Título	La liofilización: conservar alimentos sin calor
Concepto físico	Cambios de fase. Sublimación. Diagrama de fases. Presión de vapor. Termodinámica.
Enlaces	Link 1 (Proceso de liofilización) Link 2 (Aplicaciones en alimentación)

Explicación teórica

El café soluble, las fresas liofilizadas, las sopas instantáneas de alta gama o los alimentos para astronautas tienen algo en común: se han conservado mediante liofilización, un proceso que elimina casi toda el agua del alimento sin aplicar calor. El resultado es un producto ligero, estable a temperatura ambiente durante años y que recupera prácticamente todas sus propiedades originales al rehidratarse. La clave está en un cambio de fase que no suele verse en la vida cotidiana: la sublimación.

El diagrama de fases del agua

El agua puede existir en tres estados: sólido (hielo), líquido y vapor. El estado en que se encuentra en cada momento depende de la temperatura y de la presión. El diagrama de fases del agua representa estas tres regiones y las líneas que las separan. Una de estas líneas, la curva de sublimación, separa el estado sólido del gaseoso: en las condiciones de temperatura y presión que definen esta curva, el hielo puede pasar directamente a vapor sin pasar por el estado líquido. Este es exactamente el proceso que aprovecha la liofilización.

El punto triple del agua, en el que los tres estados coexisten en equilibrio, se encuentra a 0,006 atmósferas (6,1 mbar) y 0,01 °C. Por debajo de esta presión, el agua líquida no puede existir: el hielo sublima directamente a vapor al absorber calor. La liofilización opera siempre por debajo del punto triple, típicamente a presiones de 0,1 mbar o inferiores.

Las tres etapas del proceso

La liofilización industrial se desarrolla en tres etapas bien diferenciadas. En la primera, el alimento se congela rápidamente a temperaturas de entre –40 y –80 °C. Una congelación rápida produce cristales de hielo pequeños que dañan menos la estructura celular del alimento, lo que se traduce en una mejor textura al rehidratar. En la segunda etapa, el secado primario, se aplica vacío intenso (por debajo de 0,1 mbar) y se aporta calor de forma controlada. En estas condiciones, el hielo sublima: pasa directamente a vapor de agua sin fundirse, y ese vapor es captado por una trampa fría (condensador) que lo solidifica de nuevo fuera del alimento. Esta etapa elimina aproximadamente el 95% del agua libre del producto. Finalmente, en el secado secundario, se eleva ligeramente la temperatura manteniendo el vacío para eliminar el agua ligada a las macromoléculas del alimento, reduciendo la humedad residual por debajo del 2%.

¿Por qué la liofilización conserva mejor los aromas?

La ventaja fundamental de la liofilización frente al secado por calor o por spray reside en que nunca se alcanzan temperaturas elevadas. Las moléculas responsables del aroma y del sabor en los alimentos son compuestos volátiles que se degradan o evaporan fácilmente al calentar. Al trabajar a

temperaturas bajo cero durante la etapa crítica, la liofilización preserva estos compuestos con mucha mayor eficacia. Por ello, el café liofilizado tiene un aroma notablemente más cercano al café recién hecho que el café soluble obtenido por spray-drying, aunque este último proceso sea mucho más rápido y barato.

La estructura porosa que deja el hielo al sublimar es otra ventaja: el alimento liofilizado es muy poroso y permite una rehidratación rápida y uniforme, ya que el agua puede penetrar por los mismos canales que antes ocupaba el hielo. Esta microestructura es también la responsable de la textura crujiente característica de frutas y snacks liofilizados.

Etapas del proceso de liofilización

Etapa	Condiciones	Proceso físico	Objetivo
1. Congelación	–40 a –80 °C, presión atmosférica	Solidificación del agua libre en cristales de hielo	Fijar la estructura del alimento
2. Secado primario	–20 a –40 °C, < 0,1 mbar	Sublimación: el hielo pasa directamente a vapor sin fundir	Eliminar ~95% del agua libre
3. Secado secundario	20 a 40 °C, vacío	Desorción: eliminación del agua ligada a macromoléculas	Reducir la humedad residual a < 2%

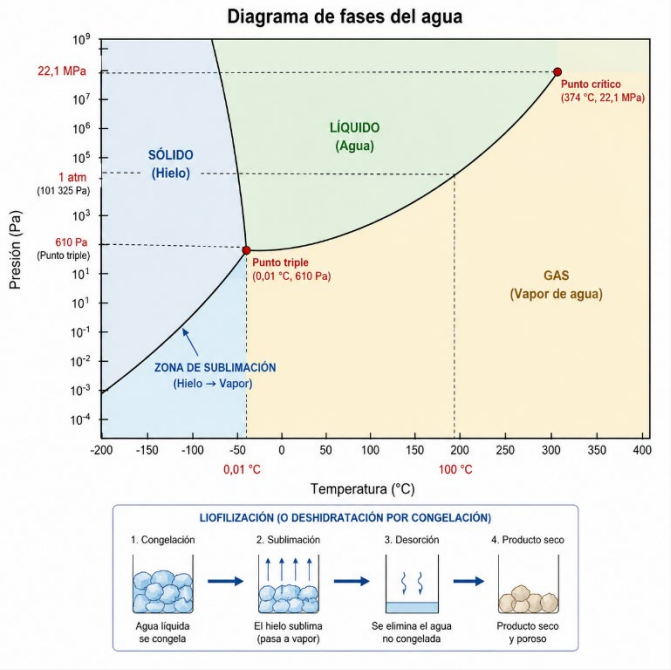


Diagrama de fases del agua con zona de sublimación señalada

Fuente: Elaboración Propia



Liofilizador industrial o fresas liofilizadas

Fuente: Mar de Especias

Preguntas de reflexión

1. En alta montaña, la presión atmosférica es mucho menor que a nivel del mar. ¿Podría sublimar el hielo de forma espontánea en un día soleado en la cima de un pico de 4000 m? Consulta el diagrama de fases del agua para razonar tu respuesta.
2. El café liofilizado conserva mejor el aroma que el obtenido por spray-drying. ¿Qué propiedad física de los compuestos aromáticos explica esta diferencia entre ambos procesos?
3. La liofilización es mucho más cara que el secado por calor. ¿En qué tipos de productos alimentarios crees que está justificado económicamente su uso? ¿Y en qué otros sectores no alimentarios se aplica?
4. Al rehidratar un alimento liofilizado, el agua ocupa los mismos poros que antes ocupaba el hielo. ¿Qué fenómeno físico estudiado en este curso favorece que el agua entre rápidamente en esos canales tan estrechos?

Autores: Pascual Sevillano, Francisco José Torcal y Fernando Blesa. Dpto. de Física Aplicada. Universidad de Zaragoza.