, permite mediciones de 1 a 5000 micras. Su principio de operación es el de atrapar una muestra de los gases ambientales dentro de un capilar cerrado, en donde es comprimido por mercurio; este volumen reducido puede interpretarse en términos de su presión original, aplicando la ley de Boyle.

La desventaja es que sólo puede usarse a intervalos por la necesidad de pasar de una posición horizontal de muestreo a otra vertical de medición y ya que, puesto que la ley de Boyle ($PV=K$) sólo se aplica para gases no condensables, la presencia de vapor de agua, suele dar lecturas falsas.

El medidor de Pirani cae dentro del grupo de medidores técnicos y opera sobre el mismo principio de los termómetros de resistencia. Estos medidores se calibran contra el McLeod con aire seco, y luego se reajustan para vapor de agua, de modo que las lecturas indican realmente la presión total del sistema. (Gomez, 1976)

CAPÍTULO DOS

Congelación y liofilización

CONSERVACION DE ALIMENTOS

Dentro del campo de la transformación de alimentos, uno de los sectores que más han evolucionado ha sido el de la conservación. Desde tiempos muy antiguos en los que se utilizó la deshidratación al sol, después la salmuera, el ahumado o la fermentación, se ha pasado a métodos que conservan mejor las propiedades nutricias y organolépticas de los alimentos.

La industria conservera se remonta a principios del siglo XX, al consolidarse los procedimientos de Appert. Durante este siglo los principales países desarrollaron esta industria, que en el siglo XX ha experimentado un extraordinario auge al introducirse nuevas tecnologías. Son varios los métodos empleados en la actualidad por la industria. El más utilizado es la ultracongelación, la deshidratación es otro método muy utilizado, especialmente en la industria láctea, por el que se elimina la casi totalidad del agua del alimento. La conservación al vacío consigue la eliminación del aire y para ello se suelen utilizar recipientes de hojalata, un metal formado por una delgada lámina de acero recubierta por una fina capa de estaño. Es un método muy popular y con el que se conservan una amplia variedad de comidas y alimentos. (Robins, 1999)

AGUA DE LOS ALIMENTOS

El agua influye directamente en la vida útil de los alimentos al ser un disolvente de la mayoría de sus componentes, facilitando las reacciones entre ellos. El agua es también el medio de la actividad microbiana. El agua se encuentra en los alimentos como líquido celular, en el caso de la carne y los vegetales, como agua de cristalización en sustancias sólidas como el azúcar o retenida en geles coloidales como en jaleas y pudines. El agua puede absorberse en la superficie de sólidos higroscópicos, como el azúcar en polvo de pastelería. Se absorbe en la fase acuosa de las emulsiones, como leche y mantequilla, o de las dispersiones, como salsas y sopas cremosas y puede estar libre como en jugos, caldos y productos similares. Para evitar las reacciones químicas y bioquímicas que llevan a la degradación del alimento o para inhibir el crecimiento bacteriano que ocasiona alteración, el remedio lógico sería la eliminación del agua por deshidratación. Esto se realiza por evaporación con ayuda del calor, preferentemente bajo vacío y después se calienta por etapas hasta alcanzar la temperatura ambiente. Durante estas operaciones el hielo se sublima a partir del alimento y se condensa en forma sólida, pero fuera del alimento. Normalmente en el alimento sólo queda un 1% de agua o menos, cantidad suficientemente pequeña para inhibir las actividades químicas y bioquímicas y bastante para rodear el alimento de una capa monomolecular de agua congelada que lo protege de la oxidación por el aire. La eliminación del agua también disminuye los costos de transporte y los materiales de envasado protegen al producto alimenticio de la reabsorción de humedad. (Coenders, 1999)

LIOFILIZACION DE ALIMENTOS

La liofilización de alimentos se ha usado como método de conservación de alimentos durante muchos años pero fue durante la segunda Guerra Mundial cuando se desarrolló todo su potencial como método de conservación para el plasma sanguíneo.

La planta de Liofilización de alimentos es el primer proyecto que INVAP realizó en la industria alimenticia.

El uso primario de la liofilización es la conservación de materiales biológicos congelando su contenido de agua y luego removiendo el hielo por sublimación. Por ello es de esperar que se combinen las ventajas del congelamiento y la deshidratación para una forma propicia de conservación.

La liofilización es un proceso que se aplica en tres grandes categorías de productos biológicos:

1. Materiales no vivientes tales como plasma sanguíneo, suero, soluciones, hormonas, productos farmacéuticos y alimentos
2. Transplantes quirúrgicos de especies tales como arterias, piel y huesos
3. Células vivas destinadas a permanecer en ese estado por largos periodos de tiempo
Ejemplos como bacterias, virus y levaduras(pero no células de mamíferos)

La liofilización es de suma importancia para la conservación de plasma sanguíneo para productos alimenticios porque detiene el crecimiento de microorganismos. Inhibe el deterioro por reacción química (cambio de color, sabor, rancidez, pérdida de propiedades fisiológicas etc.) y facilita la distribución y almacenamiento no es necesario mantener una cadena de frío. Para el caso de los alimentos tienen otras dos virtudes trascendentales: el producto tratado no se deforma y es fácilmente hidratable. Además de antibióticos y otros productos farmacéuticos, el café instantáneo granulado y algunas sopas son productos liofilizados que se comercializan actualmente. (William,2000)

FUNDAMENTO DE LA LIOFILIZACION

LIOFILIZACION

La liofilización o deshidratación por congelación al vacío, que consiste en la sublimación del agua de un alimento congelado, mediante vacío y aplicación de calor a la bandeja de deshidratación, se está empleando en algunos alimentos, entre los que se incluyen carnes, canales de aves, alimentos marinos, frutas y hortalizas. Las finas capas congeladas de los alimentos de bajo contenido en azúcar, se pueden deshidratar sin

vacío mediante la sublimación de la humedad durante el paso de un gas seco que la absorbe.

La liofilización es la deshidratación por congelación y sublimación; el contenido líquido natural de los sistemas biológicos se congela y se elimina en forma de vapor, bajo condiciones cuidadosamente controladas de presión y temperatura, para dejar una estructura que revierta el estado previo, por adición de agua; si se aplica a sustancias lábiles, como alimentos, permite la conservación a la temperatura ambiente durante largos períodos, adecuadamente protegidos del agua, la luz y el oxígeno. Su aspecto, palatabilidad y valor nutritivo tras de la reconstitución, sobreviven al almacenamiento mucho más que si los alimentos se someten a cualquier otro tipo de deshidratación. No debe confundirse con la deshidratación a vacío de los líquidos, que produce evidentes alteraciones de tipo físico y químico. (Lewis, 1993)

Proceso de liofilización

Cuando va a liofilizarse un material húmedo, se efectúan tres operaciones básicas: congelación, sublimación (secado primario) y desorción (secado secundario). Estas operaciones comprenden muchos procesos fundamentales que ocurren simultáneamente, y las condiciones que gobiernan la velocidad de cada proceso deben optimizarse para un producto específico a fin de obtener una velocidad de secado satisfactoria. (Fennema, 1992)

a) Congelación

Los materiales procesados por liofilización son normalmente mezclas complejas de agua y numerosas sustancias. Por enfriamiento dichos materiales a una temperatura menor de 0°C , se produce la separación de cristales de hielo, y eventualmente la masa entera se vuelve rígida debido a la formación de eutécticos. La mayoría de productos alimenticios y biológicos solidifican completamente a una temperatura en el rango de -15 a -73°C . Cuando solidifica la masa entera, toda el agua libre se ha transformado en hielo, solo una

cantidad pequeña del agua original, el agua de ligadura, permanece fija en la estructura interna del material.

La velocidad de secado y la calidad del producto terminado están afectadas por el tamaño, forma y distribución de tamaño de los cristales de hielo formados durante la congelación y de la homogeneidad de la masa congelada. (Fennema, 1992)

En condiciones ideales, para realizar el proceso de liofilización correctamente, debería congelarse todo el líquido presente en el alimento. En la práctica, sin embargo, esto no es posible y además, siempre que la cantidad de líquido remanente no congelado sea pequeña, la calidad del producto no resulta seriamente afectada.

La velocidad óptima de congelación con fines de liofilización depende en gran parte de la naturaleza del producto. La variación en la velocidad de congelación afecta al tamaño de los cristales de hielo y por tanto al tamaño del poro en el producto seco, siendo de esperar, en consecuencia, que influya en la velocidad de deshidratación y en las características del producto, sobre todo en su rehidratación. Las velocidades óptimas de congelación tienen que determinarse experimentalmente

La acción deshidratadora básica es la formación de hielo; la extracción del agua congelada en forma de vapor, sin afectar los demás componentes, es una acción secundaria. El método particular de congelación determina la posición y las características del hielo, y predetermina su accesibilidad para la deshidratación, tanto si se facilita mediante el tratamiento de las paredes celulares o por escaldado o cocimiento parcial.

Si la formación de hielo no cambia durante la extracción, también se ha predeterminado así la porosidad, que tan importante papel juega en la readmisión de

agua al espacio libre dejado por el hielo. La acción primaria de la congelación tiene por tanto una gran importancia y debe practicarse de manera cuidadosa, adecuada a cada alimento.

En la determinación de la velocidad de enfriamiento deben considerarse las concentraciones salinas poco deseables, la posición de los cristales de hielo y su posterior crecimiento, y la formación de rutas internas. Una congelación muy rápida forma cristales de hielo muy pequeños, generalmente localizados en el interior de las células, que dificultan o retrasan la auténtica sublimación. Una congelación o enfriamiento lento tiende a producir sobreenfriamiento, cuando los cristales se forman son al principio pequeños, pero la progresiva solidificación, a medida que el enfriamiento va teniendo lugar, conduce a la formación de cristales grandes, situados fundamentalmente afuera de las células rotas, en cuyo interior probablemente se han dado concentraciones salinas peligrosas, se forman rutas de escape fáciles para el vapor de agua, pero este efecto va acompañado de pérdida de la estructura y a veces produce problemas de almacenamiento y disminución en la capacidad de retención de agua.

Es muy importante también alcanzar un nivel de congelación seguro (muy por debajo de los -7°C), que no suele, por lo general, estar muy definido, en virtud de la complejidad de las soluciones celulares; suele estar más definido el punto de congelación, que es siempre más alto. La técnica a emplear consiste en enfriar primero a una temperatura por debajo de la zona de congelación aceptable, después de lo cual suele convenir pasar a una temperatura inmediatamente por debajo del punto de fusión, que es adecuada para la extracción del agua, un mantenimiento prolongado a esta temperatura puede alterar la formación cristalina.

Algunos alimentos líquidos no forman cristales de hielo al comienzo del enfriamiento; forman concentraciones muy viscosas y adquieren finalmente un estado vítreo. En algunos casos un incremento suave de su temperatura puede pasarlos irreversiblemente al estado cristalina; después de esta transición puede continuarse el proceso de enfriamiento hasta completar la solidificación de un modo más favorable.

Cuando no se dispone de datos de congelación pueden lograrse a partir de los de conductividad eléctrica durante la congelación o descongelación.

Pueden emplearse congeladores de aire rápidos, operando en condiciones tales que enfríen a los alimentos a temperaturas ligeramente inferiores a aquellas a que ha de efectuarse la deshidratación. La temperatura puede subirse luego hasta un punto más próximo a la temperatura de deshidratación, al colocar el alimento en el deshidratador. (Lewis, 1993)

Los productos liofilizados tienen una estructura porosa debida a la sublimación de cristales del producto congelado, que al perder agua pierden un porcentaje grande de su peso inicial. Esta técnica de secado o deshidratado es la menos nociva para los nutrientes, encontrándose aun gran parte de la vitamina C. Por ejemplo, en los extractos de fruta obtenidos por este sistema; sin embargo se debe resaltar su alto costo, por lo que se suele reservar para productos farmacéuticos y para el café, empleándose poco en el caso de los vegetales. (Cervera, 1998)

Alimentos líquidos y semilíquidos

Suelen ser (bebidas, salsas, etc.) mucho más sensibles al calor que los alimentos sólidos. Los lechos profundos secan muy despacio. El mejor tratamiento consiste en congelarlos en película fina que se fragmente luego y se distribuya de manera que se consiga un equilibrio adecuado entre el incremento de las rutas de fácil escape de vapor y la buena transferencia de calor.

En algunos casos puede congelarse por evaporación; esto implica la deshidratación a partir de una fase líquida para la extracción de calor latente, por lo que no debe prolongarse esta etapa ni debe acudirse a ella, excepto en casos especiales (carnes cocidas, donde ya ha tenido lugar la desnaturalización proteínica).

Se ha demostrado que con la congelación rápida permite la formación de cristales de pequeño tamaño y, por consiguiente, ocasiona un menor daño mecánico a la estructura del alimento. Tras su descongelación, los alimentos que han sido congelados mediante el procedimiento de congelación rápida absorben mayor cantidad de agua y, en general, presentan características que se parecen más a las del alimento fresco que a las de los alimentos que han sido congelados por el procedimiento de congelación lenta. Después de la congelación, el agua que se encuentra en los alimentos en forma de hielo es eliminada por sublimación. Esta operación se realiza mediante varios procedimientos de calentamiento más vacío. El contenido de agua de los alimentos proteínicos puede ser de dos clases Agua congelable y Agua no congelable. (Desrosier, 1964)

La rapidez con que un alimento se congela o se descongela está influida por los siguientes factores.

- La diferencia de temperatura existente entre el alimento y el medio de enfriamiento o de calentamiento
- Los modos de transmisión de la energía calorífica al alimento, desde el alimento o entre zonas distintas dentro del propio alimento conducción, convección, radiación.
- El tipo, tamaño y la forma del envase.
- El tamaño, la forma y las propiedades térmicas del alimento. (Cheffel, 1998)

◦

b. La deshidratación primaria

La deshidratación primaria corresponde a la sublimación de toda el agua congelada del alimento. La velocidad de esta deshidratación es proporcional a la diferencia entre las presiones parciales de vapor de agua del hielo, que se encuentra, respectivamente, a nivel del frente de sublimación y sobre el condensador. Esta diferencia de presión depende directamente de la diferencia de temperatura entre el producto todavía congelado y el condensador. Con el producto a -20°C y con un condensador a -40°C , la diferencia de presión es de 0.679 torr; sería de 1.664 torr con un condensador a -30°C y un producto a -10°C , pero una temperatura como esta en el producto, podría originar la fusión de algunos eutécticos.

Como las diferencias de presión de vapor puestas en juego son muy bajas, se explica que la velocidad de liofilización sea siempre pequeña. La resistencia a la transferencia de vapor aumenta muy claramente cuando aumenta la presión en el recinto de liofilización. Esto es la razón por la que se trabaja frecuentemente bajo vacío, a una presión absoluta comprendidas entre 0.1 y 2 torr (lo ideal sería que la presión absoluta fuese próxima a un tercio de la presión parcial de vapor de agua al nivel del frente de sublimación). (Cheffe, 1998)

Tiene una importancia básica el que la velocidad de deshidratación esté limitada por la transferencia de vapor o por transferencia de calor, por el espesor de la capa seca y también por el espesor total del producto, en efecto, la duración de deshidratación es aproximadamente proporcional al cuadrado del espesor. Esto explica además la disminución progresiva de la velocidad de deshidratación durante la liofilización.

El calor necesario para la sublimación puede suministrarse por contacto directo con placas o radiadores calefactores, considerándose seco el producto cuando las temperaturas superficial e interna son iguales. Obviamente, el aporte de calor no debe ser tan grande como para causar desnaturalización de la superficie del alimento.

La unidad empleada es similar a una caja grande o a una cámara en la que puede hacerse el vacío, va dotada de un condensador interno o externo capaz de retener todo el agua.

La velocidad a la que el alimento se deshidrata depende no sólo de la aplicación del calor sino también de la velocidad con que puede formarse el vapor de agua en el centro del producto a través de la capa seca y también de la capacidad del condensador de retener todo el vapor de agua producido.

Se logra un incremento en la velocidad de deshidratación (liofilización acelerada o AFD) colocando el alimento sobre una lámina de metal expandido sobre la fuente del

calor, permitiendo así una eliminación más rápida del vapor de agua. Esta técnica desarrollada más recientemente se ha aplicado a una amplia variedad de alimentos

Se ha indicado anteriormente que el tamaño de los cristales en el alimento congelado influyen en la velocidad de deshidratación. Los alimentos congelados rápidamente, conteniendo cristales pequeños, se deshidratan más lentamente que los congelados lentamente con cristales mayores. Al mismo tiempo, los alimentos liofilizados producidos a partir de alimentos congelados lentamente parecen reabsorber humedad más rápidamente. (Cheffel, 1998)

c) Sublimación

El material congelado puede estar sujeto a una sublimación a presión atmosférica o bajo vacío (menos de 4.6 mmHg).

La sublimación de los cristales de hielo puede considerarse comprendida por dos procesos fundamentales, transferencia de calor y transferencia de masa. Se suministra calor para sublimar los cristales de hielo y el vapor de agua generado es transferido fuera de la interfase de sublimación. Entonces la velocidad de sublimación está limitada por las resistencias a la transferencia de calor y masa, dentro del producto a secar.

El vacío operante determina la diferencia de presión, y consiguientemente la velocidad de transferencia de masa que debe de estar en equilibrio con la velocidad de entrada de calor.

El calor requerido para sublimar (302.4 K cal por libra de hielo) puede suministrarse por conducción, radiación, resistencia eléctrica, microondas o calentamiento infrarrojo.

VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR

El calor puede transmitirse al frente de sublimación por tres mecanismos distintos:

1)Transferencia calórica a través de la capa de alimento congelado

La velocidad de transferencia calórica depende del grosor y de la conductividad térmica de la capa de hielo, por lo que, a medida que la deshidratación progresa, el grosor de la capa de hielo disminuye y en consecuencia, la velocidad de transferencia calórica aumenta. La temperatura en la superficie del alimento se controla cuidadosamente para evitar su descongelación.

2)Transferencia calórica a través de la capa de alimento liofilizado

La velocidad de transferencia calórica al frente de sublimación depende del grosor y área del alimento, de la conductividad térmica de la capa liofilizada y de la diferencia entre las temperaturas en la superficie del alimento y en el frente de hielo. Si la presión se mantiene constante en el liofilizador, la temperatura del frente de hielo también se mantiene constante.

2).calentamiento por microondas

En este sistema de calentamiento el calor se genera en el propio frente de hielo, por lo que la velocidad de transferencia calórica no depende de la conductividad térmica del hielo, ni de la capa de alimento liofilizado, ni de su grosor. Sin embargo, el sistema de calentamiento de microondas se controla con mayor dificultad (Fellows,1994)

VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE MASA

Cuando el calor llega al frente de sublimación la temperatura y la presión de vapor en él aumenta. Como consecuencia de ello el vapor se desplaza desde el alimento a la zona de baja presión de 67 Pa. Por ello, en la liofilización comercial se hace preciso eliminar varios centenares de metros cúbicos de vapor por segundo, que deberán escapar a través de los poros del alimento liofilizado. Los factores que controlan el gradiente de

presión de vapor son:

.La presión en el interior de la cámara de liofilización

.La temperatura del condensador de vapor (tanto la presión como la temperatura deberán ser lo más bajas posible), Y

.La temperatura del hielo del frente de sublimación (que debe ser lo más elevada posible, sin que provoque la descongelación.)

En la práctica la presión y temperatura más bajas utilizables, económicamente compatibles, son 13 Pa y -35°C , respectivamente

En la teoría, la temperatura del hielo debiera elevarse hasta un valor, justo por debajo de su punto de descongelación. Sin embargo, por encima de una determinada temperatura crítica los solutos concentrados del alimento poseen suficiente movilidad como para permitir su migración por acción de las fuerzas que se desarrollan durante el proceso. Cuando ello sucede, la estructura del alimento se colapsa inmediata e irreversiblemente, lo que reduce la velocidad de transferencia de vapor, y detiene, en consecuencia, la deshidratación.

En la práctica, por tanto, existe una temperatura máxima que el hielo no debe superar, una temperatura mínima para el condensador y una presión mínima en el liofilizador. Todas ellas controlan la velocidad de transferencia de masa .

Durante la liofilización el contenido en agua cae desde su valor inicial en la zona congelada, a un valor inferior en la capa liofilizada, que depende de la presión de vapor en el liofilizador. (Fellows, 1994)

DESHIDRATACION CONVENCIONAL Y LA LIOFILIZACION

En la tabla 1 se muestran las principales diferencias entre la liofilización y la deshidratación convencional por aire caliente.

Tabla 1 Diferencias entre la deshidratación convencional y la liofilización

Deshidratación convencional	Liofilización
Eficaz, si se trata de alimentos fácilmente deshidratables (verduras y granos)	Es un sistema eficaz para la mayor parte de los alimentos, pero generalmente solo se emplea cuando los otros métodos resultan eficaces
Inadecuado para la carne	Eficaz con carnes crudas o cocinadas
Rango de temperatura 37 a 93°C	Temperaturas inferiores a las del punto de congelación
Presión atmosférica	Presiones inferiores a la atmosférica
Evaporación del agua desde la superficie del alimento	El agua se sublima desde el frente de hielo
Migración de los solutos y en algunas ocasiones, acorchado	Migración de solutos mínima
El stress que se genera en alimentos sólidos provoca danos estructurales y retracción	Cambios estructurales y retracción mínimos
Rehidratación lenta e incompleta	Rápida y completa rehidratación
Frecuentes olores y aromas anormales Olores y aromas generalmente normales	Olores y aromas generalmente normales
El color es generalmente más oscuro	Color generalmente normal
Se pierde valor nutritivo	Pérdidas de nutrimentos mínimas
Más barato	Hasta cuatro veces más caro que la deshidratación convencional

(Fellows, 1994)

APLICACIONES

APLICACIONES

Aspectos económicos

Desarrollo del proceso de liofilización de alimentos

En cualquier proceso comercial, la economía de cada paso debe ser cuidadosamente considerado, para lograr un costo total mínimo.

Los costos de investigación y desarrollo del proyecto de este tipo deben ser cuidadosamente controlados

Selección de materia prima

La calidad de un producto depende grandemente de la calidad de la materia prima. La selección del material adecuado es por lo tanto el primer paso importante a desarrollar en la liofilización.

El costo debe ser cuidadosamente considerado antes de que se haga una selección final

Costos de liofilización

Es muy conocido el hecho de que la liofilización es un método caro para quitar agua de los alimentos. En términos generales es cuatro veces más caro que un secado por aspersión, y seis veces más caro que un secado por aire.

Los factores de costo que contribuyen al proceso de liofilización son los siguientes:

Tamaño de la planta

Duración del ciclo de secado

Continuidad de la operación

Tipo de producto

Preprocesamiento y manejo de materiales

Depreciación

Mano de obra

Servicios

De todos los factores el más importante es el tamaño de la planta. (Hernandez, 1977)

La liofilización en los campos médico, veterinario y farmacéutico se ha utilizado durante muchos años a escala relativamente grande, proporcionando a los mercados acostumbrados a productos de gran valor añadido y de costo inicial alto, unas materias cuya importancia juzgan los compradores en términos de viabilidad. Como factores de salvaguardia utilizan ciclos de carga pequeña y temperaturas bajas, algo que no es aplicable a productos más baratos en los que la restauración morfológica exacta no es la media real, siéndolo más bien el tiempo de reconstrucción.

El proceso conservante de tejidos, plasma, vacunas y antibióticos debe prolongarse con sumo cuidado. Pero los alimentos se pueden tratar mucho más intensamente, incluso inactivándolos deliberadamente durante el pretratamiento, sin que se altere su valor nutritivo, ni su aspecto, ni su rápida reconstitución, ni ningún otro factor de los que hacen al producto atractivo al consumidor; el proceso completo debe de ser económicamente aceptable, dentro de límites normales, y a una escala mucho mayor. Sólo recientemente se ha contemplado y se ha alcanzado de hecho este deseado objetivo, habiéndose ampliado los conocimientos sobre transferencias de calor y de masa, en situaciones límite de forma que se alcance un equilibrio entre reconstitución idéntica y posibilidad comercial. (Ranken, 1986)

A causa de su precio elevado la liofilización se emplea poco en la industria alimenticia. Los alimentos que más se liofilizan son especialmente el café en polvo, los champiñones, los trozos de carne o de legumbres para sopas deshidratadas, los camarones, las frambuesas, algunos jugos de frutas etc.

Concretamente, se trata de alimentos bastante caros y en los cuales es económicamente interesante conservar lo más posible la calidad organoléptica. En efecto, la liofilización es la técnica de deshidratación que conserva de la mejor forma, textura, color, aroma y capacidad de rehidratación de estos alimentos.

Los alimentos liofilizados son muy higroscópicos y porosos lo que obliga a un embalaje bajo vacío o en atmósfera de nitrógeno. Esto contribuye a aumentar su precio. (Jay, 1997)

La mayoría de los alimentos pueden liofilizarse aunque el tamaño del producto es un factor limitante, este método por ello, no es adecuado para artículos grandes tales como piezas de carne, pero cortes más finos de carne y pescado pueden liofilizarse tanto crudos como cocidos

Los alimentos ricos en grasa no son muy adecuados para la liofilización ya que, al aplicarse calor a la superficie del alimento, se funde la grasa y forma una capa de aislante, inhibiendo la difusión de vapor de agua de la superficie.

Para obtener mejores resultados, las verduras deben escaldarse antes de congelarse. En general los alimentos con un alto contenido en azúcar no deben liofilizarse ya que se vuelven viscosos y difíciles de manipular cuando se aplica el calor.

Un ejemplo de alimento para el que la liofilización ha demostrado ser destacadamente útil es el de los mariscos más pequeños como gambas y langostinos. Debido a su forma (dobladitos sobre sí mismos) a menos que se les proporcione una protección especial en forma de un envase a vacío, al congelarse muestran rápidamente signos de desecación. El producto liofilizado, después de unos minutos de rehidratación en agua, es casi indistinguible del equivalente fresco.

La liofilización acelerada logra un producto muy satisfactorio que puede reconstituirse muy rápidamente y muestra poca merma. (Pat, 1987). Produce poca migración de constituyentes solubles. Obviamente la conservación de alimentos por este método es más cara que la congelación, pero puede hacerse ahorros en almacenamiento y transporte ya que hay reducción de peso y volumen y los alimentos no requieren conservarse en el refrigerador.

Habrà, sin embargo, pequeñas diferencias en el precio de venta de los productos AFD y los congelados; se logran mayores ventajas en países cálidos y en los que hay grandes gastos de transporte.

La vida útil de los productos AFD es buena, siempre que se les envase adecuadamente.

Son esenciales los materiales de envase que proporcionan una barrera eficaz frente al vapor de agua y al oxígeno. (Cervera,1998)

Los alimentos liofilizados son muy porosos, rehidratándose por lo tanto rápidamente. Las pérdidas de aroma y textura son menores que la mayoría de los demás métodos de deshidratación. Se puede aplicar calor al proceso bajo un control estricto, esto constituye la liofilización acelerada(Bender,1999)

El control más positivo podría ser el empezar con alimentos de alta calidad, con baja contaminación, pasteurizar el material antes del secado, procesar en establecimientos limpios y almacenar bajo condiciones donde los alimentos secados estén protegidos contra la infección de polvo, insectos y roedores.

Las bacterias patógenas, por medio de técnicas de liofilización, bajo ciertas condiciones, se reducen un número de poblaciones en alimentos secados. (Etzel,1997)

En algunos alimentos líquidos (por ejemplo: Jugos de frutas y extracto de café concentrado) la estructura vítrea que se forma durante la congelación dificulta la transferencia de vapor. Por ello, estos líquidos se congelan en forma de espuma, o bien los jugos se deshidratan mezclados con su pulpa. Por ambos métodos se consigue que en los alimentos se formen unos canales por los que el vapor pueda escapar. En un tercer método el jugo congelado se tritura, obteniéndose unos gránulos que se deshidratan más rápidamente. Este sistema posee además la ventaja de que permite un mejor control de la granulometría del alimento a deshidratar.

La velocidad de deshidratación depende principalmente de la resistencia que el alimento ofrece a la transferencia de calor y en menor grado, a la transferencia del vapor (transferencia de masa) desde el frente de sublimación. (Fellows, 1994)

La liofilización es de suma importancia para la conservación de plasma sanguíneo y productos alimenticios porque detiene el crecimiento de microorganismos inhibiendo el deterioro por reacción química y facilita la distribución y el almacenamiento

(Marguerida, 1984)

La liofilización de los alimentos es una industria todavía joven; las industrias médica, veterinaria y farmacéutica la han practicado a escala considerable desde el fin de la segunda guerra mundial, pero la mayor parte de la información obtenida por ellas no puede trasladarse directamente al mercado alimenticio porque las citadas industrias tienden a aplicar factores de seguridad que implican cargas, temperaturas y tiempos que no pueden emplearse con productos más baratos. El principal objetivo perseguido en las industrias biológicas es la viabilidad del material liofilizado; de ahí que el proceso de conservación de tejidos para trasplante, plasma, vacunas y antibióticos tienda a practicarse en pequeñas partidas, en el mercado de alimentos se admite que el consumidor no se ve primordialmente atraído por la restauración morfológica precisa, y que es en cambio muy importante el tiempo de reconstitución ; suelen practicarse tratamientos mucho más intensos que suponen una inactivación deliberada sin disminuir el valor del alimento; El proceso tiene además que ser mucho más barato. Sólo durante los últimos años ha podido conseguirse este objetivo, habiéndose alcanzado considerables avances en el conocimiento de los factores de transferencia de masa y calor, para lograr un equilibrio adecuado entre la reconstitución precisa y la viabilidad comercial.

La liofilización de los alimentos es, por lo tanto, una industria todavía joven. En tiempos de emergencia nacional los métodos de conservación de alimentos suelen avanzar, pero cuando prevalecen los mercados competitivos normales, cuyos hábitos de compra no han prescrito la investigación del mercado consumidor busca productos atractivos, como platos combinados de rápida preparación para lanzar nuevos menús.

A consecuencia de la avalancha de entusiasmo despertada pro la liofilización, los fabricantes concentraron sus esfuerzos en ciertos aspectos particulares para dar lugar, a veces a productos intermedios cuyo aspecto, aroma y textura, escrupulosamente mantenidos, eran buscados después por otros fabricantes, de forma que el público general se ha encontrado con ellos indirectamente. La reconstitución junto con el costo, se ha demostrado que es un criterio de la máxima importancia.

La evolución y elaboración de plásticos más baratos, utilizados como materiales de

envasado muy experimentados, también ha contribuido mucho a rebajar el costo total.

La aceptación depende fundamentalmente de la naturaleza del consumidor; pueden calcularse sus reacciones mediante la interpretación estadística de determinaciones hechas por degustadores entrenados. Un criterio general muy importante es la rapidez de reconstitución. Aunque se conserve escrupulosamente el aspecto, el aroma y la textura, si el proceso de restauración es demasiado lento resulta latoso y se producen pérdidas abundantes por pasar el agua algunas sustancias nutritivas y por comenzar la actividad microbiana, lo que impide la presentación al consumidor en condiciones óptimas. Una reconstitución larga es además indicio de que la evaporación ha tenido lugar en parte desde el estado líquido, de que la deshidratación ha sido excesiva e irreversible o de que la congelación no fue adecuada. Importa a este respecto distinguir entre rehidratación y reconstitución. (Douglas,1998)

La liofilización, al igual que la esterilización a vapor o la congelación profunda, es simplemente una etapa preliminar de la conservación; con ella se trata de colocar el material de origen en una situación en la que queden detenidos los procesos de alteración. Va seguida de una etapa de conservación en que se evitan las condiciones ambientales precisas para el deterioro, y de una restauración final necesaria para el consumo. Como proceso inicial es más difícil y probablemente más caro que otros métodos de conservación a largo plazo; sin embargo, el costo no supone más que una fracción del costo total, pudiendo justificarse la liofilización, en muchos casos, por el ahorro que representa durante el período de conservación.

Los costos de almacenaje y distribución son bajos, su utilización es fácil y retiene considerablemente la calidad inicial, atractivos que compensan el elevado costo de tratamiento. Son muy pocas las ocasiones en que se intenta que los productos mantengan la actividad enzimática. Los atributos de calidad son distintos de los buscados en los productos biológicos liofilizados por la industria farmacéutica, el control es fundamentalmente organoléptico. Se han ideado fábricas especiales para distintos tipos

de alimentos, en las que la liofilización compite como método de conservación con otros procedimientos.

Mientras que la congelación por sí sola coloca a los alimentos en una situación en la que está inhibida su alteración, la conservación en tal estado depende del mantenimiento de una secuencia ambiental (cadena del frío) que impida la reiniciación del deterioro. La última fase de la deshidratación permite que el alimento se envase en recipientes de poco peso que constituyen por sí mismos una protección suficiente sin necesitar ningún control especial de la temperatura.

Sus valores cualitativos los aprecia fácilmente el consumidor. Mientras en otros procesos conservadores, incluidas otras formas de deshidratación, es difícil utilizar eficientemente la energía, la liofilización lleva a los conceptos de bomba de calor que son indudablemente económicos

Está más implicada y demanda más capital inicial(en las fábricas actuales) que otros medios de conservación, por lo que él aferrarse a procesos tradicionales ha sido un impedimento para su desarrollo; pero el costo actual del proceso no supone más que una fracción del costo total y en muchos casos, la liofilización se ha justificado por los ahorros que proporciona durante la conservación fuera de la fábrica. Sus mayores atracciones globales son los bajos costos de distribución y almacenamiento, la conveniencia de su empleo y la conservación de la calidad que contrarrestan con ventaja, los costos mayores atribuibles a este proceso

Su valoración es, en gran parte organoléptica. Las variaciones del proceso que afectan a los atributos sensoriales se relacionan y valoran en términos económicos. La fábrica ha sido pensada especialmente para tratar y conservar diversos tipos de alimentos, utilizando la liofilización que ahora puede competir con otros métodos, aunque dentro de unos límites más pequeños de los que inicialmente se pensó. Un proceso que permite conservar bien el aspecto del producto, induce a deshidratar alimentos sólidos en piezas tan grandes como sea posible.

Frente a esto los tiempos de congelación y de deshidratación exigen medidas pequeñas al menos en una de las dimensiones de cada pieza.

Su ventaja es poder transportar carnes y platos preparados sin necesidad de una cadena de frío. Su reducido peso y volumen, la facilidad de incorporar vitaminas y oligoelementos y la capacidad de almacenaje bajo cualquier situación por periodos de incluso hasta 2 años, son sus principales características(Ranken,1986)

COADYUVANTES DE LA PREPARACION Y PRETRATAMIENTO

Para que un proceso permita la conservación de un aspecto adecuado precisa deshidratar los alimentos sólidos en pedazos grandes. Los tiempos de congelación y desecación requieren que al menos una de las dimensiones de cada trozo sea pequeña. Para lograr un producto homogéneo y sin desperdicios se precisa cuidar mucho de la selección y preparación, lo que supone un abundante trabajo manual. El estudio de cada alimento en particular sugerirá las condiciones adecuadas para un equilibrio óptimo.

Es evidente que es preciso eliminar las barreras naturales internas y externas opuestas al paso del agua, para lo que se han empleado numerosos sistemas, entre los que se encuentran:

Eliminación profunda del pedúnculo de algunas frutas, como las fresas y las moras, para que la velocidad de desecación no se vea limitada por la de paso del vapor de agua a través de la superficie externa.

Abrasión, en estado congelado, de las gruesas pieles de ciertas frutas y pinchado y escaldado a vapor de alubias y guisantes, tratamientos que también persiguen facilitar la salida del vapor de agua sin perjudicar el aspecto Pelado y troceado de albaricoques, manzanas y otras frutas consistentes. Pelado y troceado y escaldado a vapor de hortalizas tipo raíz . Limpieza y escaldado de las hojas de hortalizas. Eliminación de la

grasa y tejido conectivo; corte transversal de las fibras para facilitar la salida del vapor. Tratamiento térmico para el acondicionamiento de las paredes celulares, especialmente en los alimentos procedentes del mar como los calamares. Tratamiento térmico (la carne de pollo por ejemplo), no sólo para facilitar el troceado, sino también por su efecto deshidratante.(Frazier,1987)

ALIMENTOS ADECUADOS PARA LIOFILIZAR Y CASOS DE APLICACIÓN

La liofilización es más fácil de aplicar a alimentos con más de un 45 % de su peso de agua. Una vez decididas las temperaturas tolerables en las partes congeladas y en las secas, las relaciones tiempo de ciclo de desecación / carga están determinadas por la naturaleza física. Los alimentos pueden clasificarse en fundamentalmente líquidos (bebidas), pastas (macarrones), quesos, espagueti y salsa de tomate, piezas discretas (chuletas, patatas fritas, frutas en polidrupa). Es conveniente considerar además la estructura, que puede ser fibrosa (músculo), sacular (naranjas, etc.) o celular densa (patatas). Los platos combinados deben tratarse de una manera que resulte favorable al componente de deshidratación más lenta, de otro modo parte del agua se evaporará desde la fase líquida.(Douglas,1998)

EFFECTO DE LA ADICION DE MALTODEXTRINA Y LACTOSA EN LA OBTENCION DE JUGO DE FRAMBUESA LIOFILIZADO A DOS TEMPERATURAS DE PROCESAMIENTO

Se evaluó la factibilidad técnica de producir un jugo deshidratado en polvo, por medio del proceso de liofilización, siendo frambuesa, la materia prima empleada para tal efecto. El objeto, fue que una vez reconstituido el producto, este mantuviera inalterables ciertas características propias del producto natural. Se probó el efecto de agregar lactosa y maltodextrina a concentraciones de 5 y 10 % p/p cada uno, a la pulpa de frambuesa previo a ser liofilizada, para así evitar la alta higroscopicidad que presenta el producto una vez deshidratado. De los ensayos realizados, se concluyó que el uso de 10% de maltodextrina fue el que entrego los resultados más satisfactorios. Además, pese al que

el uso de aditivos, influyó sobre el color y la relación sólidos solubles/acidez del jugo una vez reconstituido, estas alteraciones no fueron percibidas por el panel de jueces en la evaluación sensorial realizada. Debido al largo tiempo que demora en llevar el producto desde una humedad inicial de 90% a una menor al 5%, se ensayaron dos temperaturas de sublimación en el equipo liofilizador, 30 y 45 °c La rehidratación del polvo de frambuesa a dos temperaturas del agua: temperatura ambiente y 30 °c y dos estructuras del mismo molido granulado, no determinaron diferencias en la velocidad de rehidratación.(Munoz,1995)

DETERMINACION DE ESTERES DE ACIDO PTALICO EN MATERIA BIOLÓGICA POR HPLC

Algunos Procedimientos Analíticos fueron probados para la determinación de 2 etil hexil ftalato (DEHP) y di butil ftalato (DBP) en plantas y animales (pastos, materia prima y alimentos). Los procedimientos consisten en liofilización de muestras, extracción de ftalatos, separación de análisis de extractos usando cromatografía en gel S-X3, limpiando los extractos o eluciones con ácido sulfúrico y detectando y cuantificando por cromatografía con detección UV a 224nm.

Un rápido y simple método de determinación por DEHP, este metabolito mono 2 etil hexil ftalato (MEHP) y DBP fueron aprobados.(Jorosava,1998)

TRANSICION, PLASTICIDAD DE AGUA Y CRISTALIZACION DE LACTOSA EN LECHE EN POLVO

Efectos de contenido de agua, tiempos y transición (edo. Físico) en cristalización de lactosa y el resultado en leche en polvo fueron investigados. Muestras de liofilización de lactosa amorfa estudiados a varias humedades relativas en una habitación con temperatura de 24°C. Se observó una cristalización dependiente del tiempo. La lactosa se encontró cristalizada en muestras anhidras de alfa y beta lactosa. Cerca de humedades relativas altas, se encontraron formas de otros cristales. El rango de cristalización depende de las condiciones de cristalización y se incrementa la humedad relativa durante el estudio. La relación entre la cristalización y la humedad relativa es parabólica, la máxima cristalización ocurre cerca de la humedad relativa de 17% y 61°C, respectivamente. La transición en controles de lactosa en leche en polvo y los datos obtenidos pueden ser usados para predecir la cristalización de lactosa en productos lácteos. (Jouppila, 1997)

OPTIMIZACION DE HUEVO DESHIDRATADO POR MICROONDAS MEDIANTE LIOFILIZACION E INCORPORACION HIDROCOLOIDE

Las propiedades sensoriales y físicas de productos de huevo rehidratado son una consecuencia de la liofilización y adición de hidrocoloides a la formulación se evaluaron. Cuando se comparo la liofilización convencional (CFD), liofilización por microondas (MFD) se observó la capacidad de retención de agua y redujo los modelos elásticos.

Las comparaciones fueron hechas en rangos de muestras. La adición de goma xantana, celulosa, incrementaron ambas la capacidad de retención de agua. La estimación de propiedades sensoriales críticas revelaron que muestras MFD son superiores a muestras CFD y que muestras MFD que contienen xantana son cercanas al óptimo de productos de huevo. Esto concluye en que la liofilización cumple con la presencia de goma xantana

con la rehidratación de productos y que es el mejor método de retener la estructura íntegra, reabsorción de agua y tiene la más alta aceptabilidad de las propiedades de textura más similares a la del huevo fresco (Barret,1997)

SECADO POR ASPERSION, LIOFILIZACION O CONGELACION DE TRES DIFERENTES ESPECIES DE BACTERIAS LACTICAS

Lactococcus lactis ssp., *Lactobacillus casei* ssp. *Pseudomonas plantarum* UL137 y *Streptococcus thermophilus* CH3TH fueron congelados, liofilizados y secados por aspersion y probada su sobrevivencia y producción de ácido láctico antes y después del proceso. Virtualmente todas las células sobrevivieron a la congelación 60-70% sobrevivieron la deshidratación y liofilización.

En contraste con la congelación y liofilización, el secado por aspersion causa considerable retraso en la producción de ácido láctico y redujo la sobrevivencia. Después del secado por aspersion fue terrible para *Streptococcus thermophilus* y bajo para *Lactobacillus.cremoris*. (Etzel,1997)

ESTABILIZACION DE BIOMATERIALES LABILES MEDIANTE DESHIDRATAACION EN MATRICES PROTECTORAS

Las proteínas y otros biomateriales son muy inestables en medio acuoso. La liofilización permite estabilizar estos sistemas durante su distribución y almacenamiento. Sin embargo la congelación y la deshidratación involucradas en este proceso, desestabilizan en distinto grado dichos sistemas. La adición de solutos estabilizantes aumenta la resistencia de los biomateriales al estrés producido en los procesos de congelación, deshidratación(liofilización) y rehidratación. Los aditivos también son utilizados para aumentar la estabilidad de proteínas durante largos tiempos de almacenamiento del producto deshidratado. El daño producido por la deshidratación se manifiesta en proteínas como una pérdida de solubilidad y agregación; en el caso de enzimas, como disminución de la actividad catalítica y en el caso de microorganismos, como pérdida de

viabilidad.(Altavista,2000)

LA LIOFILIZACION DE PRODUCTOS FARMACEUTICOS

Los científicos franceses Bordas y Arsonval en 1906 descubrieron la aplicación de la sublimación, construyendo un sencillo aparato de liofilización de laboratorio.

Durante la segunda guerra mundial, los bancos de sangre americanos, empiezan a producir industrialmente plasma humano liofilizado para el ejército.

El gran éxito de la deshidratación del plasma humano y su buena conservación por liofilización fué rápidamente aplicado a la penicilina y a continuación a muy diversos antibióticos, enzimas, sueros y vacunas a fines de prolongar su actividad terapéutica

VENTAJAS DE LA TECNICA DE LIOFILIZACION

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 LIOFILIZACION

1. Es un proceso costoso
2. Necesidad de personal calificado en la operación y mantenimiento de los equipos
3. Elevado costo de inversión de las instalaciones y equipos. (Amoignon 2000; Biblao, 1986)

EFFECTO SOBRE LOS ALIMENTOS

Los alimentos liofilizados, correctamente envasados, se conservan durante más de 12 meses sin apenas modificación de su valor nutritivo y sus características organolépticas. Como los componentes del aroma no se encuentran ni en el agua pura, ni en los cristales de hielo, durante la sublimación no son arrastrados por el vapor de agua y quedan, por consiguiente retenidos en la trama del alimento liofilizado. Por este sistema se consigue retener el 80% del aroma del alimento. Karei (1975) ha discutido con detalle los aspectos teóricos de la retención en el alimento de sus componentes volátiles.

La liofilización apenas afecta a la textura de los alimentos, casi no provoca en ellos retracción alguna y no endurece su capa superficial. La estructura porosa de los alimentos liofilizados hace que su rehidratación sea muy rápida. Sin embargo, son alimentos frágiles que deben protegerse de eventuales daños mecánicos. El efecto de la liofilización sobre las proteínas, almidones y otros carbohidratos es mínimo. Sin embargo, su estructura porosa los hace accesibles al oxígeno, lo que puede provocar alteraciones por oxidación de sus lípidos. Para evitarlas, se envasan en atmósfera de gases inertes. La liofilización afecta poco a la tiamina y ácido ascórbico y las pérdidas que provoca en otras vitaminas son despreciables. La liofilización aplicada a productos perecederos, como los alimentos, convenientemente protegidos por la humedad, de la luz y del oxígeno, permite su conservación durante períodos de tiempo muy largos a temperatura ambiente. Al reconstituirlos se ha visto que su aspecto, palatabilidad y factores nutritivos resisten mucho mejor tal almacenamiento que cualquier otro método comercial de conservación. (Brennan, 1998)

EFFECTO DE LA LIOFILIZACION SOBRE LAS PROTEINAS

Esto se debe a que durante el proceso se enrollan las moléculas de actomiosina y pierden la capacidad de retención de agua, aunque también se produzcan desdoblamientos de las cadenas peptídicas. De todo ello resulta una agregación de las proteínas miofibrilares con establecimiento de nuevos enlaces entre moléculas.

En algunas ocasiones, el grado de alteración de carnes o pescados liofilizados es mayor que el causado por congelación-descongelación. La desnaturalización de las proteínas miofibrilares se debe más a la eliminación de los puentes de agua, que a la propia congelación.

La deshidratación puede provocar otras modificaciones, tales como pérdida del valor nutritivo, debido especialmente a la destrucción de la lisina en los procesos de pardeamiento no enzimático y también disminución de la digestibilidad, como consecuencia de las interacciones entre proteínas desnaturalizadas y lípidos o hidratos de carbono. El grado de alteración depende, obviamente, de la fuerza y condiciones del proceso y este respecto cabe señalar que las temperaturas elevadas y las exposiciones prolongadas al aire son particularmente perjudiciales. Sin embargo, a veces, el contenido de aminoácidos esenciales y la digestibilidad de los alimentos liofilizados son similares a los del producto fresco.

INFLUENCIA DE LA DESHIDRATACION Y DE LA LIOFILIZACION EN LOS MICROORGANISMOS

En la deshidratación convencional empleada con las hortalizas, la flora microbiana se modifica durante las operaciones iniciales de procesado, como preparación de cubitos y de trozos similares; salvo que el equipo esté escrupulosamente limpio el recuento

microbiano aumentará. Sin embargo, como en las hortalizas congeladas, hay que practicar el escaldado lo que reduce mucho los recuentos microbianos. Aunque durante la primera fase de la deshidratación se utilizan temperaturas de hasta 90°C, la rápida pérdida de humedad de los alimentos durante este período determina un efecto de enfriamiento y ayuda a mantener la temperatura entre 40 y 50 ° c, de aquí que sólo se origine una pequeña disminución de los recuentos microbianos. En la segunda fase de la deshidratación, las temperaturas son mayores (60-70) y durante la misma se destruyen las levaduras y muchas bacterias. La flora residual al terminar la deshidratación se compone principalmente de esporulados (*Bacillus* y *Clostridium* sp.) , enterococos y diversos mohos. En la leche y ovoproductos en polvo, desecados por atomización, las temperaturas alcanzadas no son tan altas y en consecuencia persiste una flora mucho más variada en la que puede haber hasta *Salmonella* sp; para evitar este peligro la leche se pasteriza actualmente antes de su deshidratación.

Puesto que la liofilización se ideó inicialmente para conservar el material biológico, nada tiene de extraño que a menudo los recuentos microbianos de los alimentos liofilizados sean altos. Los alimentos deben congelarse antes de deshidratarse y los efectos de la congelación, estudiados más atrás, deben manifestarse originando cambios microbianos en los alimentos. Aunque la deshidratación, desde el estado de congelado, tiene lugar a vacío, todavía puede aplicarse calor para sublimar el hielo. A medida que desaparece la interfase congelada, las temperaturas en la proximidad de la superficie aumentan hasta las de la placa de calentamiento (40-50°C) y consecuentemente en esta región tendrá lugar una cierta destrucción de las bacterias termosensibles. Sin embargo, la temperatura del centro del alimento sólo en las últimas fases de la deshidratación supera los 0°C por lo que en esta zona no cabe esperar un efecto letal. Todo lo expuesto significa que después de la liofilización todavía queda sobre un 30 % de la flora original y a menudo los recuentos de los alimentos deshidratados de esta forma superan los 100 000 microorganismos por gramo.

LIOFILIZADORES

Algunos fabricantes siguen utilizando diseños clásicos, pero la necesidad de emplear capacidades compatibles con una instalación de envasado y de supercongelación ha determinado la producción de tipos específicamente diseñados para los alimentos. Las unidades de producción se basan en cámaras de vacío independientes, generalmente cilíndricas, con capacidad de carga que oscila entre una y dos toneladas; operan individualmente o en turnos de rotación

(compartiendo extractores) de modo discontinuo, o unidos formando un túnel continuo con esclusas de vacío.

INSTRUMENTACION

Durante la puesta en marcha del método (antes de que comenzara su explotación industrial) fueron muy utilizados los controles de temperatura con pares termoelectrónicos; hoy están dejando paso a otros tipos de control. Los dos factores límite más importantes son la temperatura de producto congelado (temperatura de sublimación) y la temperatura de las capas deshidratadas más próximas al medio de calentamiento. En uno de los sistemas comerciales se controlan estos valores a intervalos regulares aislando la cámara de deshidratación durante períodos breves. Durante estos períodos de aislamiento la presión de vapor de la cámara alcanza el equilibrio con la presión de vapor en la superficie de sublimación del hielo; la temperatura del hielo se reduce entonces automáticamente, la velocidad a que se alcanza el equilibrio no sólo indica la rapidez de deshidratación, sino que señala además el momento en que se ha alcanzado el punto térmico final del proceso. (Fellows, 1994)

Las microondas también se pueden aprovechar para reducir el tiempo de liofilización, en efecto, las microondas atraviesan fácilmente, sin producir recalentamientos, la capa seca exterior que como se sabe opone durante la liofilización una resistencia acusada a la transferencia de calor por conducción; por lo tanto, es al final de la liofilización cuando las microondas presentan más interés.

La principal dificultad reside en las descargas eléctricas que se producen bajo vacío y que, al mismo tiempo que constituyen una pérdida de energía, dañan al producto. Otro problema es la obtención de un campo eléctrico homogéneo, con referencia a esto tiene una importancia básica la geometría de la cámara de resonancia del aparato. (Cheffel, 1998)

Se asegura que los alimentos elaborados por este sistema se conservan durante cinco años. Este método se emplea para la elaboración de raciones militares en forma de barras (raciones de 3 Kg de barras de peperoni, estofado y jugo de naranja), que se reconstituyen con facilidad adquiriendo a veces incluso su forma y tamaño originales (Urger, 1982).

INSTALACIONES TIPOS DE LIOFILIZADORES

Los liofilizadores consisten esencialmente en una cámara a vacío, dotada de unas bandejas donde se coloca el alimento a liofilizar y de unos calentadores para suministrar el calor latente de sublimación. Para la condensación del vapor se emplean serpentines refrigerantes dotados de un sistema automático de descongelación con objeto de mantenerlos libres de hielo, para que su capacidad de condensación se mantenga. Este aspecto es muy importante ya que la mayor parte del gasto energético se emplea para la refrigeración de los condensadores y, por tanto, el rendimiento de un liofilizador viene determinado por la eficacia del condensador:

$$\text{Eficacia} = \frac{\text{Temperatura de sublimación}}{\text{Temperatura del refrigerante en el condensada}}$$

Los vapores no condensables son eliminados mediante bombas de vacío. Los liofilizadores se caracterizan por el método más utilizado para el suministro calórico a la superficie del alimento. Los sistemas más corrientemente empleados son: la conducción y la radiación. En la actualidad se están poniendo a punto liofilizadores de calentamiento por microondas (el calentamiento por convección carece de importancia, dado el vacío

relativo existente en la cámara de liofilización). De cada tipo de liofilizador existen versiones de funcionamiento discontinuo y continuo.

En las instalaciones discontinuas el producto se coloca en una cámara de liofilización hermética y la temperatura se mantiene inicialmente a 100-120°C, reduciéndose posteriormente de forma gradual a lo largo de la deshidratación(6-8hr). Las condiciones adecuada para la liofilización dependen del alimento, pero su temperatura superficial no debe superar en ningún caso, los 60°C. En los sistemas de liofilización continuos la entrada y salida de las bandejas se efectúa a través de compuertas de seguridad. Las bandejas circulan, colocadas entre placas calefactoras, en vagonetas que circulan a través de distintas zonas de calentamiento de una cámara que se mantiene a vacío. Las temperaturas de calentamiento y el tiempo de permanencia en cada zona se programan previamente para cada alimento y un microordenador mide y controla el tiempo de liofilización, la temperatura, presión en la cámara y la temperatura en la superficie del producto.

LIOFILIZADORES POR CONTACTO

En estos liofilizadores, el alimento va colocado en bandejas compartimentadas que descansan sobre placas calefactoras. En estas instalaciones la liofilización es más lenta, ya que el calor se transmite por conducción tan sólo por una cara del alimento. Además, el contacto entre el alimento a congelar y la superficie calefactora es desigual, lo que reduce la velocidad de transferencia calórica. Por otra parte, se produce también una caída de presión en la masa de alimento, que provoca diferencias entre la velocidad de liofilización de la capa superior e inferior. La velocidad a la que se mueve el vapor (3ms⁻¹, aproximadamente) provoca que las partículas de menor tamaño resulten arrastradas. En compensación, la capacidad de liofilización de este tipo de instalaciones es más elevada.

LIOFILIZADORES ACELERADOS

En estas instalaciones entre el alimento y las placas calefactoras existe una malla metálica. Ello hace que la transferencia de calor sea más rápida que a través de placas continuas y que el vapor se elimine de la superficie del alimento con mayor facilidad, lo que reduce el tiempo de liofilización.

LIOFILIZADORES POR RADIACION

En estas instalaciones, el alimento, distribuido en bandejas en capas de poco grosor se calienta por radiación. Este sistema de calentamiento es más uniforme que por conducción, ya que las irregularidades de la superficie del alimento influyen aquí menos sobre la velocidad de transferencia calórica. Además no se produce una caída de presión en la masa del alimento, por lo que las condiciones de liofilización se mantienen constantes. Como la velocidad del vapor es de 1 ms^{-1} aproximadamente, no existe el riesgo de arrastre de las partículas de menor tamaño. Por otra parte, no es preciso que exista un contacto íntimo entre el alimento y la superficie calefactora, por lo que pueden utilizarse bandejas planas, que son más baratas y de más fácil limpieza.

LIOFILIZADORES DE CALENTAMIENTO DIELECTRICO Y POR MICROONDAS

Los calentadores dieléctricos y por microondas tienen una aplicación potencial en la liofilización pero hasta el momento no han sido utilizadas para este propósito en instalaciones industriales. La liofilización por microondas es un proceso difícil de controlar ya que el factor de pérdida de agua es más elevado que el del hielo y si en algún punto del alimento el hielo llegara a fundirse se provocaría una reacción de sobrecalentamiento en cadena.

Un método de liofilización modificado es el que se denomina "reversible freeze-dried

compression". Mediante este método, el alimento se liofiliza hasta la eliminación del 90% de su contenido en agua y seguidamente se comprime en forma de barras a una presión de 69 000 Kpa . Al contenido en agua residual (que mantiene el alimento elástico durante la compresión) se elimina posteriormente por deshidratación al vacío.

Se asegura que los alimentos elaborados por este sistema se conservan durante cinco años. Este método se emplea para la elaboración de raciones militares en forma de barras (raciones de 3 kg. de barras de peperoni, estofado y Jugo de naranja), que se reconstituyen con facilidad adquiriendo a veces incluso su forma y tamaño originales.(Unger, 1982).

LIOFILIZADORES DISCONTINUOS

Los componentes esenciales de un liofilizador discontinuo son una cámara de vacío, un sistema de vacío y un sistema de calentamiento. Las cámaras de liofilización son esencialmente similares a los secaderos a vacío de placas. Las partes que conectan directamente con los alimentos suelen ser de acero inoxidable y las restantes superficies internas están adecuadamente revestidas.

El sistema de vacío tiene que ser capaz de evacuar inicialmente la cámara en un corto período de tiempo para evitar la fusión del producto congelado. En la práctica esto viene a significar que la presión de la cámara se reduzca a un valor entre 5 y 1 torr (675 y 135 N/m²) en menos de 10 min. Seguidamente la presión de la cámara tiene que ser reducida al nivel deseado para la deshidratación, normalmente inferior a 1 torr (135 N/m²). El sistema de vacío tiene que extraer el vapor de agua producido durante la deshidratación, los gases liberados del alimento y el aire que penetre en la cámara por las fugas. Normalmente en la evacuación inicial se emplean bombas de alto vacío, empleándose después bombas de menor capacidad o de mantenimiento que funcionan durante la deshidratación.

Para producir y mantener el vacío de la cámara suelen usarse comercialmente condensadores refrigerados provistos de un sistema de bombeo mecánico La mayor

parte del vapor de agua se condensa en forma de hielo (escarcha) sobre placas o serpentines refrigerados, utilizándose las bombas para eliminar los gases no condensables y el vapor residual. La colocación de dos o más condensadores en cámaras separadas o independientes conectadas a la cámara de deshidratación a través de compuertas deslizables o válvulas facilita el descarchado durante la operación o funcionamiento del secadero. En lugar de sistemas condensador-bomba pueden emplearse eyectores de vapor de múltiples fases, si bien éstos son menos eficaces cuando la presión de la cámara es baja. Las características de los diferentes sistemas de vacío se exponen en diversas obras.

También se ha investigado el uso de condensadores de superficie rascada para eliminar la escarcha que se forma o de sistemas de absorción en los que el vapor de agua es absorbido por una sustancia como el glicerol o glicol, aunque hasta ahora tales métodos no se han empleado comercialmente. Se ha señalado que en ciertas circunstancias las velocidades de desecación pueden mejorarse mediante la liofilización a presión cíclica, en la que el producto se somete a repetidos cambios cíclicos de presión, del orden de 2 a 0.2 torr (2.7 kN/m² a 27 N/m²).

El aporte de calor al producto congelado puede hacerse por conducción o radiación o a partir de una fuente de microondas. Los dos primeros métodos se usan comercialmente frecuentemente combinados. El método más simple de aportar calor por conducción consiste en colocar el alimento sobre bandejas metálicas y colocar las bandejas sobre estantes formados por placas calientes como en la desecación a vacío de placas. Inevitablemente se produce cierto grado de deshidratación en la superficie caliente del producto dando origen a la formación de una capa seca que reduce la transferencia de calor. La temperatura de las placas no deberá ser excesivamente elevada sobre todo en las primeras fases de la deshidratación con objeto de evitar la fusión del hielo. Si la conducción de calor se efectúa por ambas caras del producto, empleando placas calientes operadas hidráulicamente con objeto de conseguir un buen contacto térmico, los tiempos de deshidratación se reducen algo pero puede dificultarse el escape de vapor de agua de la superficie, siendo necesario reducir la temperatura de las placas y

lenticular, por tanto, la deshidratación. Para solucionar este problema se ha desarrollado el método de liofilización acelerada (Accelerated Freeze -Drying Method, AFD) En este método el alimento se intercala entre dos capas de metal expandido, con lo que se consigue un buen contacto térmico durante la deshidratación al mismo tiempo que se facilita el escape del vapor.

El calentamiento radiante por una o ambas caras teóricamente debería producir un calentamiento uniforme y una temperatura constante. Un método usado comúnmente consiste en el calentamiento por conducción por contacto directo con la superficie inferior del producto y el calentamiento radiante por la parte superior, colocando bandejas de alimento entre placas calientes separadas unas de otras por espacios fijos. En tales circunstancias se consigue una deshidratación más rápida que con el calentamiento radiante solo. Se ha señalado que el uso de bandejas de aluminio plegado con compartimento de unos 5.04 cm de anchura y de profundidad, en lugar de las bandejas metálicas planas, aumenta la velocidad de transferencia de calor tanto por radiación como por conducción y permite la deshidratación más rápida de determinados productos, particularmente de aquellos que poseen estructura granular.

A primera vista el calentamiento con microondas parece ser la forma ideal de calentamiento para la liofilización. Puesto que los factores de pérdida de hielo y del agua son considerablemente mayores que los de los componentes secos, el núcleo de hielo debería absorber la energía preferencialmente. No obstante, existen dificultades para controlar el aporte de energía ya que el factor de pérdida aumenta con la temperatura de forma que a medida que el núcleo de hielo se calienta absorbe más energía. Esto, junto a los problemas derivados de la naturaleza heterogénea del alimento, puede ocasionar la descongelación. La descongelación plantearía un grave problema porque el factor de pérdida del agua líquida es mucho mayor que el del hielo y se produciría una evaporación rápida que haría explotar el producto. Otro problema es el de la ionización de los gases ramificados del liofilizador pero éste puede solucionarse en parte usando fuentes de alta frecuencia como 2450 MHz y bajas presiones en la cámara. La energía de las microondas no ha sido aplicada comercialmente a la liofilización de alimentos,

aunque resulta particularmente prometedora para el “acabado” de los productos liofilizados.

Experimentalmente se ha investigado otras técnicas de aporte de calor durante la liofilización, entre ellas el empleo de placas calientes provistas de agujas huecas que penetran en el alimento y el uso del calor radiante aplicado a la superficie de un lecho de producto granular en el que se puede ir quitando la capa seca a medida que se forma. Por ahora ninguna de estas técnicas se ha aplicado comercialmente.

La capacidad de un liofilizador discontinuo típico viene a ser de unos 408.6Kg de producto acabado, siendo el ciclo de deshidratación, con la mayor parte de los productos del orden de 7-8 hrs.

UNIDADES DE CABINAS MULTIPLES

Se usan mucho para liofilizar alimentos a gran escala, siendo la capacidad de producción del orden de 5.080 Kg/día. Una unidad típica consta de cuatro cabinas cada una de ellas dotada de sus propias placas calentadoras, hallándose conectadas las cuatro cabinas a dos conducciones de evacuación, una de ellas para efectuar las evacuaciones iniciales y la otra para mantener la presión adecuada durante la deshidratación. Las cabinas se cargan secuencialmente a intervalos adecuados que dependen del alimento, normalmente cada 2-3 horas, y el sistema de vacío se controla para mantener las presiones apropiadas en cada cabina.

LIOFILIZADOR DE TUNEL

Los túneles de liofilización han sido diseñados para capacidades de producción muy grandes. Este tipo de unidad consta de un túnel cilíndrico de unos 1.9-2.4 m de diámetro provisto con placas calentadoras. La longitud del túnel depende en gran parte de la capacidad de producción deseada y generalmente consta de diversas secciones individuales estándar. El túnel completo se halla equipado de antecámaras herméticas de

entrada(carga) y salida(descarga) situadas en ambos extremos. Las cargas se introducen en el túnel a intervalos adecuados por la antecámara de entrada, en la que se hace el vacío rápidamente después de cada carga. Cuando la carga pasa de la antecámara de entrada al túnel propiamente dicho, una compuerta que se desliza a presión cierra la antecámara, en la que puede ya romperse el vacío para admitir la carga siguiente. El producto liofilizado se saca de forma similar por la antecámara de salida (descarga), en la que el vacío puede romper admitiendo un gas inerte.

Para que la operación sea eficaz los sistemas de vacío y de calentamiento tienen que estar diseñados de acuerdo con la carga de las diferentes secciones del túnel. Tanto la carga calórica como la carga de vapor disminuyen a medida que avanza la deshidratación.(Fellows,1994)

OTROS SISTEMAS DE LIOFILIZACION DE ALIMENTOS

Uno de ellos es la liofilización a presión atmosférica en la que la sublimación se efectúa exponiendo el alimento a una corriente de aire seco y frío a presión atmosférica. En otros sistemas se utilizan secadores de tambor giratorio, de lecho fluidizado, de aspersión y múltiples otras formas de equipo de deshidratación aplicado a la liofilización.

Debido al alto capital de costo y de mantenimiento en operación y a las rígidas exigencias del envasado, la liofilización resulta un método de conservación muy caro.

Entre las aplicaciones de la liofilización figuran la deshidratación de café, té, carne y pescados(gambas, langostinos) y de algunas frutas y verduras. (Bibiao, 1986)

CAPÍTULO TRES

DESHIDRATACIÓN

MÉTODOS DE DESHIDRATACION

La deshidratación es el método más antiguo de conservación de alimentos y puede llevarse a cabo de diversas formas. La eliminación directa del agua puede tener lugar por tres métodos básicos: desecación solar, deshidratación mecánica y liofilización.

En los alimentos deshidratados, debido a la mínima actividad de agua, los microorganismos no pueden proliferar y quedan detenidas la mayoría de las reacciones químicas y enzimáticas de alteración.

No se debe confundir el secado con la pérdida de agua, que incluso muchas veces no es deseable, que surgen durante algunos tratamientos tales como la cocción del pan, la maduración de los quesos, el almacenamiento de la carne, el tostado del café etc.

Desde luego el secado de granos de cereales, frutas (tratadas previamente con anhídrido sulfuroso para limitar las pérdidas debidas a los insectos o a los mohos), así como de la carne y del pescado se hizo al aire, sol o sombra, pero después se aceleró mediante una ventilación apropiada, por el calor de un fuego (empleo de hornos), y resultó eficaz con el humo o la adición de sal o azúcar.

Los modernos métodos de secado buscan otros fines que la simple preservación en los alimentos, la reducción de peso y algunas veces de volumen, constituye una importante ventaja para el transporte y almacenamiento (importación de alimentos); la comodidad de empleo también es una característica muy buscada (café o leche soluble instantáneo, puré de patatas precocido y deshidratado etc.

La deshidratación solar, limitada a los climas cálidos y secos, se emplea con frutas como pasas, ciruelas e higos, que se extienden en bandejas y se les da vuelta ocasionalmente durante la deshidratación. La deshidratación mecánica convencional, realizada en hornos o túneles, implica el paso de aire caliente por el alimento, especialmente las hortalizas, que se cortan o trituran para aumentar la relación aérea: volumen con lo que mejora la eficiencia de la deshidratación. Actualmente se emplea mucho el principio del “lecho fluidizado” en el que se inyecta aire caliente entre las partículas de alimento que se mantienen en un estado de agitación que aumenta más la eficacia de la deshidratación. Los alimentos líquidos, como la leche y ovoproductos como el café pueden deshidratarse nebulizando o atomizando el producto en una corriente de aire caliente; esta técnica ha superado con mucho a la deshidratación por tambores que antes se empleaba mucho en productos lácteos.

La liofilización consiste básicamente en la deshidratación a gran vacío del material congelado, que se calienta lo suficiente para permitir que el hielo se convierta directamente en vapor de agua (sublimación). Esta técnica, utilizada corrientemente con carnes y pescados que se desnaturalizan si se deshidratan por métodos corrientes, propociona el producto de más alta calidad que puede obtenerse por cualquiera de los métodos de deshidratación; en particular la lesión celular se reduce al mínimo, lo mismo que las distintas reacciones degradativas que a menudo acaecen durante la deshidratación convencional, como desnaturalización proteínica y reacciones de pardeamiento enzimático y no enzimático.

Generalmente, se considera como deshidratación (y la liofilización constituye uno de los métodos de deshidratación) un procedimiento que permite eliminar por vaporización o sublimación la mayor parte del agua de un alimento líquido o sólido. Por el contrario, la concentración (por evaporación, congelación, filtración a través de membrana, concentración osmótica, centrifugación, prensado mecánico, extracción de agua por disolventes) sólo retira cierta proporción de esa agua y generalmente no resulta suficiente para asegurar, por sí sola, la preservación del alimento.

Los procedimientos de deshidratación pueden clasificarse en tres categorías principales:

Secado por aire o por contacto, a la presión atmosférica. El calor se aporta al alimento por aire caliente (convección) o mediante una superficie caliente (conducción). En todos los casos, el vapor de agua formado se mezcla con el aire, que constituye así el medio que sirve para eliminar el vapor.

Secado bajo vacío. El procedimiento tiene la ventaja de que la presión reducida facilita la evaporación del agua. La transferencia de calor se efectúa por conducción, o por radiación (calentamiento dieléctrico o radiación a partir de una superficie caliente). Generalmente, el vapor de agua se retira por condensación en estado líquido o por aspiración (eyector de vapor).

Crio-deshidratación (liofilización). Primero se congela el alimento, después se sublima el hielo formado (transformación directa en vapor de agua), en condiciones apropiadas de temperatura y presión. Lo más frecuentemente es eliminar el vapor de agua por condensación al estado de hielo. Este procedimiento en "fase sólida", conserva claramente la estructura del alimento.

MEZCLAS AIRE-VAPOR DE AGUA

En el caso de los procedimientos de secado de la primera categoría, que son claramente los más utilizados, el vapor de agua formado se mezcla con el aire, que constituye así el medio que sirve para transferir el vapor. Por otra parte, durante el secado por aire caliente, es el aire el que constituye el medio que sirve para la transferencia de calor.

En este procedimiento de secado se ve que es más barato que la atomización, Sin embargo no se conservan de manera óptima las cualidades organolépticas y nutricionales (posible sobrecalentamiento). Se utiliza para la preparación de leche en polvo, puré de patatas, harinas y alimentos infantiles precocidos, troceados de frutas y legumbres, alimentos para animales.

DESHIDRATACION POR ATOMIZACION

Este procedimiento se utiliza principalmente para huevos y derivados lácteos y consiste en atomizar los líquidos en el seno de una corriente de aire caliente que circula a cierta velocidad. Aunque el calor es la causa principal de alteración de las proteínas, aquí son de suma importancia los fenómenos que se producen en la superficie de las partículas. Así, por ejemplo, las fuerzas cortantes que aparecen durante el bombeo y la atomización de la clara de huevo líquida es posible que causen efectos perjudiciales a las proteínas y también a las propiedades funcionales del producto.

Así mismo, es posible que la gran superficie de las partículas sea el motivo de una desnaturalización con la consiguiente reducción de las propiedades del producto para ser batido, por ejemplo. Sin embargo, es relativamente bajo el porcentaje de proteína desnaturalizada, en condiciones de atomización adecuadas

La aplicación de este procedimiento, en condiciones bien establecidas y controladas, a la leche y productos lácteos, provoca relativamente pequeños cambios a la estructura de las proteínas y su solubilidad.

DESHIDRATACION AL VACIO

I) EL PROCESO DE LIOFILIZACION ACELERADA

Este proceso se ha desarrollado tanto que puede liofilizarse un producto en una pequeña fracción del tiempo normalmente requerido para la liofilización. La carne cruda o cocida en picadillo, filetes o cubos se coloca entre las placas de calentamiento del armario de vacío de placas de contacto, que se colocan inicialmente a 15°C. La deshidratación se comienza aplicando el vacío; el enfriamiento evaporativo congela el material o lo conserva congelado si se precongela. Cuando la temperatura cae hasta unos -10°C, se sube entonces la de las placas a 60-90°C con el correspondiente incremento de la

velocidad de evaporación. En las últimas etapas de la deshidratación se vuelve a reducir la temperatura de las placas, para evitar que el calor dañe al producto. La deshidratación se termina por lo común en una 5-10 horas, según el tipo de alimento que se trate. Los productos son muy porosos y se reconstituyen en agua fría con gran rapidez; los que se cocieron antes de la deshidratación, no requieren nuevo tratamiento los que no se cocieron pueden cocerse en casi todas las formas en que es posible hacerlo con el producto fresco. También pueden tratarse así el jamón, el tocino, y la carne de pollo.

Esta técnica de liofilización acelerada permite la preparación de alimentos compuestos, por ejemplo guisos de carnes y vegetales preparados antes de la deshidratación, etc.

2)EL PROCESO NEOZELANDES

El principio es semejante al proceso Zimmerman. La carne se deshuesa, se congela y se corta en piezas de 6.5 X 1 cm. Se vierte sobre grasa fundida a una temperatura de unos 72°C; se aplica calor y vacío (1 mm de mercurio o menos) y se destila la mayor parte del agua a temperatura relativamente baja (inferior a 50°C). A medida que la carne se deshidrata su temperatura va subiendo gradualmente hasta alcanzar los 72°C de la grasa, para lo que se necesitan unas cuatro horas; al cabo de este período el contenido final de agua ha quedado reducido a un 5%. Se rompe el vacío, se deja escurrir el exceso de grasa y se termina por limpiar la grasa por centrifugación.

Para preparar una carne picada deshidratada se puede utilizar una modificación de este proceso. (VereJones, 1957)

3) EL SISTEMA CANADIENSE

Los canadienses han experimentado otro sistema de liofilización. Los trozos de carne congelados, de unos 2.5 cm de grosor, se colocan entre placas con púas que penetran a través del tejido. Utilizan temperaturas de placa de 40-60°C, logrando la deshidratación hasta niveles mínimos de agua en 2-8 horas, según el tamaño de la pieza que se trate. Sumergida en agua, la pieza se rehidrata con gran facilidad y la carne se condimenta de

manera normal. Los mismos autores han tratado recientemente del empleo de radiaciones para el calentamiento, lo que parece tener algunas ventajas en el método descrito. El método de liofilización acelerada abrió camino al empleo industrial de la liofilización, pero los tipos que se están utilizando comercialmente son en realidad tipos nuevos de armarios deshidratadores. En estos deshidratadores se utiliza el calentamiento por radiación o conducción, o la combinación de ambos; los tiempos de deshidratación son casi tan breves como los obtenidos por liofilización acelerada, con la ventaja de precisar un equipo menos complejo y ser menos exigente en lo que se refiere a carga de bandejas y a uniformidad de la superficie de los alimentos en las mismas. (Walter, 1957)

MAQUINAS DE DESHIDRATACION UTILIZADAS PARA ALIMENTOS

La transferencia de calor que aporta la energía necesaria para la transformación del agua en vapor (principalmente calor latente de vaporización)

La transferencia de vapor de agua a través y fuera del alimento.

Del valor de los diferentes parámetros que permiten regular la intensidad de estos fenómenos (temperatura del producto, superficie de intercambio, humedad, temperatura, presión y movimiento de los fluidos presentes en la atmósfera que rodea el alimento) depende la velocidad de deshidratación, la calidad del producto, el rendimiento energético del secador, el coste de la operación, etc.

Se efectúa con aire caliente en túneles generalmente en túneles de dos etapas) en armarios deshidratadores o en deshidratadores de tipo continuo (de cinta transportadora) con flujo de aire a través. La deshidratación suele completarse en deshidratadores de acabado o en armarios de bandejas profundas; también se ha empleado la liofilización acelerada.

DESHIDRATADOR DE CADENA EN ARTESA

Ha sido recientemente ideado en los Estados Unidos de América con objeto de preparar hortalizas parcial, pero uniformemente, deshidratadas, necesarias para el procedimiento

combinado antes mencionado.

Consiste en un transportador sin fin de tela metálica, sostenida y transportada por una cadena articulada, que es impulsada por tres ejes paralelos. La cinta sin fin forma una artesa entre los ejes; su fondo descansa sobre una superficie lisa en plano e inclinado, perforada, a cuyo través se impulsa hacia arriba aire caliente que atraviesa también la cinta sin fin. El alimento (fruta, guisantes, raíces cortadas en cubos) es depositado sobre la bandeja en una dirección paralela a la de los ejes; el movimiento de la cadena sin fin lo eleva hacia el borde de la artesa, de donde cae de nuevo al fondo de la misma, y asciende en plano inclinado describiendo una espiral, hacia el extremo de descarga ajustable.

Permite la utilización de temperaturas extraordinariamente altas en virtud del movimiento continuo a que está siendo sometida la carga de alimentos; los cubos de zanahoria de 1 cm de lado pueden desecarse en 20 minutos hasta reducir su peso en un 65%, a temperaturas de bulbo seco de 150 °c y de bulbo húmedo de 45°C.

ARMARIOS O CAMARAS DE DESHIDRATAACION

Los armarios o cámaras de deshidratación sirven para deshidratar hortalizas, frutas, cereales etc. Y consisten en un armario, un calentador, un ventilador para forzar la circulación del aire, deflectores y entradas y salidas de aire ajustables.

Permiten un control riguroso del proceso y sirven para deshidratar materiales que precisan condiciones de deshidratación muy distintas. En los deshidratadores de armarios ortodoxos, el material a deshidratar se extiende en bandejas o se cuelga de ganchos, y se hace circular un chorro de aire por entre las sustancias allí colocadas.

Durante el proceso de deshidratación el agua de los alimentos a deshidratar se transforma en vapor, que es absorbido por aire circulante. Una proporción determinada del aire recircula; la proporción exacta depende del grado de humedad que se precisa en la cámara de deshidratación. (Amos,1969)

DESHIDRATADORES CONTINUOS DE CADENA TRANSPORTADORA

El alimento se somete en ellos a la acción del calor mientras es transportado sobre un cinta sin fin de acero inoxidable. Si operan a la presión atmosférica, la cadena sin fin está perforada, en cada una de las cuales se controla la temperatura y la humedad (los principios fundamentales que gobiernan su funcionamiento son semejantes a los descritos para los deshidratadores de corriente superficial). El modelo más simple emplea una sola cadena. Existen numerosos modelos que utilizan dos o más cadenas que circulan a distintas velocidades , de modo que los alimentos pasen rápidamente y en capas relativamente finas a través de las zonas iniciales más calientes, y más despacio, y en capas más gruesas, cuando están ya parcialmente deshidratados en las últimas zonas, que son las más frías.

En los secaderos continuos de vacío los alimentos descansan sobre cadenas de acero o placas que se deslizan sobre tambores o tubos calientes, complementados a veces por rayos infrarrojos dirigidos hacia la otra cara. Algunos secaderos de este tipo poseen una cámara de vacío que contiene numerosos transportadores sin fin entrelazados, que se deslizan sobre placas calientes; los alimentos a deshidratar pasan de una a otra cinta sin fin. Los secaderos continuos de vacío son extraordinariamente valiosos para la deshidratación de productos que no pueden someterse a temperaturas muy altas o que se oxidan con algunos productos como leche, productos lácteos y jugos de fruta y se utilizan especialmente en la deshidratación de café soluble. (Von Loesecke, 1955)

DESHIDRATADORES DE TAMBOR(RODILLOS)

Con esta técnica se consigue la deshidratación del producto gracias a la formación de una fina película del alimento en la superficie de un rodillo giratorio calentado interiormente mediante corriente de vapor. Para obtener un producto de calidad, se ha de controlar especialmente el tiempo y la temperatura. En algunas ocasiones, se origina el

característico gusto de compuestos quemados y se reduce la solubilidad de las proteínas si no se vigilan adecuadamente los factores citados(Fennema,1992)

La sustancia a deshidratar se extiende formando una película delgada, en forma de líquido o amasijo, sobre uno o dos tambores calentados por vapor. La deshidratación transcurre en unos cuantos segundos, en menos de una revolución del rodillo o tambor; la película se separa entonces de la superficie del rodillo mediante una cuchilla. La mayor parte de los secados de este tipo operan en condiciones atmosféricas, pero si el producto puede quedar perjudicado por contacto con el aire, los rodillos pueden incluirse en una cámara de vacío.(Von Loeseke ,1955)

Pueden utilizarse para la deshidratación de líquidos, como leche, suero y jugos de fruta; recientemente se ha ideado un proceso para fabricar así copos de patata, que permiten la reconstitución de puré. También puede prepararse en ellos la sopa de vegetales y carne previamente cocida, y sopas vegetales en polvo.(Hill,1957)

DESHIDRATADORES DE ACABADO

La velocidad de deshidratación en las etapas finales de la deshidratación está limitada por la velocidad de difusión del agua desde el centro de la pieza de alimento a deshidratar, hasta la superficie donde la evaporación tiene lugar. Se trata de un proceso lento, con frecuencia es preferible utilizar deshidratadores de acabado a emplear el túnel, armario o secadero continuo durante los prolongados períodos necesarios para el descenso de la humedad hasta valores muy bajos. En los secados de acabado el aire fluye a través de una profundidad considerable de hortalizas casi secas. Puede ofrecer la forma de un bidón de 1-3 m de profundidad, de base perforada, a cuyo través se impulsa el aire. La mayoría de estos secadores, son de tipo discontinuo, pero algunos están dispuestos para un funcionamiento continuo. Otro tipo de secados de acabado consta de un armario, provisto de numerosas bandejas profundas, a través de las cuales circula aire caliente. En todos los casos se emplean temperaturas de aire relativamente bajas, generalmente del orden de 60°C; el período de desecación varía entre 3-12 horas. (Amos

1969)

DESHIDRATADORES DE LECHO FLUIDIZADO

Han sido ideados en los Estados Unidos de América para la desecación final de "gránulos de papa" (de puré de papa en polvo).

El polvo parcialmente deshidratado (con alrededor de un 12 % de agua) se deposita formando un lecho de 5 a 6 cm de profundidad sobre una placa horizontal perforada. Se hace pasar una corriente de aire caliente a través de la placa, de abajo arriba, el aire separa las partículas de papa y las mueve de modo que el lecho de sustancia a deshidratar se comporta como un líquido en ebullición y fluye a través del sistema, desde la entrada colocada en un extremo a la salida por el extremo opuesto. Las partículas se deshidratan uniformemente, en virtud de la mezcla sufrida en el lecho de partículas fluidizadas, a velocidades de aire muy bajas; el proceso tiene lugar, por tanto, con una gran economía calorífica.

DESHIDRATADORES DE TORRE

Son uno de los secados más antiguos y más simples; constan de una habitación o cámara con un suelo de deshidratación perforado, sobre el cual se deposita el material a desecar directamente o en bandejas con fondo de malla. El calentamiento puede tener lugar directamente por métodos relativamente grandes, merced al flujo convencional directo de los gases de combustión, o por sistemas más controlables en los que se regula el flujo por medio de un ventilador y un humidificador, o indirectamente por un cambiador de calor. Estos secadores no pueden utilizarse en la fabricación de la mayor parte de los alimentos deshidratados para el consumo humano, porque no tienen un control suficiente para la obtención de un producto satisfactorio; Sin embargo en algunas ocasiones se deshidratan así ciertas frutas (manzanas por ejemplo) En torres de este tipo se deshidratan numerosos productos para la alimentación animal (heno, trébol, granos etc. (Von Loeseke 1955)

SECADEROS DE CORRIENTE SUPERFICIAL

Una buena parte de la deshidratación que se efectúa en la actualidad se lleva a cabo en secadores de este tipo, que pueden ser de armario o de túnel.

En todos los secadores en los que el secado depende del aire caliente se requieren volúmenes de aire muy grandes para transportar calor al producto a deshidratar y arrastrar el agua evaporada. Con objeto de economizar calor conviene recircular una parte del aire; no se debe permitir que la recirculación eleve la humedad del aire hasta un grado que dificulte gravemente la deshidratación. En la construcción de secados de corriente superficial se precisan por tanto ventiladores de gran capacidad, unidades de calentamiento de aire, conducciones de aire que vayan del calentador a la cámara de deshidratación, vías de recirculación controladas por humidificadores y vías de entrada y salida del aire, controladas también por humidificadores.

Los principios generales en que se basa la deshidratación en aire caliente son los siguientes:

El flujo del aire debe ser considerable, sobre todo en las etapas iniciales, cuando hay abundante agua a evaporar; se considera recomendable una velocidad de 2000 a 3000 metros por minuto.

Suelen considerarse convenientes temperaturas de bulbo seco altas y temperaturas de bulbo húmedo bajas en las etapas iniciales, con objeto de provocar una evaporación rápida. La temperatura del alimento se aproxima a la temperatura de bulbo húmedo del aire circulante mientras se evapora libremente el agua; si la temperatura de bulbo húmedo es baja no se perjudica al producto aunque la temperatura de bulbo seco sea alta; la deshidratación excesivamente rápida puede, sin embargo, provocar la formación de costra.

En las últimas etapas de la deshidratación, cuando la velocidad de evaporación depende fundamentalmente de la migración del agua del centro del producto a la superficie, disminuye el enfriamiento por evaporación, elevándose la temperatura del producto hacia la de bulbo seco del aire circulante; es preciso reducir entonces la temperatura de bulbo seco del aire para no dañar al producto.

Durante las últimas etapas de la deshidratación lenta la migración del agua a la superficie es extraordinariamente lenta y se precisan deshidrataciones prolongadas a temperaturas suficientemente bajas que no alteren el producto (54-63°C). Estas etapas finales se efectúan con preferencia en secados de acabado. (Bhatia 1959)

DESHIDRATADORES DE ARMARIO

El alimento se extiende en capa fina encima de bandejas, generalmente de 5 a 75Kg por metro cuadrado; pueden emplearse cargas superiores si se efectúa una redistribución durante el período de deshidratación. Las bandejas se colocan en armarios; sobre las bandejas circula aire caliente a temperatura y humedad controladas, debe procurarse que el flujo de aire afecte homogéneamente a las bandejas. El calor suele ser suministrado por radiadores calentados por vapor y a veces por resistencias eléctricas. En algunos tipos de secaderos de armario pequeños el aire caliente se impulsa verticalmente a través de las bandejas

En los secadores de armario grandes las bandejas suelen disponerse en vagonetas, que pueden introducirse y sacarse del armario. En algunos casos todo el proceso de deshidratación se efectúa en un solo armario; en otros se disponen los armarios de manera que las vagonetas cargadas de bandejas pasen de uno a otro a temperatura y humedad distintas según se indican en los principios fundamentales antes expuestos. Finalmente, en otros casos sólo se lleva a cabo en ellos una parte de la deshidratación, completándose el proceso en secaderos de acabado. La recirculación en los armarios es tan abundante como las condiciones de humedad lo permitan; en los sistemas de armarios con múltiples etapas el aire pasa del armario de etapa final al de la etapa

inicial.(Amos 1969)

DESHIDRATADORES DE TUNEL

La mayor parte de las hortalizas deshidratadas durante la segunda guerra mundial se prepararon en secaderos de este tipo; los modelos mejores combinan una gran capacidad y una excelente calidad de producto. Al igual que en la mayor parte de los secadores de armario se hace pasar una corriente de aire caliente sobre el alimento extendido en bandejas colocadas en vagonetas. Las vagonetas son arrastradas a través del túnel encima de rieles, a mano o por otro procedimiento. El aire puede circular:

Concurrentemente, es decir, en la dirección en que se mueven las vagonetas (En los Estados Unidos de América se les llama de flujo paralelo)

Contracorrientemente, es decir, en dirección opuesta al movimiento de las vagonetas

Combinando los flujos concurrente y contracorriente, en túneles separados, en túneles paralelos o mediante túnel de escape central.

Túnel de flujo concurrente

En estos túneles el aire más caliente y más seco coincide con el material más húmedo y asegura una velocidad de operación más rápida. El aire queda parcialmente enfriado y su temperatura va paulatinamente cayendo a medida que pasa sobre las sucesivas vagonetas del túnel. La temperatura de bulbo seco del aire puede haber caído en el extremo final del túnel desde 95-100 °c a 60-65°c; arrastra el extremo final de los túneles concurrentes no permite la recirculación de una porción considerable del aire; se necesita que llegue continuamente aire frío a los calentadores, estos túneles son por ello muy poco económicos y consumen mucho calor.

Túneles contracorriente

El aire caliente pasa por encima del material más seco, a una temperatura bastante baja que no perjudique al producto (unos 70°C). El enfriamiento provocado por la evaporación a lo largo del túnel hace que el aire esté mucho más frío al llegar al extremo húmedo (es decir, al extremo por el que entran las vagonetas cargadas con el material a deshidratar), la evaporación es relativamente lenta durante esta etapa; La simplicidad de su funcionamiento ha hecho que los túneles contracorriente gocen, sin embargo, de gran popularidad. En secadores de este tipo se deshidrata en U.S.A. la mayor parte de la fruta y una parte considerable de las hortalizas. (Von Loeseke 1955)

DESHIDRATADORES PORTATILES

Están diseñados de modo que se les pueda transportar a los lugares donde sean necesarios. Generalmente son del tipo continuo o del tipo rotativo y su uso está fundamentalmente limitado a trabajos agrícolas: deshidratación de granos y hierbas.

DESHIDRATADORES ROTATIVOS

Se construyen en forma de cilindros giratorios; provistos de mecanismos que mantienen a la sustancia a desecar en movimiento, de manera que no se pequen a los lados ni se apelotonen. El calentamiento tiene lugar por contacto entre el material a deshidratar y tubos calentados a vapor situados en el interior, o aire calentado por carbón, gas u otro combustible. El aire caliente pasa en algunos tipos a un tambor a presión, y la salida tiene lugar por succión, de modo que en el interior se consigue un sistema en equilibrio. A este tipo responde el secadero Roto-louvre, que tiene tabiques dispuestos en posición radial o tangencial, de modo que formen canales a través de los cuales pase el gas o gases calentados; todos los gases pasan por el lecho de material a deshidratar y cada partícula contacto con el medio de calentamiento. Los secadores rotativos se utilizan para la deshidratación de azúcar, sal, grano, harina de pescado y otras sustancias de naturaleza granulada

DESHIDRATADORES ESPIRALES

Se utilizan mucho en Europa para deshidratar el grano. Constan de un cilindro giratorio con dos o tres espirales. La sustancia a deshidratar se introduce en las espirales a través de transportadores adecuados y circula a lo largo de los mismos al exterior de los tambores, de donde es deshidratado por medio de cuchillas. El aire caliente sigue la misma trayectoria que la sustancia a deshidratar. Las espirales provistas de tabiques aseguran el contacto con el aire de la sustancia a deshidratar. La capacidad evaporativa de este tipo de deshidratador es de 1 7 Kg de agua por hora por metro cúbico de volumen de cilindro. (Hill, 1957)

DESHIDRATADORES DE NEBULIZACION O ATOMIZADORES

Su característica fundamental es la brevedad del contacto entre el material a secar y el medio deshidratador (generalmente aire caliente). Cuando se deshidrata en ellos leche, el líquido queda transformado en polvo en unos 30 segundos. Ofrecen ventajas evidentes en la deshidratación de sustancias susceptibles de sufrir decoloraciones, oxidaciones, pérdidas de aroma o desnaturalización proteínica al calentarlas durante tiempos ligeramente superiores; han sido adoptados para la deshidratación de diversos productos, como leche, levaduras, extractos vegetales, jugos de frutas y plasmas sanguíneos.

Constan de los siguientes elementos principales.

Calentador y ventilador para proporcionar aire a la temperatura y velocidad necesarias

Atomizador para producir partículas de líquido del tamaño adecuado

Cámara, en la que las pequeñas gotas de líquido entran en contacto íntimo con el aire caliente.

Sistema de recogida del producto deshidratado

El calentador de aire, situado entre el ventilador y la cámara, es de tipo standard; según

la temperatura deseada (que oscila entre 93 y 650°C), puede utilizarse vapor, aceite caliente, gases de combustión o electricidad. El ventilador debe ser capaz de suministrar a la cámara aire a la velocidad requerida (generalmente entre 15 y 50 metros por segundo). Si se requiere un producto de gran pureza, se hace pasar al aire previamente a través de un filtro para eliminar las impurezas antes de entrar en el calentador.

MECANISMO DE ATOMIZACION

Tal vez sea el atomizador el componente más importante de estos secadores, tiene la misión de suministrar el líquido de una manera continua, en forma de pequeñas gotas de tamaño uniforme, en una dirección controlada. Ha de ser capaz de operar durante períodos largos en condiciones ordinarias.

Hay tres tipos principales de atomizadores:

De presión (de chorro); es el tipo más antiguo; el líquido llega a una presión de unos 200 Kg. /cm² (y en los desecadores de huevos hasta 400 Kg/cm²) y pasa a través de un orificio diminuto situado en un disco que gira a gran velocidad.

Un tipo parecido que emplea aire o vapor de agua a presiones de orden de 20 Kg / cm² y velocidades de líquido bajas.

Atomizador centrífugo, que parece ofrecer muchas ventajas en numerosos productos; no ofrecen riesgo de bloqueo, operan lo mismo con suspensiones que con disoluciones y dan un producto de partícula más bien gruesa.

Presentan a veces inconvenientes derivados de las corrientes laterales provocadas por el movimiento del disco; puede remediarse mediante el control cuidadoso de las corrientes de aire. Existen numerosos atomizadores centrífugos que difieren en la forma y tamaño del disco y que han sido ideados con objeto de lograr la máxima dispersión de las gotas. Este procedimiento se utiliza principalmente para deshidratar huevo y derivados lácteos. (Seltzer, 1949)

CAMARA DE DESHIDRATACION

Es la parte del deshidratador en que entran en contacto las gotas y la corriente de aire y, en la que el calor sensible del aire se transforma en el calor latente del vapor de agua; ofrecen numerosas variantes. En uno de los sistemas más populares consta de un cuerpo cilíndrico y una base cónica, el atomizador suele estar localizado en la parte superior; el producto suele recogerse en el fondo de la tolva cónica.

Las cámaras varían con los medios adoptados para distribuir la corriente de aire. Algunos modelos emplean, por ejemplo, una sola corriente de aire caliente (que es introducida a través de un distribuidor anular de tipo especial que proporciona una velocidad de giro uniforme) dirigida hacia abajo, en la misma dirección que el atomizador da a las gotas. El gas residual sale de la cámara a través de una vía colocada en el centro, que sale del lado de la base cónica de la cámara. Para evitar una evaporación prematura antes de que las gotas hayan sido totalmente dispersadas se hace pasar una corriente vertical de aire frío, hacia abajo, por encima del atomizador, con objeto de enfriar el aire en sus proximidades. Si la atomización no es uniforme se forman algunas gotas grandes que no están totalmente deshidratadas.

Existe otro tipo con un solo chorro de aire distribuido por una paleta giratoria en una cabeza circular; el gas residual se elimina por la parte superior de la cámara. Otros fabricantes emplean un cuerpo de forma semejante, pero con dos atomizadores, dos conductos de aire introducidos a través de la pared lateral de la porción cilíndrica y extracción del gas residual por la parte superior de la cámara a través de filtros de saco. Estos filtros de saco están provistos de agitadores mecánicos. Hay otros tipos que también utilizan filtros de saco situados en torno a las paredes laterales para recuperar el polvo del gas residual, pero difieren por poseer un cuerpo con secciones horizontales cuadradas; el atomizador y el conducto de entrada del aire están situados en el centro de la parte alta de la cámara. Las cámaras suelen ser soldadas, y estar construidas en acero blando, cobre recubierto de estaño, aluminio o acero inoxidable.

Hay que prestar gran atención al tamaño de las cámaras y en especial a su diámetro.

Para lograr una atomización determinada es imprescindible que el diámetro de la cámara sea lo bastante grande como para que las partículas no entren en colisión con la pared antes de su total deshidratación, pero no debe serlo tanto que no permita controlar la atomización y el flujo de gas lo suficiente para lograr una interacción uniforme entre el aire y las partículas. El diámetro mínimo a usar depende en general del tamaño y uniformidad de las partículas que salgan del atomizador. No son infrecuentes diámetros de hasta 10 metros en cámaras que operan con partículas de número de malla 20-50, diámetros inferiores a 1.75 metros no suelen encontrarse porque representan grandes dificultades de operación y trabajan con partículas de un tamaño muy fino (número de malla 150-200).

La mayor parte del polvo formado en las cámaras cae al fondo sobre la tolva cónica; se retira generalmente por un tornillo sin fin; algunos de los polvos más finos son arrastrados por la corriente de aire; existen numerosos procedimientos de recuperación. El aire residual puede ser lavado con agua, haciéndole pasar hacia arriba a través de una pequeña torre en cuyo fondo corre el agua, o donde el gas es liberado del polvo por el propio líquido a deshidratar antes de ser bombeado al atomizador. Son más frecuentes los ciclones o los filtros de saco. Cuando el producto es suficientemente valioso pueden utilizarse conjuntamente ciclones y precipitadores electrostáticos.

DESHIDRATADORES DE CORRIENTE DE AIRE A TRAVES DEL LECHO

El aire fluye hacia arriba o hacia abajo a través del lecho constituido por el alimento a deshidratar. Este principio suele aplicarse en los secadores continuos de cadena transportadora y en un tipo particular de secador de armario muy usado en Europa. Son muy rápidos y proporcionan un producto de excelente calidad, a lo que sin duda contribuye la brevedad del período de deshidratación (2-4 horas según producto).

Consisten en un armario rectangular con diez bandejas (en uno de los modelos las bandejas tienen unos 6 m² de superficie) apiladas en dos grupos de cinco.

El inconveniente de estos deshidratadores estriba en que necesitan una gran cantidad de mano de obra y en que consumen algo más vapor por unidad de agua evaporada que los

deshidratadores de armario o los de transportador bien calculados.

La ventaja que ofrecen es la brevedad del período de deshidratación y la posibilidad de cuidar el producto en las etapas intermedias de que consta el ciclo. (Amos, 1969)

DESHIDRATADORES DE TURBINA

Se usan mucho para secar granos y constan fundamentalmente de un cilindro de chapa metálica, vertical, perforado, provisto de ventiladores que fuerzan al aire a través del producto a secar, en dirección horizontal, y lo devuelven al centro del secador una vez que ha pasado a través de los serpentines de calentamiento colocados en la parte externa del cilindro. El ciclo se repite hasta que se descarga el aire por la parte superior; el aire frío que llega al fondo del secador enfría al grano ya seco, que se descarga mientras que los granos verdes que entran por la parte superior se calientan o precientan por medio del aire de salida antes del secado.

Es un tipo de secador muy valioso, de gran eficacia y que no permite el endurecimiento de la superficie del grano antes del término de la deshidratación (Hill 1957)

DESHIDRATADORES DE VACIO

La deshidratación al vacío ofrece algunas ventajas; puede llevarse a cabo a temperaturas más bajas que al aire, con la consiguiente disminución del peligro de alteración por el calor. No permite además la oxidación durante la deshidratación.

Hay numerosos tipos de secadores de vacío:

tipo armario:

Consiste fundamentalmente en un armario de paredes gruesas, que puede envacuarse mediante una bomba o un sistema de eyección. El armario tiene una serie de estantes en los que se colocan las bandejas con el alimento. Las bandejas pueden ser huecos y calentarse por paso a su través de agua, aceite o vapor calientes, o pueden, por el contrario, ser directamente calentadas. En algunos casos se calientan por medio de radiaciones las partes superiores de los productos a secar. Este tipo de secadores sólo

puede utilizarse, en general, con películas muy finas de alimento, lo que junto con el material auxiliar necesario (condensadores, bombas de vacío etc) eleva considerablemente el costo.

Suele decirse que esta elevación del precio queda compensada por su superior calidad del producto, en especial por retener más ácido ascórbico. Los secadores de vacío de este tipo se utilizan para preparar un número limitado de alimentos, tales como jugo de naranja en polvo y manzana deshidratada, etc, cada día van siendo más aplicados a las frutas.(Von Loeseke 1955)

tipo de placa de contacto:

El armario de vacío contiene una serie de placas horizontales huecas, con laberintos internos, a través de los cuales circula aire caliente a la manera de los secadores de vacío tipo armario, se diferencian de ellos en que las placas pueden reunirse para contactar por ambos lados con el alimento, formando un sándwich, consiguiendo así una transferencia óptima de calor. Operan con mayor rapidez y poseen mayor capacidad de carga por unidad de superficie de bandeja. Al arrugarse el alimento a consecuencia de la pérdida de agua, puede mantenerse el contacto continuo, apretando más las placas.

Los alimentos se depositan en bandejas de hoja de aluminio para formar una capa de grosor uniforme que se cubre con una placa semejante y queda así colocada entre dos placas de calentamiento; se produce el vacío en la cámara y se hace circular agua caliente por entre las placas, controlando la temperatura para lograr la que en el alimento se desee. En 4-8 horas se alcanzan contenidos en agua de 1.5-6% (según el material a deshidratar y la densidad de carga)(Hay 1955; Westherley 1956)

Se ha experimentado este proceso en pescado, carne, fruta y hortalizas, pero ha quedado superado por la nueva maquinaria diseñada para la liofilización, que ha acortado considerablemente el tiempo de deshidratación. (Gooding 1957; Rolfe 1956)

Tipo continuo:

Los secadores de vacío, tanto los de tipo armario como los de tipo de placas de contacto, tienen el inconveniente de ser de operación muy laboriosa. Algunos tipos de alimentos líquidos o semilíquidos permiten reducir considerablemente el trabajo, empleando

secadores de vacío continuos de tipo transportador ya descritos en la sección correspondiente.

Liofilizadores

La presión de vapor del hielo a 0°C es de 4.6 mm / Hg. Si el hielo se mantiene en vacío, de manera que la presión de vapor del agua en torno sea inferior, destilará vapor del hielo, sin pasar por el estado líquido (es decir, el hielo sublimará). Durante el proceso de sublimación se absorbe calor latente y la temperatura desciende; al descender la temperatura cae la presión de vapor del hielo. La diferencia de presión de vapor entre el hielo y el entorno disminuye y finalmente la sublimación cesa. Si se transmite suficiente calor al hielo para mantener su presión de vapor a niveles sustancialmente superiores a las de la atmósfera que les rodea (pero sin calentarlo lo bastante para fundirlo), la sublimación continúa. Este es el fundamento de la liofilización.

La instalación suele contar de un secador de vacío tipo armario con equipo de vacío capaz de reducir la presión a límites inferiores a 1 mm / Hg

El alimento se congela (puede congelarse enfriándolo por evaporación en el propio liofilizador) y el proceso transcurre en dos etapas: en la primera se sublima el hielo hasta perder aproximadamente el 95% de su contenido en agua; en la segunda se calientan los estantes a 35-40°C y se evapora el resto del agua hasta conseguir finalmente humedades del orden del 0.5%. (Flosdorf 1949)

Es un proceso lento, citándose para la mayor parte de los productos alimenticios cifras según las cuales la deshidratación tiene lugar a velocidades del orden de 1 mm por hora a -18 °C y 250 micras de presión. La velocidad de desecación es constante durante el primer período, hasta que se ha evaporado todo el hielo. Este período representa aproximadamente el 80% del tiempo de deshidratación total.

Si se utiliza como liofilizador un secador de vacío de placas de contacto el agua de

calentamiento de las placas se mantiene a unos 15 °c durante una hora, usándose sólo placas de contacto muy ligeras. La presión de la cámara se mantiene alrededor de 1 mm de Hg y la temperatura del alimento a -10°c.

La temperatura de las placas se eleva luego a valores entre 60 y 100 °c y se le permite después descender a los 60°c. El período normal de deshidratación es de 5-10 horas según el material a deshidratar. (Rolfe 1956; Hanson 1959)

Este tipo de liofilización, conocida como *liofilización acelerada*, comienza a ser comercialmente utilizada. El proceso puede acelerarse aún más insertando chapas de metal expandido entre las placas calentadoras y los alimentos, lo que proporciona simultáneamente un contacto térmico adecuado y canales para el escape del vapor de agua. (Forrest 1959)

Algunas modificaciones del proceso de liofilización pueden emplearse para deshidratar líquidos; también se preparan de este modo los solubles de café y té en Gran Bretaña.

El deshidratador de carne neozelandés.

Es un cilindro vertical que contiene en su parte inferior grasa fundida y conectado por su parte superior a un condensador a través de una conducción de vapor. La grasa se calienta haciéndola circular a través de un calentador externo, asegurándose la circulación por los cambios de densidad de la columna de grasa, determinados por la presencia en ella de vapor de agua que proviene de la carne que está siendo deshidratada. La circulación de la grasa es rápida en las primeras etapas de la deshidratación, en las que también lo es la evaporación, y lenta en las etapas finales, lo que no tiene gran importancia porque entonces la pérdida de calor sufrida por la carne a causa de la evaporación es también lenta, y sólo se requiere una circulación mínima para reemplazar este calor.

La carne se introduce a través de un orificio por encima del nivel de la grasa y el producto se elimina por la base del cilindro.

LIOFILIZADORES

El proceso de liofilización, recientemente desarrollado, no es sino una aplicación en condiciones especiales del principio de deshidratación a vacío.

El desarrollo comercial de este proceso está teniendo lugar con gran rapidez; en 1961 ya unas 60 cámaras de liofilización en diversas partes del mundo destinadas al trabajo comercial o experimental. (Amos, 1969)

DESHIDROCONGELACION

Combina las ventajas de la deshidratación y de la congelación y elimina alguna de las ventajas de ambos procedimientos. La deshidratación es rápida durante las etapas iniciales, pero durante los últimos períodos es muy lenta. En la preparación de los alimentos sometidos a este tratamiento combinado se elimina el largo período final; la deshidratación se efectúa sólo hasta eliminar aproximadamente la mitad del agua originalmente presente y si el tamaño de la pieza es adecuado puede determinarse en menos de media hora. El producto se congela entonces por las técnicas ordinarias de congelación rápida.

Para obtener un resultado satisfactorio es imprescindible la deshidratación uniforme de toda la pieza del alimento; se ha ideado deshidratadores especiales con este objeto. (Lowe, 1955)

Los alimentos tratados así no necesitan ser rehidratados antes de su cocción o de su preparación culinaria; su calidad y su capacidad de conservación son tan buenas, al menos, como las de los correspondientes productos supercongelados. Requieren aproximadamente la mitad del espacio de almacenamiento que precisan los alimentos congelados normalmente. (Talbur 1950; walker 1955)

LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS POR DESHIDRATACIÓN

La conservación de los alimentos por desecación se basa en el hecho de que tanto los microorganismos como las enzimas necesitan agua con objeto de mantener su actividad. Al conservar los alimentos por este procedimiento, se intenta rebajar su contenido de humedad hasta un grado en el que resulta inhibida la actividad de los microorganismos, tanto de los que los alteran como de los que producen intoxicaciones alimentarias.

FACTORES QUE REGULAN LA DESHIDRATACION

El estudio de la adecuada regulación de la deshidratación incluye los siguientes factores

1. Temperatura empleada

Esta temperatura depende del alimento y del procedimiento de deshidratación que se utilice.

2. Humedad relativa del aire

También depende del alimento y del procedimiento de deshidratación que se utilice y, además, del estado de deshidratación de aquél.

3. Velocidad del aire

4. Duración de la deshidratación

La regulación inadecuada de estos factores puede ocasionar el endurecimiento superficial del alimento como consecuencia de que la evaporación de humedad a nivel de la superficie es más rápida que la difusión de la misma desde el interior, lo que da como resultado la formación de una película superficial dura, quertinizada e impermeable que impide que el alimento se siga deshidratando.

DESHIDRATADORES NEUMATICOS DE SOLIDOS

En esencia, los deshidratadores neumáticos son columnas por las que circula, hacia arriba, una corriente de aire caliente. En la parte inferior del deshidratador se coloca el producto húmedo en gránulos que son transportados hacia arriba por la corriente de aire caliente. En uno de los tipos más frecuentemente utilizados la velocidad de la corriente de aire se reduce en las proximidades de su parte superior incrementando la sección del

ESTA OBRA NO SE
DE LA BIBLIOTECA

deshidratador, y el aire se dirige entonces hacia abajo con la ayuda de un deflector colocando encima de la columna: el producto se deposita en un colector. Entre los productos fabricados en deshidratadores de este tipo se halla el puré de patata. (Olson, 1953)

TRATAMIENTOS A LOS CUALES SE SOMETEN LOS ALIMENTOS ANTES DE SU DESHIDRATACION

La mayoría de los tratamientos previos a los cuales se someten los alimentos a deshidratar tienen importancia por su efecto sobre la población de microorganismos.

Entre estos tratamientos previos se pueden incluir:

1. La selección y clasificación de los alimentos teniendo en cuenta su tamaño, estado de madurez e integridad.
2. El lavado, sobre todo de las frutas y hortalizas.
3. El pelado de las frutas y hortalizas a mano, con máquinas, con una solución de lejía o por abrasión.
4. El troceado en mitades, a rodajas, en fragmentos o en dados
5. La inmersión en un baño alcalino, tratamiento que se emplea principalmente en las pasas, uvas y ciruelas empleándose para ello una solución caliente de lejía o de carbonato sódico de concentración comprendida entre el 0.1 y el 1.5 %.
6. El blanqueado o escaldado de las hortalizas y de algunas frutas como albaricoques o melocotones y
7. La sulfuración de los frutos.

Los alimentos líquidos como la leche, los Jugos y las sopas, se pueden evaporar empleando temperaturas relativamente bajas y vacío en un tanque de vacío o en un aparato parecido, se pueden deshidratar en cilindros haciéndolos pasar sobre la

superficie externa de un cilindro caliente, con vacío o sin vacío o se pueden deshidratar por pulverización, pulverizando el líquido sobre una corriente de aire caliente seco. (Mosser, 1989)

DESHIDRATACIÓN DURANTE EL SULFURADO

Se ha propuesto el calentamiento electrónico para eliminar todavía mayor cantidad de humedad de un alimento de por sí ya bastante deshidratado. En la actualidad se presta atención a la deshidratación en forma de espuma, en la que los alimentos líquidos se baten hasta formar espuma, se deshidratan con aire caliente y finalmente se muelen, de la misma forma que también se presta atención a la insulfación de los alimentos sólidos mediante un tubo de aire a presión con el fin de obtener una estructura porosa que facilita su ulterior deshidratación.

En los concentrados de tomate, en la leche, y en las patatas, ha dado buenos resultados la deshidratación en ciertas hortalizas. Las frutas se sulfuran exponiéndolas al bióxido de azufre gaseoso que se desprende en la combustión del azufre, de forma que sea absorbida una proporción de 1000 a 3000 ppm. , Según de qué fruta se trate. Las hortalizas se pueden sulfurar de forma parecida tras ser blanqueadas, o bien se pueden sumergir en una solución de sulfito o rociarlas con esta solución. La sulfuración contribuye a mantener en las frutas un color ligero y llamativo, conserva su contenido de vitamina C y tal vez de vitamina A y ahuyenta a los insectos, también destruye la mayoría de los microorganismos existentes

El lavado de las frutas y de las hortalizas elimina la tierra y otras partículas y tiene por objeto eliminar los microorganismos. También existe la posibilidad de que se añadan microorganismos si el agua es de mala calidad, ya que la humedad superficial puede favorecer la multiplicación de los microorganismos si se les concede oportunidad para ello. Es posible que el lavado de los huevos resulte más perjudicial que beneficiosos, a no ser que se empleen enseguida, ya que la humedad facilita la penetración de las bacterias a través de la cáscara.

El pelado de las frutas y de las hortalizas, sobre todo con vapor de agua o con lejía, debe reducir el número de microorganismos, ya que la mayoría de los microorganismos se suelen encontrar en la superficie externa de estos alimentos. Tanto su división como su troceado no deben incrementar el número de microorganismos, si bien lo aumentará en el caso de que el equipo no esté suficientemente limpio y desinfectado.

La inmersión en soluciones alcalinas, que se emplea en algunas frutas antes de deshidratarlas al sol, puede reducir la población microbiana.

El blanqueado o escaldado de las hortalizas también ocasiona una importante reducción del número de bacterias, representando esta reducción incluso un 99 % en algunos casos. Es posible que después del blanqueado aumente el número de bacterias como consecuencia de la contaminación del equipo y de que se les concede la oportunidad de multiplicarse.

El tratamiento con dióxido de azufre de las frutas y hortalizas también ocasiona una importante reducción del número de microorganismos y tiene por objeto inhibir la multiplicación en el alimento deseado.

DURANTE LA DESHIDRATACION

El calor que se aplica en todo el tratamiento de deshidratación de un determinado alimento ocasiona una reducción del número total de microorganismos, aunque su eficacia depende tanto de las especies y del número de los mismos inicialmente existentes en el alimento en cuestión, como del procedimiento de deshidratación que se emplee. Normalmente resultan destruidas todas las levaduras y la mayoría de las bacterias y también las células vegetativas de una pocas especies de bacterias termorresistentes.

En el tratamiento de los alimentos por liofilización, la congelación destruye un número de microorganismos mayor que el que destruye la deshidratación.

Cualquier procedimiento de deshidratación que suponga cambios de temperatura bruscos e importantes, tanto si se trata de su aumento durante la deshidratación por aplicación de calor como si se trata de su disminución durante la liofilización, es probable que ocasione trastornos del metabolismo de algunos microorganismos haciéndolos más exigentes en cuanto a necesidades nutritivas.

DESPUÉS DE LA DESHIDRATACION

Si el tratamiento de deshidratación y las condiciones de almacenamiento son apropiados, en el alimento deshidratado no habrá multiplicación microbiana.

Durante el almacenamiento, tiene lugar una ligera disminución del número de microorganismos, más rápida al principio y más lenta después (Frazier, 1937)

Los principales alimentos deshidratados son los siguientes:

Leches en polvo (completa o descremada), frutas desecadas, café en polvo, legumbres (en especial puré de patata, legumbres para sopas, ajos, cebollas, champiñones), huevos en polvo. Las pastas alimenticias, algunas preparaciones de carne, algunos alimentos para animales (principalmente mezclas de harinas), se aprovechan más del secado que de la deshidratación.

Desde el punto de vista físico, la eliminación de agua de un alimento húmedo, se hace usualmente retrándola bajo la forma de vapor. En la operación intervienen dos fenómenos fundamentales:

VEGETALES DESHIDRATADOS

La conservación de vegetales por medio de la deshidratación es una de las prácticas más antiguas utilizadas por el hombre. Los vegetales encierran en sus tejidos los elementos necesarios para que sea posible en ellos la vida de los microorganismos, debido a su gran contenido en humedad y a la alta concentración de sustancias nutritivas en sus tejidos, especialmente aptas para permitir el desarrollo microbiano. La

deshidratación de frutas y hortalizas tienen por objeto disminuir su contenido en humedad provocando así la concentración de sus elementos químicos en disolución y la plasmolización de los microbios, los cuales no pueden multiplicarse en esas condiciones.

La humedad de frutas y hortalizas, oscila del 75 al 90% y los productos una vez deshidratados, deben tener al final del proceso un contenido en agua del orden del 10 al 20% con lo cual se consigue su conservación por largo tiempo.

Las ventajas que ofrece la deshidratación de vegetales podemos resumirla en:

- En períodos de abundancia permite transformar grandes cantidades de productos, evitando así que se pierda la cosecha.
- Con la deshidratación de frutas y hortalizas, conseguimos que su consumo se prolongue durante todo el año.
- Al disminuir su peso y volumen, hace más fácil su almacenamiento y transporte. Se conserva únicamente la parte comestible, ya que se desprecia en su elaboración, pieles, huesos etc.
- El costo de elaboración es menor, ya que las operaciones son más sencillas y no hay además necesidad de agregar conservadores.

Desde el punto de vista bromatológico, las frutas y hortalizas deshidratadas, tienen un mayor poder alimenticio, ya que al perder gran parte de su contenido en agua se concentran sus hidratos de carbono, sustancias pécticas, proteínas, grasas y sales minerales que se encuentran en sus tejidos.

Como desventajas del proceso de deshidratación podemos apuntar:

- Pérdida de aroma y sabor
- Cambio de color. En algunos productos oscurecimiento de sus tejidos.
- Disminución del contenido en vitaminas.
- Rehidratación lenta; generalmente incompleta.

Las causas principales de estos fenómenos son el calor, la larga duración del proceso y la presencia de oxígeno

SISTEMAS DE DESHIDRATACION

Las frutas y hortalizas pueden ser deshidratadas por dos procedimientos básicos; deshidratación natural al sol y deshidratación artificial.

Dado que este segundo sistema requiere disponer de hornos adecuados y un material complejo, para extraer la humedad de los vegetales y la aplicación de procedimientos más propios de la industria conservera; descubrimos únicamente la deshidratación natural al sol, de fácil aplicación en el medio rural.

El factor principal para la deshidratación natural al sol es sin duda el que tiene relación con las condiciones climáticas de la zona.

Para llevar a cabo la deshidratación natural, es necesario que el clima sea seco, con grado higrométrico bajo, escasas precipitaciones y gran cantidad de horas de sol, buena evaporación, con régimen de vientos favorables y temperaturas altas.

Cuanto más bajo sea el grado higrométrico del aire, mayor será la humedad capaz de absorber de la fruta y hortaliza que se desean deshidratar. Este grado higrométrico es variable con las estaciones y las horas del día. Generalmente es más bajo en el verano y en las primeras horas de la tarde.

El régimen de lluvias es un factor importante, debiendo ser escaso durante los meses en que se proceda a la deshidratación; o a lo sumo, que las precipitaciones sean en períodos muy breves.

La evaporación debe ser rápida, para lo cual interesa que el aire saturado que está en contacto con el producto se renueve frecuentemente. Es decir, que circule lo más rápidamente posible, sobre todo cuando la temperatura del ambiente sea más bien baja.

El sol juega un papel muy importante en la deshidratación ya que al aumentar la temperatura por efecto de las radiaciones solares, la deshidratación se hace más

rápidamente.

La temperatura es un factor básico, ya que a medida que se eleva, permite al aire una mayor absorción de la humedad hasta llegar prácticamente a su saturación.

INSTALACION DE SECADO

El lugar que se destina a colocar las frutas y hortalizas para la deshidratación, a fin de que sufra los efectos de la exposición solar, se denomina secado.

El secado debe emplazarse lejos de los caminos y carreteras para evitar que el polvo que se levante no se deposite sobre el producto a deshidratar. Así mismo deberá estar alejado de industrias o focos de infección, malos olores, etc. Que puedan contaminar a las frutas y hortalizas.

Deberá estar situado en dirección a los vientos dominantes, libre de obstáculos que dificulten la circulación del aire. No es aconsejable sin embargo, instalarlo en zonas de mucho viento, conviene por otra parte que el terreno tenga una ligera inclinación hacia el Norte. El suelo del secado se apisonará y regará para que quede apelmazado. El lugar elegido dispondrá de agua corriente y espacio suficiente para seleccionar y preparar los frutos con objeto de ponerlos en condiciones de secado. Tendrá unas construcciones próximas donde guardar las frutas y hortalizas así como los enseres precisos para llevar a cabo el proceso.

CAMARAS DE FUMIGACION

Estas cámaras se utilizan para efectuar el tratamiento de anhídrido sulfuroso que debe darse a determinadas frutas y hortalizas antes de exponerlas al sol. Generalmente estas cámaras se construyen de obra, o chapa metálica, utilizándose en algunos casos la madera.

DESHIDRATACION DE FRUTAS

Entre los frutos más idóneos para ser deshidratados encontramos: la ciruela, el higo, uvas, albaricoque y melocotón. En España prácticamente no tiene aceptación como frutas deshidratadas, peras y manzanas, ya que éstas se conservan perfectamente durante mucho tiempo por medio del frío

MELOCOTON O DURAZNO

Prácticamente todas las variedades de melocotón con pulpa dura son adecuadas para deshidratar. Las frutas deben recolectarse en el momento de su máxima maduración, prácticamente cuando son más apetecidas para el consumo directo, pero que conserven la suficiente firmeza para soportar el proceso de manipulación.

El fruto se partirá en dos mitades por medio de una guillotina o ayudándose de un cuchillo que seguirá la línea de sutura del melocotón, dando un corte circular en la pulpa, hasta el hueso, para proceder seguidamente a una torsión de sus dos mitades, operación que se realizará con ambas manos a las que se hará girar en sentido contrario, para separar sus dos mitades. En una de estas partes, quedará adherido el hueso, que será desprendido por medio de una navaja, que bordeará su contorno o ayudándose de una cucharilla metálica con sus bordes afilados, que se deslizará mejor alrededor del hueso.

Las mitades del melocotón se pelarán bien manualmente, o sumergiéndolas en una disolución de sosa cáustica en ebullición.

El fruto partido, deshuesado y pelado, se pondrá en bandejas con la cavidad hacia arriba, para llevarlo a la cámara de fumigación, donde se mantendrán de cuatro a seis horas, en contacto con el anhídrido sulfuroso.

Una vez fumigados los frutos, se llevan las bandejas al secado, donde se mantienen al sol, hasta que se haya evaporado el jugo que tenía la fruta en la cavidad del hueso. Seguidamente se da la vuelta a las mitades de melocotón para unificar su deshidratación.

La deshidratación al sol durará hasta que los melocotones pierdan del 50 al 75% de su humedad.

La duración de la deshidratación es variable, dependiendo de: tamaño del fruto, grado de madurez, variedad, etc.

El melocotón estará en su punto cuando al tomar un puñado de fruta y comprimirla fuertemente con la mano puede separarse con facilidad encontrándose flexible y no pegajosa.

Una vez finalizado el proceso, se procede a la exudación del fruto durante quince o veinte días, al cabo de los cuales estará en condiciones para su envasado y conservación.

.CIRUELAS

Las ciruelas deshidratadas son uno de los frutos más apetecidos. Las variedades que se utilizan son en general todas las de pulpa consistente y de color oscuro.

Deben recolectarse cuando hayan alcanzado su color, aroma y máxima maduración. Por lo general suele esperarse a que comiencen a caer los frutos del árbol, para iniciarse su recogida. Para activar la caída se procede a sacudir los árboles, poniendo previamente bajo ellos, lonas o redes para evitar que las ciruelas den directamente en el suelo y se deterioren.

Las ciruelas una vez recolectadas y clasificadas por tamaños, deben sufrir un tratamiento previo con lejía, operación que tiene por finalidad eliminar la pruina de la piel y provocar a su vez un ligero agrietamiento para favorecer la deshidratación.

UVAS

La deshidratación de uvas tiene una gran tradición en muchos países. En España constituye una importante industria, sobre todo donde se produce la variedad Moscatel, conocida también con el nombre de Málaga. Otra de las variedades más idóneas para

deshidratar son la de Corinto Blanca y Negra, uva tradicionalmente utilizada en Grecia, donde se preparan las pasas de Corinto

El producto final, de mejor o peor calidad, está ligado fundamentalmente a la variedad utilizada, siempre que el proceso se haya efectuado correctamente.

Una uva debe recolectarse cuando las condiciones climáticas lo permitan, lo más tarde posible, ya que su cantidad de azúcares será mayor. a la vez que se inicia una previa deshidratación en la propia variedad, lo que da origen a un producto de mejor calidad.

Para obtener un buen deshidratado hay que tener en cuenta dos factores: el contenido en azúcares y la coloración de la uva.

La deshidratación de la uva puede llevarse a cabo bien al natural, es decir sin tratamiento alguno, o tratándola previamente en un baño de lejía. Los racimos en uno u otro caso, se extienden en las bandejas en una sola capa, y se ponen al sol, para que pierdan las tres cuartas partes de su humedad. A diferencia de la liofilización que debe de llevar un tratamiento de congelación previo para el proceso.

HIGOS

Las variedades más adecuadas para la deshidratación son: Blanca temprana, Cuello de dama, Napolitana, Negra y Blanca de Maella. Todas tienen los frutos tardíos, de piel fina y generalmente suelen ser más azucarados y menos jugosos.

Los frutos recolectados para deshidratar son bien maduros, cuando se desprendan de forma natural del árbol. Los frutos recolectados deben seleccionarse por tamaños a fin de realizar un secado uniforme en cada uno de los lotes.

Los higos una vez clasificados, se tratarán con una disolución de agua que lleve el 1 % de sosa cáustica, durante 30 o 40 segundos o bien se hierven durante 40-50 segundos en agua que lleve en disolución el 5 % de sal. Una vez tratados se llevan a las cámaras de fumigación donde en contacto con anhídrido sulfuroso, permanecerán de dos a cuatro horas.

La deshidratación se dará por finalizada, cuando al apretar el higo con la mano, mantenga su forma, sea flexible, consistente, suave al tacto y no exude jarabe.

DESHIDRATACION DE HORTALIZAS

JUDIAS VERDES

En general se utilizan todas las variedades destinadas al consumo humano. Deben de recolectarse cuando las vainas se han desarrollado totalmente, que se conserven tiernas y no hayan perdido su color verdoso.

Después de lavarlas, se les cortan sus dos extremos y los hilos. Se escaldan durante 8 o 10 minutos en agua hirviendo que lleve en disolución el 1% de bisulfito sódico. La desecación se hace al sol, hasta que hayan perdido un tercio de su humedad, para continuar a la sombra, dándose el proceso por finalizado cuando la judía se presente quebradiza y no exude humedad al apretarla.

APIO

Se eligen las plantas más tiernas, se lavan bien y se separan las pencas por un lado y las hojas por otro. Una vez seleccionadas se quitan hilos y manchas si hubiera en los tallos, despreciando igualmente las hojas amarillas. Cortarlas en trozos pequeños y escaldarlas durante uno o dos minutos en agua hirviendo que lleve en disolución el 0.25 % de bisulfito sódico. El proceso de deshidratación se sigue de la misma forma que las judías verdes.

ZANAHORIA

Seleccionar raíces tiernas con poca médula, se lavan y se pelan o raspan, cortándolas en sentido transversal en rebanadas de 4 a 5 mm y en tiras de 3 a 4mm.

El proceso se sigue de la misma manera anteriormente mencionada.

REPOLLO

Elegimos plantas bien desarrolladas y tiernas. Suprimir las hojas externas y deterioradas. Quitarles el tronco y cortar los repollos en sentido longitudinal y transversal en tiras de 8 a 10 mm.

Escaldar las tiras, la deshidratación hasta que estén quebradizas

NABOS

Seleccionar nabos tiernos y de reducido tamaño. Se lavan bien y se pelan. Cortarlos en rebanadas transversales de 4 a 5 mm de espesor y tiras de 3 a 4 mm.

Se hierven para escaldarlas y se deshidratan de la manera antes mencionada. (Hernandez-Bris, 1999)

DESHIDRACION DE LA CARNE

Durante la segunda guerra mundial se desarrolló un método utilizado para deshidratar carne troceada y cocida que puede resumirse así: se deshuesa la carne, se quita el exceso de grasa y se corta en piezas cúbicas de unos 5 cm de lado. Los cubitos de carne se cuecen en agua en caldera abierta hasta que adquieren una coloración parda, se sacan de la caldera y se enfrían en corriente de aire filtrado, en un cubo de enfriamiento. (Amos, 1969)

El caldo que permanece en la caldera tiene una gran cantidad de sustancias nutritivas y aromáticas procedentes de la carne y si se pretende que el producto final conserve todo su aroma y valor alimenticio debe añadirsele.

La grasa se separa del caldo y puede añadirse al producto final deshidratado (sí se quiere que tenga alto contenido en grasa). La fase acuosa se concentra hasta un volumen aproximadamente igual a $\frac{1}{4}$ del original y se vierte sobre las piezas de carne fría, inmediatamente antes de su trituración; el triturado se extiende en una capa floja y abierta sobre bandejas de tela metálica cargadas con un 20 Kg por metro cuadrado y se

introducen en un deshidratador de armario de corriente superficial.

La temperatura de bulbo seco durante la primera hora es de 80-82°C y desciende luego hasta alrededor de 62°C. La temperatura inicial de bulbo húmedo es de 51°C.

Para este proceso pueden utilizarse canales de novillas y terneras delgadas con un rendimiento de 50-55% y de las que se obtiene un 23.5-28.5% del peso de la canal de carne deshidratada standard (grasa, 40%; agua 7.5%). La deshidratación está influida por el contenido en grasa de la carne y debe procurarse que el producto seco contenga alrededor de un 30% de grasa. La carne triturada y desecada puede empaquetarse sin comprimirla en atmósfera de nitrógeno, también puede comprimirse directamente en latas o comprimirse en bloques y envasarse en recipientes de lámina metálica al vacío.

Se han puesto en marcha métodos más elaborados, basados en principios semejantes. En Nueva Zelanda se ha utilizado un sistema semicontinuo utilizando deshidratadores de túnel de cuatro etapas, en cada una de las cuales desciende la temperatura utilizada. Se han utilizado también deshidratadores con transportador y deshidratadores rotativos. (Hill, 1957)

La carne de cerdo por su contenido de grasa es muy inestable para la desecación en aire caliente, lo que dificulta el trabajo con este tipo de carne; si los cerdos se han criado de un modo adecuado no presentan este problema. (Sharp, 1953)

ESTABILIDAD DE LAS GRASAS EN LAS CARNES DESHIDRATADAS

La conservación a largo plazo de las carnes deshidratadas requieren disminuir la posibilidad de oxidación de sus grasas. Adecuadamente tratadas, ni la carne de bovino ni la de ovino se enrancian durante la deshidratación; la oxidación durante el almacenamiento puede evitarse comprimiendo el producto deshidratado en un recipiente, de manera que se expulse el aire antes de quedar herméticamente cerrado.

La carne de cerdo presenta mayores dificultades. La grasa de la mayor parte de los

cerdos es lo bastante inestable como para sufrir enranciamiento durante el secado con aire caliente, pero no si se seca al vacío.

La dieta y el nivel de nutrición de los cerdos afecta a la tendencia de su grasa al enranciamiento; los cerdos magros, que generalmente crecen muy despacio, suelen producir una grasa menos estable que los cerdos de crecimiento rápido, alimentados con una dieta rica en cereales. Los cerdos alimentados de esta última manera, de unos seis meses de edad, con canales de hasta 70 Kg, sirven para la preparación de carne de cerdo picada sin sufrir enranciamiento. Tanto si se seca al aire como si se liofiliza, es preciso que se envase con exclusión del oxígeno.

DESHIDRATACION DE LA LECHE

Los métodos de deshidratación varían considerablemente de acuerdo con los alimentos a tratar. Un mismo alimento puede ser además deshidratado por distintos procedimientos. Existen numerosos tipos de secadores o deshidratadores y son casi infinitas las variedades de cada tipo. (Walter, 1957).

ESTABILIDAD DE LOS ALIMENTOS DESHIDRATADOS DURANTE SU ALMACENAMIENTO

Durante el almacenamiento de los alimentos deshidratados acaecen muchos cambios, siendo la mayoría de origen no microbiano. El más corriente y más importante de los cambios es el pardeamiento no enzimático (reacción de Maillard) que consta de una serie compleja de reacciones químicas entre los azúcares reductores y los aminoácidos o proteínas. Los niveles de aw que deben de alcanzarse durante la deshidratación para frenar este pardeamiento son mucho más bajos que los necesarios para inhibir el crecimiento microbiano, por lo que así no habrá lugar a la alteración de este origen.

De hecho durante el almacenamiento disminuye el número de microorganismos viables, si bien las esporas bacterianas y fúngicas no se afectan. Si los alimentos deshidratados

se envasan defectuosamente o se almacenan en condiciones de humedad, pueden reabsorber agua suficiente para permitir el crecimiento de mohos, pero no el bacteriano que requiere más humedad

REHIDRATACIÓN

Cuando los alimentos deshidratados se rehidratan los microorganismos que contienen reaccionan del mismo modo que los de los alimentos congelados cuando se descongelan: presentan una fase de latencia del crecimiento y muchos microorganismos exhiben lesiones metabólicas. Sin duda la temperatura del agua de rehidratación ejerce un marcado efecto en la flora y en la posterior velocidad de alteración del alimento. Si se emplea agua hirviendo, predominará *Bacillus* sp. Y producirá la alteración, pero a temperaturas de rehidratación progresivamente menores, la flora será cada vez más variada y contendrá microorganismos más termosensibles. Cuando se usa el almacenamiento en refrigeración la vida de almacén de la mayoría de los alimentos rehidratados se limita a 1-2 días, pero si se hace uso del almacenamiento a temperatura ambiente lógicamente no será mayor de unas pocas horas.

ALIMENTOS DE HUMEDAD INTERMEDIA

El término de "alimentos de humedad intermedia" se aplica a un grupo heterogéneo de alimentos cuyos valores de a_w están comprendidos entre 0.60 –0.85 que equivalen a contenidos de humedad del 20-40% y que no necesitan refrigeración para su conservación. Comprenden frutas secas, determinados productos horneados y carnes y pescados salados, todos los cuales se han estudiado más atrás, además de mermeladas, jarabes y miel. La alteración del último grupo se atribuye a los osmófilos, microorganismos que crecen a concentraciones altas de azúcar (65-70%) y que toleran valores de pH bajos (<4). Los agentes alterantes más corrientes son las levaduras osmófilas (*Saccharomyces* y *Torulopsis* sp.) que fermentan la sacarosa con producción de alcohol. Ciertos mohos se desarrollan en la superficie de mermeladas, siendo los más

corrientes especies de *Aspergillus* y de *Penicillium* . Puesto que los osmófilos son termosensibles y por lo tanto, fácilmente destruibles durante el procesado térmico, la alteración por estos microorganismos sólo es posible después de una recontaminación, lo que puede ocurrir por un vertido defectuoso y después de abiertos los recipientes que los contienen. Además es probable que sea necesaria la reabsorción de humedad antes de que pueda iniciarse el crecimiento. (Hayes, 1987)

CAMBIOS POR DESHIDRATACION

El contenido acuoso antes de los tejidos comestibles de las plantas es mantenido antes de su recolección, por la propia planta hasta el comienzo de la senescencia. Durante la senescencia hay pérdida, por consiguiente, se produce la deshidratación. Cuando la humedad relativa del ambiente es suficientemente baja (60%) la actividad de agua en un producto determinado desciende hasta un nivel incomparable con el deterioro fisiológico, con el crecimiento microbiano y con los cambios químicos. Algunos productos, como los cereales, las legumbres, las uvas, los higos y los dátiles, se conservan de forma natural por deshidratación en el propio campo. Una vez recolectados, estos y otros productos pueden deshidratarse más, si fuese necesario, por la acción directa del sol o por múltiples métodos "artificiales".

La importancia de los cambios físicos, químicos, y bioquímicos que tienen lugar en los tejidos vegetales durante la deshidratación dependen en gran manera del sistema empleado y de la naturaleza del producto en cuestión. Las características de un determinado producto deshidratado al sol, deshidratado al vacío, por deshidratación osmótica, deshidratado al aire o liofilizado, son muy diferentes, ya que son muy distintos los factores de estrés a los que se ha sometido durante el proceso. Los sistemas de deshidratación lentos, como la deshidratación al sol, resultan a veces adecuados como, por ejemplo, cuando los cambios físicos y químicos que durante ésta tienen lugar mejoran la calidad del producto.

En estos casos, los sistemas de deshidratación al sol deben considerarse como un

sistema mixto de deshidratación- fermentación. Sin embargo, en la mayor parte de los casos conviene mantener la calidad original del producto, por lo que los sistemas de deshidratación "artificial" resultan más adecuados. Al igual que con los sistemas de conservación, el éxito de la operación depende de la elección de una materia prima adecuada (grado de madurez. cultivar) y de la utilización de los métodos más apropiados antes de, durante y después de la deshidratación.

TEXTURA

La textura de un producto deshidratado depende principalmente del sistema de deshidratación empleado, ya que en la mayor parte de los casos ésta se deteriora durante el proceso. Los vegetales liofilizados poseen a veces una textura semejante a la de los simplemente congelados (razonablemente buena). Si la deshidratación se realiza a temperatura elevada se genera a veces, en la superficie del producto, una capa impermeable que confiere a éste una textura gomosa. Los mecanismos responsables de los cambios de textura de las frutas y verduras deshidratadas son, sin duda alguna muy complejos e implican, tanto fenómenos de naturaleza física como química. El estado nativo de las macromoléculas, como proteínas y polisacáridos dependen de las condiciones del medio acuoso circundante, por lo que es de suponer que, cuando se utilicen métodos de deshidratación rudimentarios, se producirán cambios sustanciales y en cierto grado irreversibles.

COLOR

El principal cambio de color que se produce en los tejidos vegetales deshidratados, especialmente en la fruta, es el pardeamiento, que puede ser enzimático o no enzimático. El anhídrido sulfuroso se utiliza principalmente para evitar el pardeamiento no enzimático, pero resulta también eficaz para combatir el enzimático.

En los vegetales si se usa la deshidratación con aire caliente la clorofila puede convertirse

en feofitina, lo que provoca un cambio de aspecto ya que el color verde brillante se transforma en verde oliva oscuro.

AROMA

Como es de esperar, durante la deshidratación convencional se produce una pérdida considerable de compuestos aromáticos volátiles y como consecuencia de la reacción de Maillard y de otras reacciones químicas, se generan sustancias nuevas. Así, durante la deshidratación de las ciruelas se produce a partir del acetaldehído, crotonaldehído, sustancia que contribuye de forma importante al aroma característico de este producto deshidratado. En las coles y otros productos vegetales deshidratados los precursores del aroma resisten la deshidratación, por lo que se puede recuperar en parte el aroma del producto fresco adicionando, durante la rehidratación, un extracto enzimático adecuado. La liofilización permite conservar mejor el aroma original ya que las reacciones químicas y las pérdidas de sustancias aromáticas quedan reducidas al mínimo. (Fennema, 1995)

CONCLUSIONES

- ◆ La conservación de alimentos por secado puede llevarse de diversas formas de deshidratación (tres métodos básicos) deshidratación solar, deshidratación mecánica y liofilización, siendo mejor la liofilización.
- ◆ La conservación de alimentos por liofilización es de alto costo comparada con la congelación y deshidratación convencional, Sin embargo puede ahorrarse en el almacenamiento, en el transporte debido a la reducción de peso y volumen y los alimentos no requieren refrigeración. Además conservan sus propiedades nutricias y organolépticas como aspecto, aroma, sabor y textura, se facilita la incorporación de vitaminas y oligoelementos y disminuye la contaminación microbiana.
- ◆ Facilita la capacidad de almacenamiento bajo cualquier situación por períodos de mucho tiempo.
- ◆ Tiene múltiples aplicaciones como conservación de tejidos para transplantes plasma, vacunas, antibióticos, alimentos, etc.
- ◆ En la Industria Médica, Veterinaria y Farmacéutica se ha practicado a escala considerable desde el fin de la segunda guerra mundial.
- ◆ En la industria de alimentos su práctica todavía es joven , sin embargo es un proceso que puede alcanzar éxito sobre todo en la preparación de menús rápidos.
- ◆ Los alimentos liofilizados son fáciles de reconstituir y no se deforma el producto.
- ◆ La liofilización es un método eficaz para aplicar a la mayor parte de los alimentos como carnes , carnes cocidas, pescados, langostinos, camarones, café en polvo, champiñones, frambuesas y legumbres para sopas deshidratadas etc

BIBLIOGRAFIA

1. Abbott J. A. "Multichamber Process with removable cars" British Patent 1964
2. Altavista [en línea] "**Liofilización de Productos Farmacéuticos. SínteFarma**" 4(1) Enero-junio 1998. [citado el 8 de Noviembre de 2000] Disponible en la dirección electrónica: <http://bvs.sld.cu/revistas/sint/int/5198.htm>.
3. Amoignon, J., Le Flach L., "**Principios Generales de la Liofilización de Productos Biológicos y Farmacéuticos**". USIFROID pp2352000
4. Amoignon J., Refflach L., "**La Liofilización**", Conferencia, pp59 1971
5. Amos A.J., "**Manual de Industrias de alimentos**", Editorial Acribia Zaragoza España, pp681-713 1969
6. Barret A.H; Cardello A.V.; Praskash A; Mairl L; Taub I.A.; Leshner L.L., "**Optimization of deshydrated egg quality by microwave assisted freeze-drying and hydrocolloid incorporation.**", Journal of Food Processing and Preservation, (USA) Aug v 21(3), pp. 225-244. 1997
7. Biblao, O y Col., "**Conferencia de Tecnología Farmacéutica**", pp235.8487 1989
8. Biblao, O y Col., "**Folleto de Prácticas de Laboratorio de Tecnología Farmacéutica**", pp:45-46 1986
9. Bender Arnold, "**Diccionario de nutrición y tecnología de los alimentos**" Editorial Acribia, Zaragoza, España. pp48 1999.

10. Brennan J.G, "Las operaciones de la ingeniería de los alimentos", 2 da. Edición. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España, pp352-360 1998
11. Bhatia B.S. "Observations on the rate of dehydration of root vegetables in heated air" pp 130-135 1959.
12. Coultate T P., "Manual de química y bioquímica de los alimentos", 2da Edición Editorial Acribia S.A., Zaragoza España pp2433 1999.
13. Coenders A., "Química culinaria", Editorial Acribia S.A. Zaragoza España, pp220 1999
14. Cervera, C.R.: "Alimentación y dietoterapia", Editorial Interamericana McGraw-Hill. pp181 1998
15. Cheffel, B. "Introducción a la Bioquímica y tecnología de alimentos ", vol II Editorial Acribia S A pp232-276 1998
16. Desrosier W.N., "Conservación de alimentos", Compañía Editorial Continental S.A. de C..V. México pp56 1964
17. Etzel M.R. "Spray drying, freeze drying, or freezing of three different lactic acid bacteria species", Journal of Food Science (USA) May-Jun62(3) p 576-578., 1997
18. Harrison" Enciclopedia de Química y Procesos Tecnológicos "Editorial William 1970
19. Fennema O. R., "Introducción a la ciencia de los alimentos", Editorial Reverté S.A., pp314-315 1992

20. Fellows, A. **"Tecnología del procesado de alimentos"**, Principios y Prácticas. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España, pp421-431 1994
21. Fennema O. R , **"Química de los alimentos"**, Editorial Acribia S.A. Zaragoza pp1020 1998.
22. Frazier W.C. and W. ; D.C. Westhuff **"Microbiología de los alimentos"**, Editorial Acribia S.A. Zaragoza España pp180-185 1987
23. Foust C.M. **"Principios de Operaciones Unitarias"** 5 Ed. Editorial Continental pp 140 1968
24. Forrest J.C. **"Large scale freeze drying of food stuffs"** pp390 1959
25. Flosdorf E.W. **"Freeze drying"** Publishing corp New York pp 54 1949
26. Gomez R.C. **"La técnica de la liofilización"** Instituto de Capacitación Especializada pp 88 1976
27. Gooding E.G. and Rolfe E.J. **"Some recent work on dehydration in the united Kingdom"** **Food technology** pp 225 1957
28. Hay J.M. **"The vacuum contact plate dehydration of foodstuffs"** pp 433 1955
29. Hernández-Bris V.F., **"Conservas Caseras de Alimentos"**, 3^{er} Edición Ediciones Mundi Prensa. pp75-91 1999.
30. Hernández; Hernández **"Liofilización de alimentos"**, tesis licenciatura Facultad de química, UNAM pp 234-245 1977

31. Hayes P.R. **"Microbiología e Higiene de los alimentos"**, Editorial Acribia S.A.Zaragoza España pp120-123 1987
32. Hanson S.W. **"Accelerated freeze drying of food"** pp 245 1959
33. Henry A.O. **"Inflatable Platen Heating "** Publishing corp , New York pp 345 1970
34. Hill Leonard P. **"Food Industries Manual"** London 1957
35. Jorosava A; Goduskova J; Sevelak UZP(Zech Republic) **"Determination of phthalic acid esters(PAEs) in biological material by HPLC"**, Ago (4) pp 122-130. . 1998
36. Jouppila K; Kansikas; Roos Y.H. **"Glass transition, water plasticization, and lactosa crystallization in skim milk powder"**, Journal of dairy science (USA), dic., 80(12) pp. 152-3160 1997
37. Jay M., **"Microbiología Moderna de los alimentos"**, 3 Edición Editorial acribia S.A., Zaragoza España. pp423-426 1997
38. López A., **"Diseño de instalaciones Frigoríficas para la Industria Agroalimentaria"**, Asociación de Ingenieros Agrónomos de Catalunya, pp56 1988
39. Lewis M.J., **"Propiedades Físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado"**, Editorial Acribia S.A. Zaragoza España. pp93-94 1993
40. Lowe E. **"A New Continuos dehydrator"** Food Eng pp 27,46 1955
41. Marguerida M., **"Aislamiento térmico"**, Editores Técnicos asociados S.A.Barcelona. pp 89 1984.

42. Mossel /B.M.G. Moreno García, **"Microbiología de los alimentos"**, Editorial Acribia S.A.Zaragoza España pp181 1989
43. Mc.Cabe and Smith **"Operaciones basicas de Ingenieria Quimica"** 2 Ed Editorial Mc. Graw Hill pp 54 1964
44. Muñoz K, **"Efecto de la adición de maltodextrina y lactosa en la obtención de jugo de frambuesa liofilizado a dos temperaturas de procesamiento"**, Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía . Santiago (Chile), p.117 1995
45. Olson R.L. **"Recent advances in potato granule Technology "** Food T echnology pp177 1953
46. Pat.m. Cox., **"Ultracongelación de alimentos"**, Guía de la teoría y práctica Editorial Acribia S A. Zaragoza, España, pp67. 1987.
47. Pyle H.A **"Continuos Freeze Drying"** Food Chem pp 21 1970
- 48 Ranken M.D. **"Manual de Industrias de los alimentos "**2da. Edición Editorial Acribia S.A.Zaragoza España. pp519-520 1986
49. Rolfe E.J. **"An improved method for dehydrating meat"** Food Chem pp 21 1956
- 50 Sharp J.G. **"Dehydrated meat"** Food invastigation Special Report No.57 1953
- 51.Seltzer E. **"Spray drying in foods"** Advances in Food Reserch New York pp 56 1949
52. Talburt, W.F and Legault R.R. **"Dehydrofrozen Peans "** Food Technology pp286 1950

53. Von Loeseche H.W. "The drying and dehydration of foods" 2 ed. 1955
54. Vere Jones N.W. "A New Zealand Process for dehydrating me" pp 77 1957
55. Weatherley D.V. "the dehydration Progress in of foods part 1"pp 732 1956
56. Weatherley D.V. "Progress in the dehydration of foods part 2" pp 662 1956
57. Walter L "Increasing dehydration efficiency" Food Manufacture pp 32,11 1957