

Tecnologías para la industria alimentaria

Liofilización de alimentos

Téc. Magali Parzanese
Secretaría de Agricultura,
Ganadería y Pesca

Tecnologías para la industria alimentaria

La liofilización es una técnica de conservación de alimentos basada en el desecado de determinados materiales por medio de la sublimación del agua contenida en éstos. Consiste en congelar el producto y posteriormente remover el hielo por sublimación, aplicando calor en condiciones de vacío. De esta forma se evita el paso a la fase líquida del agua contenida en el alimento.

En general este método constituye un efectivo sistema de preservación de elementos biológicos tales como células, enzimas, vacunas, virus, levaduras, sueros, algas, y alimentos. Todos estos contienen sustancias volátiles o termosensibles que no se ven afectadas por este proceso, puesto que se trabaja a temperaturas y presiones reducidas. *Lo más importante del método es que no altera la estructura fisicoquímica del producto y permite su conservación sin cadena de frío*, ya que su bajo porcentaje de humedad permite obtener una elevada estabilidad microbiológica. Asimismo, el hecho de no requerir refrigeración facilita su distribución y almacenamiento.

El proceso de liofilización tiene sus orígenes en el Imperio Inca, en el altiplano andino a 4000 m. sobre el nivel del mar. Allí los pobladores elaboraban -y continúan haciéndolo- un producto denominado Chuño-, resultado de la deshidratación de la papa.

La técnica consiste en dejar las papas cosechadas sobre el suelo, de manera que durante la noche se congelen como consecuencia de las muy bajas temperaturas, y durante el día el sol y el viento seco crean las condiciones necesarias para que se produzca el cambio de estado del agua desde el sólido al vapor, sin mediar la fase líquida.

Con el paso de los años este procedimiento se desarrolló industrialmente integrando dos métodos de conservación ampliamente utilizados: la congelación y la deshidratación.

El desarrollo comercial del proceso se produjo durante la Segunda Guerra Mundial, ya que se empleó para conservar plasma sanguíneo y en la preparación de los primeros antibióticos de penicilina. Años después, alrededor de 1960, comenzó a utilizarse en una gran variedad de productos, entre ellos los alimentos.

Actualmente la liofilización se aplica en industrias farmacéuticas, para preservar antibióticos y vacunas (por ejemplo la antisarampionosa), plasma, hemoderivados, vitaminas, extractos, leche materna y otros. En la industria química, se emplea en la preparación de catalizadores, secado de materiales orgánicos, preservación de animales (taxidermia), conservación de documentos y libros antiguos.

En relación a la industria de los alimentos, primero comenzó a utilizarse en la elaboración de productos especiales para montañistas, astronautas, bases militares y otros de usos similares. Sin embargo, desde hace tiempo, se comercializan productos liofilizados tanto como ingredientes industriales como para el consumidor en general, ampliándose así el mercado de estos productos con alto valor agregado.

Aplicaciones en la industria de los alimentos

La liofilización permite extraer más del 95% del agua contenida en un alimento, lo que se traduce en un gran beneficio con relación al costo del transporte, ya que permite cargar mayor cantidad de mercadería sin necesidad de recurrir a la cadena de frío (se logra un producto más estable microbiológicamente).

Al finalizar el proceso de liofilización, el alimento se convierte en una estructura rígida que conserva la forma y el volumen pero con peso reducido, preservando sus características nutritivas y organolépticas. Al rehidratarlo se recuperaran la textura, el aroma y el sabor original. *Ver Tabla 1. (pág. 65) y Diagrama de cambio de fase (pág. 66.)*

Los alimentos liofilizados suelen ser presentados en diferentes formatos: cubos, deshilachado, tiras, picado, granulado o polvo, ya que luego se emplean como ingredientes industriales en la fabricación de *snacks*, sopas instantáneas, salsas, caldos en polvo, caldos en cubos, *cup noodles*, puré instantáneo, mezclas para risottos, condimentos para "*Lamen*", entre otros.

Ventajas y desventajas

Entre las ventajas que ofrece este proceso merecen destacarse:

Tabla 1. | Ejemplos de productos alimenticios que se tratan mediante liofilización.

| Alimentos | Productos liofilizados |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cárnicos | Carne bovina |
| | Carne aviar: pechuga de pollo, pechuga de pavo, muslo de pollo. |
| | Carne porcina: jamón, lomo. |
| Frutas | Frutilla, fresa, banana, ananá, mora, frambuesa. |
| Vegetales | Espárrago, choclo, zanahoria, brócoli, coliflor, apio, papa, hongos, aceituna, espinaca, ajíes, arroz, arvejas, cebolla. |
| Quesos | Queso Prato, mozzarella, queso provolone, queso blanco. |
| Otros | Café, sopas, zumos de frutas, levaduras, caldos, salsas, especias, champiñones. |

- La valorización y potenciación de las producciones primarias.
- La ausencia de temperaturas altas, por lo que se previene el daño térmico.
- Conservación, fácil transporte y almacenamiento de los productos.
- Inhibición del crecimiento de microorganismos, estabilidad microbiológica.
- Recuperación de las propiedades del alimento al rehidratarlo.
- La ausencia o disminución del uso de aditivos y/o conservantes.
- El mantenimiento del valor nutricional del alimento.
- La estabilidad química del producto.

Y entre los factores que limitan su aplicación se cuentan esencialmente tres:

- El largo tiempo de procesamiento que demanda.
- El alto consumo de energía, en algunos casos.
- Un elevado costo de inversión inicial.

Fundamentos termodinámicos del proceso

Una sustancia pura puede existir como sólido, líquido o gas y cambiar de estado por medio de un proceso en el cual libera o absorbe calor a temperatura constante (calor latente), de esto depende hacia donde se direcciona el cambio.

El cambio de fase de sólido a gas (denominado *sublimación*), debe realizarse en condiciones de presión y temperatura menores a las del punto triple (punto en el que conviven los tres estados de la materia), ya que por debajo de éste no existe la fase líquida. En el caso del agua, si la presión se mantiene por debajo de 4,58 Torr permanece sólida, y al calentarla a una presión menor a la presión de vapor que corresponde a la temperatura de la superficie del hielo, este sublima directamente. *Ver gráfico, página 64.*

Cuando se trata de materiales biológicos, las sustancias moleculares disueltas en el agua ocasionan que la temperatura de fusión de la solución disminuya respecto a la del agua pura, este efecto se denomina *descenso crioscópico*. Por esto es conveniente describir el enfriamiento y posterior congelación de una solución de este tipo en varias etapas.

Al bajar la temperatura de una solución, inicialmente se produce un subenfriamiento que origina los núcleos de cristalización. Luego la temperatura aumenta hasta la de equilibrio, que corresponde a su curva de enfriamiento. A partir de ese momento, comienzan a desprenderse los cristales de hielo puro, por lo que la solución se concentra hasta alcanzar la menor temperatura a la cual puede existir solución en equilibrio con la fase sólida (hielo), denominada *temperatura eutéctica*.

•••

1. Se denomina *descenso crioscópico* a la disminución de la temperatura de solidificación que se produce por el agregado de un soluto a un solvente puro. Es decir una solución siempre presenta una temperatura de solidificación menor a la del solvente puro.

2. *Temperatura eutéctica*: es la temperatura a la cual la solución se encuentra en equilibrio con la fase sólida, corresponde además a la menor temperatura de solidificación que puede alcanzar el sistema. Esta temperatura permanece constante hasta que toda la solución solidifica. Gilbert William Castellan. Fisicoquímica 2Ed.

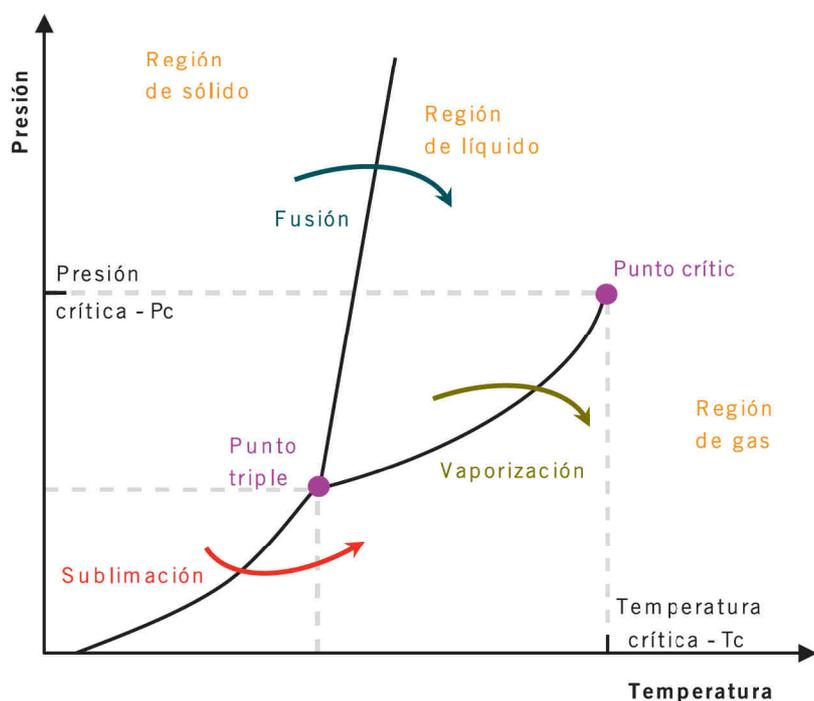


Gráfico 1 | Diagrama de cambios de fase

Por debajo de esta temperatura debería existir, idealmente, equilibrio entre hielo y soluto³.

Sin embargo lo que sucede generalmente con las soluciones de materiales biológicos (como los alimentos) es que por contener polímeros naturales como proteínas, lípidos o azúcares, la solución saturada no cristaliza en este punto sino que su viscosidad va aumentando a medida que disminuye la temperatura y el hielo cristaliza. Esta etapa finaliza cuando el sistema alcanza su *temperatura de transición vítrea* (t_g') y su viscosidad aumenta significativamente en un pequeño rango de temperatura, dando lugar a un sólido amorfo y frágil (vidrio). En relación a la conservación de alimentos, es importante destacar que el flujo viscoso dentro de este sólido es prácticamente nulo: casi no existe flujo de materia, lo que impide que se produzcan reacciones químicas.

Cabe aclarar que no toda el agua que compone un alimento está disponible para que los microorganismos puedan llevar a cabo sus actividades metabólicas: solo el agua libre cumple dicho propósito. El contenido de

agua libre en un alimento se define como a_w – actividad de agua. Al deshidratar un producto la disponibilidad de agua (libre) disminuye drásticamente.

Así, para eliminar la mayor parte del agua libre contenida en el sólido obtenido, se le debe entregar calor para lograr la sublimación total del hielo, cuidando que la temperatura del producto se mantenga siempre por debajo de su temperatura de transición vítrea. Al final de este cambio de fase se obtiene un producto que conserva el volumen y tamaño original, y presenta la forma de un vidrio altamente poroso. *Ver esquema 1, Estructura de un producto en proceso de liofilización página 67. (Fuente / “La conservación de sustancias perecederas por medio de la liofilización”, Flesia, Miguel Ángel. Universidad Técnica Nacional. Facultad Regional Santa Fe. Ingeniería Industrial. Procesos Industriales).*

La ventaja de esta estructura es que permite una rápida rehidratación. Sin embargo se trata de un material frágil, por lo que requiere de una protección que prevenga los posibles daños ocasionados por una inadecuada manipulación. Asimismo, debido a su porosidad es necesario realizar el empaque del producto de modo tal que impida la penetración de oxígeno, para prevenir procesos oxidativos sobre

•••

3. Soluto se denomina al componente de una solución que se encuentra en menor proporción.

Esquema 1 | Estructura de un producto en proceso de liofilización



los lípidos en aquellos alimentos que tengan alto contenido graso.

El proceso de liofilización

La liofilización involucra cuatro etapas principales:

1. Preparación
2. Congelación
3. Desección primaria
4. Desección secundaria

Antes de comenzar el proceso, es fundamental el acondicionamiento de la materia prima, ya que una vez completada la transformación, los productos liofilizados no pueden ser manipulados. Lo que suele hacerse con alimentos como guisantes o arándanos es agujerear la piel con el objetivo de aumentar su permeabilidad. Los líquidos, por otro lado, se concentran previamente con el fin de bajar el contenido de agua, lo que acelera el proceso de liofilización.

La segunda etapa se lleva a cabo en congeladores independientes (*separados del equipo liofilizador*) o en el mismo equipo. El objetivo es congelar el agua libre del producto, para lo cual se trabaja a temperaturas entre -20° C y -40° C.

Para la optimización de este proceso es fundamental conocer y controlar:

- La temperatura en la que ocurre la máxima solidificación.
- La velocidad óptima de enfriamiento.

- La temperatura mínima de fusión incipiente.

Con esto se busca que el producto congelado tenga una estructura completamente sólida, sin la presencia de líquido concentrado, de manera que el secado ocurra únicamente por sublimación

En los alimentos se pueden obtener mezclas de estructuras luego de la congelación, que incluyen cristales de hielo eutécticos, mezclas de eutécticos y zonas vítreas amorfas. Estas últimas se forman por la presencia de los componentes típicos de una matriz alimenticia, como azúcares, alcoholes, cetonas, aldehídos y ácidos, y también debido a las altas concentraciones de sólidos en la materia prima.

De la velocidad de congelación, entre otros factores, dependerán las características de la estructura sólida obtenida al final del proceso, tal como se describe en la siguiente tabla:

| Velocidad de Congelación | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Congelación Rápida | Congelación Lenta |
| <ul style="list-style-type: none"> • La temperatura de los alimentos desciende aproximadamente unos 20°C en 30 minutos. • Cristales pequeños. • Al rehidratarse conservan textura y sabor original. • Apariencia clara del producto seco. • Se aplica en alimentos sólidos, ya que evita la ruptura de la membrana o pared celular, y de las estructuras internas. | <ul style="list-style-type: none"> • La temperatura deseada se alcanza en 3 a 72 horas (aparatos domésticos de congelación). • Cristales grandes. En su formación causan ruptura de la membrana o pared celular y estructuras internas. • Al hidratarse presentan textura y sabor diferente al original. • Apariencia oscura del producto seco. • Se aplica en líquidos, ya que la formación de cristales grandes favorece la presencia de canales para el movimiento del vapor de agua. |

La tercera etapa del proceso consiste en la desecación primaria del producto, por sublimación del solvente congelado (agua en la mayoría de los casos).

Para este cambio de fase es necesario reducir la presión en el interior de la cámara, mediante una bomba de vacío, y aplicar calor al producto (calor de sublimación,

Tecnologías para la industria alimentaria

alrededor de 550 Kcal/Kg en el caso del agua), sin subir la temperatura. Esto último puede hacerse mediante conducción, radiación o fuente de microondas. Los dos primeros se utilizan comercialmente combinándose su efecto al colocarse el producto en bandejas sobre placas calefactoras separadas una distancia bien definida. De esta manera se consigue calentar por conducción, en contacto directo desde el fondo y por radiación, desde la parte superior. Por otro lado la calefacción por medio de microondas presenta dificultades porque puede provocar fusión parcial del producto debido a la potencial formación de puntos calientes en su interior; de modo que en la actualidad no se aplica comercialmente. Los niveles de vacío y de calentamiento varían según el producto a tratar.

Al inicio de esta tercera etapa, el hielo sublima desde la superficie del producto y a medida que avanza el proceso, el nivel de sublimación retrocede dentro de él, por lo que para salir del producto el vapor debe pasar por capas ya secas. Este vapor, se recoge en la superficie del condensador, que debe tener suficiente capacidad de enfriamiento para condensarlo todo, a una temperatura inferior a la del producto.

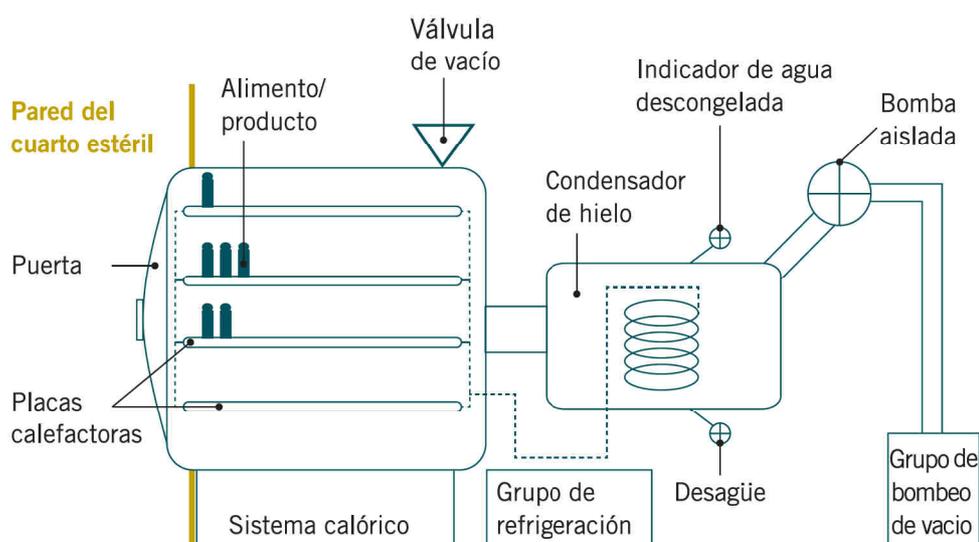
Para mejorar el rendimiento de esta operación, es primordial controlar la velocidad de secado y la velocidad de calentamiento de las bandejas. Si el secado es demasiado rápido, el producto seco fluirá

hacia el condensador junto con el producto seco, produciéndose así una pérdida por arrastre de producto. El segundo de los controles, debe realizarse siempre ya que si el producto se calienta velozmente, el mismo fundirá (pasará a estado líquido) y como consecuencia perderá calidad. Para evitarlo la temperatura de los productos debe estar siempre por debajo de la temperatura de las placas calefactoras mientras dure el cambio de fase. No obstante, al finalizar la desecación primaria, la temperatura del alimento subirá asintóticamente hacia la temperatura de las placas.

Para tener una liofilización buena y rápida es necesario poder controlar exactamente esta temperatura y tener la posibilidad de regular la presión total y parcial del sistema.

La cuarta y última etapa del proceso es la desecación secundaria del producto por medio de desorción. Consiste en evaporar el agua no congelable, o “agua ligada”, que se encuentra en los alimentos, logrando que el porcentaje de humedad final sea menor al 2%. Como en este punto no existe agua libre, la temperatura de las bandejas puede subir sin riesgo de que se produzca fusión. Sin embargo, en esta etapa la presión disminuye al mínimo, por lo que se realiza a la máxima capacidad de vacío que pueda alcanzar el equipo. Es importante, finalmente, controlar el contenido final de humedad del producto, para que se corresponda con el exigido para garantizar su estabilidad.

Los equipos de liofilización



Esquema general de un equipo de liofilización

Distintos equipamientos

El sistema de liofilización descrito, se corresponde con los equipos convencionales de liofilización, que son fabricados por muchas empresas proveedoras de esta tecnología, tanto en la Argentina como en el resto del mundo. Se consiguen en escalas tipo laboratorio, piloto o industrial. La siguiente tabla especifica las características de cada uno:

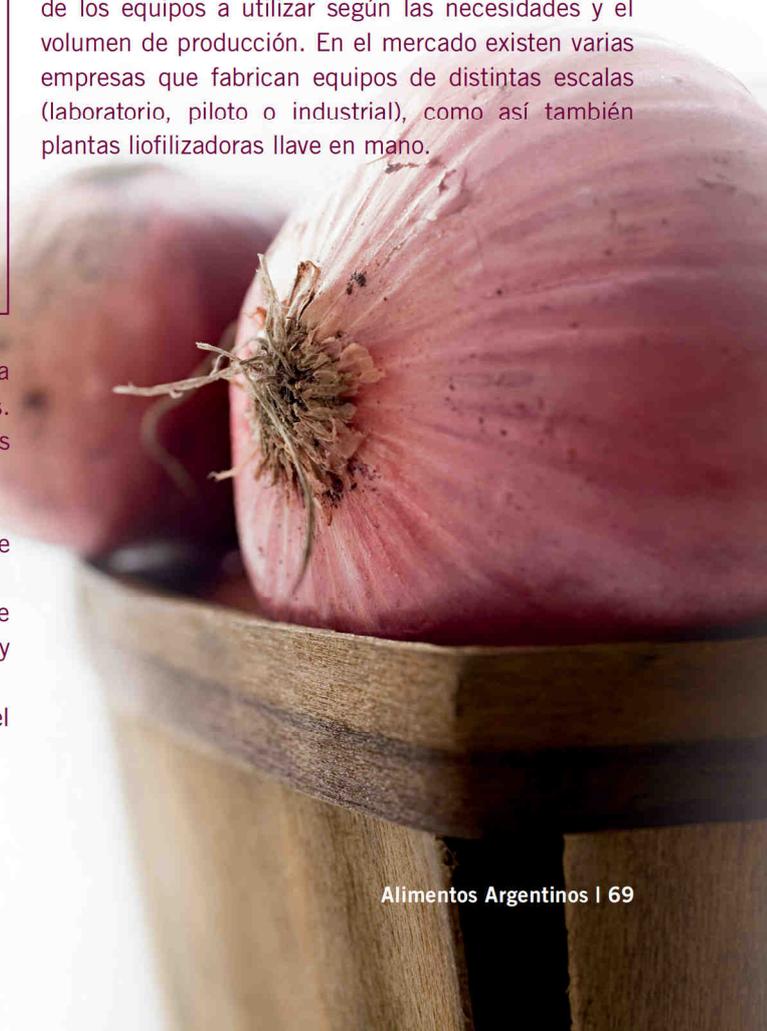
| Equipos | Funciones |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cámara de secado | <ul style="list-style-type: none"> • Provee al proceso de un ambiente limpio y estéril. • Da las condiciones de presión y temperaturas exigidas para la congelación y posterior secado del producto. |
| Condensador | <ul style="list-style-type: none"> • Recoge el vapor de agua producto de la sublimación, y lo condensa (cambio de fase de vapor a líquido). |
| Sistema de vacío | <ul style="list-style-type: none"> • Está conectado a la cámara del condensador. • Proporciona las condiciones de presión indicadas para las etapas de desecado primarias y secundarias (Presión de vacío: por debajo de la presión atmosférica). |
| Instrumentación | <ul style="list-style-type: none"> • Son de vital importancia para el control del proceso, para lograr obtener el mejor resultado posible, y realizar ajustes o acciones correctivas cuando el resultado no sea el esperado. |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Medidor de temperatura de producto-estante. • Controlador de calefacción de estante. • Medidor de vacío cámara-condensador. |

| | Laboratorio | Piloto | Industrial |
|-----------------------------|---------------|-----------------------|--------------|
| Bomba de vacío | 6 M3/h | 18 – 35 M3/h | - |
| Capacidad del condensador | 6 – 10 Kg. | 15 - 30 Kg. | 30 – 300 Kg. |
| Temperatura del condensador | - 50°C | - 50 A - 80°C | - 75°C |
| Superficie*(# estantes) | 0,33 M2 * (3) | 0,48 - 1,8 M2 (3 - 5) | 2 - 12 M2 |

Para definir los costos de un proceso de conservación mediante liofilización, es determinante la escala de los equipos a utilizar según las necesidades y el volumen de producción. En el mercado existen varias empresas que fabrican equipos de distintas escalas (laboratorio, piloto o industrial), como así también plantas liofilizadoras llave en mano.

Como se mencionó anteriormente, la gran desventaja de este proceso es el elevado precio de los equipos. En el esquema presentado se pueden observar los tres elementos que tornan costoso al equipamiento.

- Condensador (desublimador) y sistema de refrigeración.
- Energía requerida para completar las etapas de sublimación del agua en la cámara de secado, y desublimación y fundición en el condensador.
- Mantenimiento de las bombas mecánicas del equipo de vacío.



Diferencias entre secado convencional y liofilización

| Secado convencional | Liofilización |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Recomendado para tener alimentos secos (verduras y granos). | Recomendado para la mayoría de los alimentos, pero se ha limitado a aquellos que son difíciles de secar a través de otros métodos. |
| Es poco satisfactorio para carne. | Recomendado para carnes crudas y cocidas. |
| Rango de temperatura 37 – 93°C | Temperaturas debajo del punto de congelación. |
| Presiones atmosféricas. | Presiones reducidas (27-133 Pa). |
| Se evapora el agua de la superficie del alimento. | Se sublima el agua del frente de congelación. |
| Movimiento de solutos, lo que causa algunas veces endurecimiento. | Movimiento mínimo de solutos. |
| Las tensiones en alimentos sólidos causan daño estructural y encogimiento. | Cambios estructurales o encogimientos mínimos. |
| Rehidratación incompleta o retardada. | Rehidratación completa y rápida. |
| Olor y sabor frecuentemente anormal. | Olor y sabor normalmente intensificado. |
| Color frecuentemente más oscuro. | Color normal. |
| Valor nutritivo reducido. | Nutrientes retenidos en gran porcentaje. |
| Costos generalmente bajos. | Costos generalmente altos, aproximadamente cuatro veces más que el secado convencional. |

Fuente | P. Felows (2000)

Fuentes consultadas

- Castro, Jorge. *Recuperación de la Economía Mundial y Oportunidades de la Argentina en el Mercado Mundial de los Alimentos*. Instituto de Planeamiento Estratégico. Septiembre de 2009.
- Cuper, Oscar. 1965. *Deshidratación Artificial Liofilización Alimentaria*. Tomo 1: Bases Generales– Tecnología Industrial. Buenos Aires, Consejo Nacional de Desarrollo, Grupo de Proyectos Especiales.
- Ramírez Navas, Juan Sebastián. 2006. *Liofilización, Estado del Arte*. Universidad del Valle Programa Doctoral en Ingeniería. Ingeniería de Alimentos. Cali – Colombia.
- www.ingenieriaquimica.net
- Sceni, P. 2007. *Transiciones de Fase*. Universidad Nacional de Quilmes. Area de Química de los Alimentos.
- Perera Horacio, Yanovsky J. Proyecto LIAL – *Liofilización Alimentaria*. Buenos Aires. 1996
- <http://www.invap.com.ar/es/area-industrial/productos-y-servicios/liofilizacion-de-alimentos.html>
- Flesia, Miguel Ángel. *La conservación de sustancias perecederas por medio de la liofilización*. Universidad Técnica Nacional. Facultad Regional Procesos Santa Fé. Ingeniería Industrial Industriales.

