

10.- Secado

Introducción

El secado de alimentos es una operación conocida desde hace mucho tiempo por la humanidad, frecuentemente se la relaciona con el uso de calor y la aplicación de altas temperaturas, sin embargo el fundamento del secado no es otro que la transferencia de agua desde el material que se desea secar hacia el aire seco, actuando como fluido de intercambio, con el objeto de disminuir el agua disponible para las reacciones químicas.

Psicrometría

Es el abordamiento científico del estudio del estado del aire, especialmente desde la termodinámica, en relación con su potencial de secado, conocida como higroscopia del aire.

El potencial de secado está condicionado por la relación entre la presión de vapor del agua disponible en el material a secar y la de la humedad del aire que se utiliza para hacerlo.

El aire se encuentra abundantemente disponible en la atmósfera y su composición es relativamente constante en el tiempo y el lugar que se considere, con excepción de su humedad; principalmente compuesto por Nitrógeno (78%), Oxígeno (21%) y Argón (1%). La cantidad de agua (humedad) que el aire puede retener varía con su temperatura.

Vocabulario

La psicrometría utiliza definiciones particularizadas:

Temperatura de bulbo seco: es la que mide un termómetro con su bulbo expuesto directamente.

Temperatura de bulbo húmedo: se puede obtener colocando un paño húmedo sobre el bulbo de un termómetro.

Temperatura de punto de rocío: es aquella en la cual el aire alcanza su saturación de humedad.

Humedad absoluta: Es la masa de agua contenida en un kilogramo de aire a una determinada temperatura y presión.

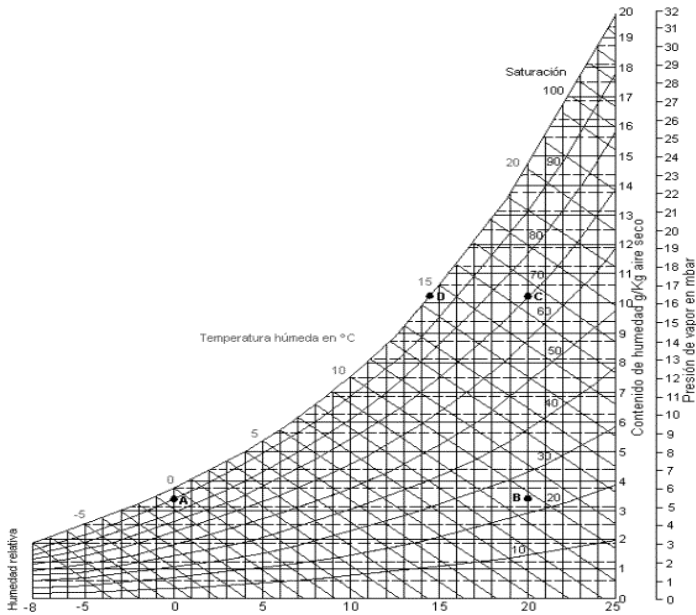
Humedad relativa: Es la relación entre las presiones de vapor del vapor de agua contenido en aire y la que tendría estando saturado a la misma temperatura; representa el grado de saturación de la humedad contenida en el aire en condiciones determinadas y se expresa porcentualmente.

Volumen específico: es el que ocupa un kilogramo de aire en condiciones determinadas.

Entalpía: (H). es la energía presente en el aire húmedo por unidad de masa de aire seco, por encima de una temperatura de referencia; en ingeniería sólo se consideran las diferencias de entalpía y se expresan como ΔH .

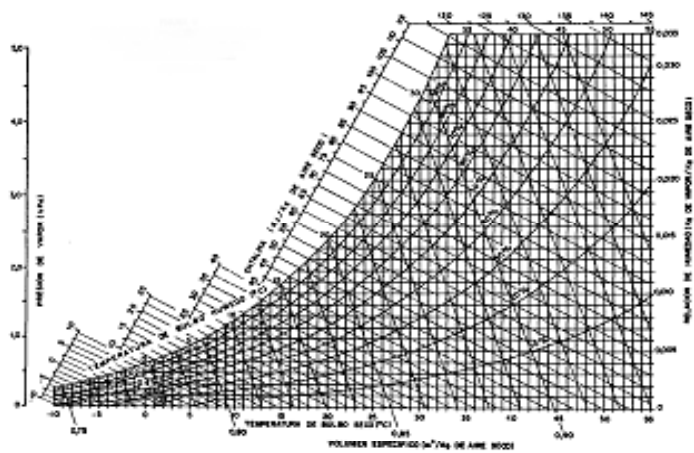
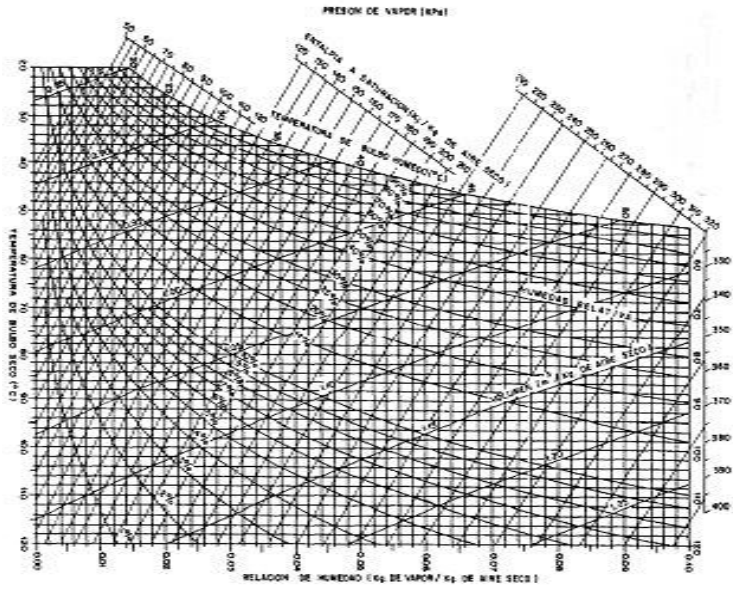
10.1.- Diagrama Psicométrico

Existen varias versiones de este instrumento que puede utilizarse como herramienta de cálculo, quizá la más difundida es la conocida como gráfico de Mollier¹⁵ aunque también se utilizan otras y para diferentes rangos de temperaturas.



¹⁵ Richard Mollier (1863/1935) fue un profesor alemán de física.

Sánchez Brizuela, R; Mansilla, S. (2019) E.C.U. UNCA



Las alternativas para la eliminación del agua en los alimentos con el objeto de reducir el valor de la actividad acuosa (a_w) son:

Concentración de un líquido (aumento de la presión osmótica)

Desecación de un sólido (secado o deshidratado)

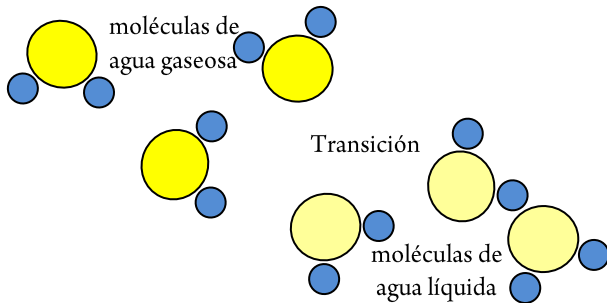
Evaporación de un líquido.

En todos los casos se producirá una disminución de la masa de la sustancia objeto, por la eliminación del agua contenida.

El problema de la eliminación de agua contempla la alteración de la calidad del alimento debido a la pérdida de nutrientes como vitaminas termolábiles, la alteración sensorial por la eliminación de sustancias volátiles responsables de los aromas y el consumo energético invertido en el acondicionamiento térmico del material y el cambio de estado del agua a eliminar.

Existen procedimientos mecánicos para la eliminación del agua como la centrifugación, la filtración y la ultrafiltración que resultan por lo general poco selectivos, pero que tienen la ventaja de no requerir calentamiento.

La cantidad de energía necesaria para que una unidad de agua cambie de estado se conoce como calor latente, en este caso de evaporación y se expresa por mol o por kilogramo (unidad).



Cuando el sistema está en equilibrio, las moléculas más energizadas del líquido promocionan hacia la fase gaseosa, mientras que las menos energizadas del gas condensan y se reintegran a la fase líquida en una misma proporción y velocidad. Se considera que en esta situación el vapor se encuentra saturado, y no acepta un incremento de masa del agua que contiene.

La presión de vapor es la fuerza por unidad de superficie que impulsa a las moléculas que promocionan. En equilibrio (saturación) la presión de vapor de agua es igual en ambas fases.

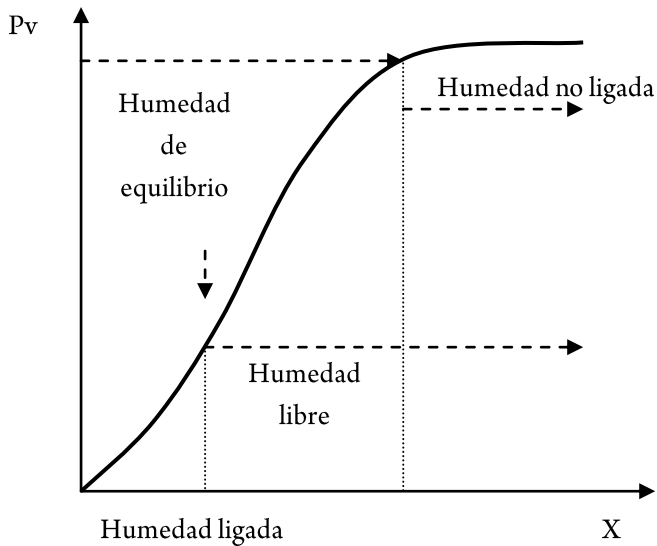
Por la ley general de los gases se entiende que para un determinado volumen de sistema la presión de vapor es función de la temperatura a la que se encuentra el agua, como lo describe la ecuación de Clausius- Clapeyron, considerando que la entalpía (L) no varía con la temperatura (rangos discretos).

$$P_v = P_0 + e^{-\frac{L}{RT}}$$

(para una pequeña variación de presión y temperatura)

10.2.- Estática del secado

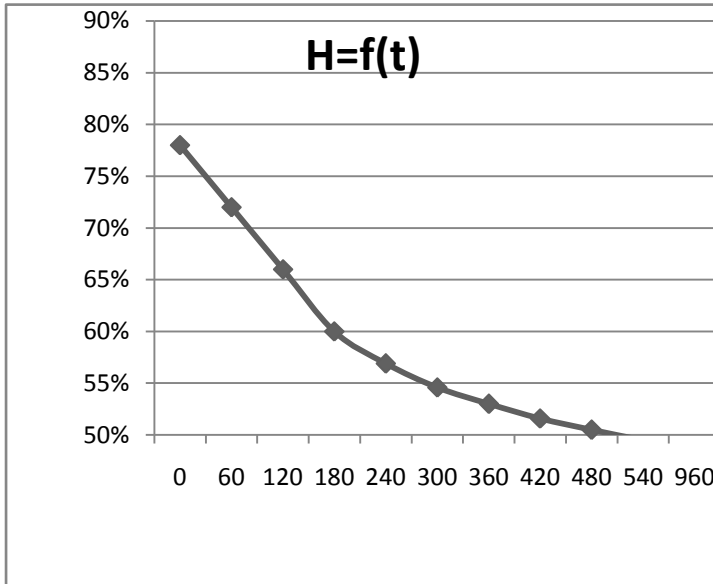
Estudia la relación entre la presión de vapor del agua según la cantidad de humedad absoluta (kg/kg) del sólido que la contiene.



El gráfico explica la disponibilidad de agua que puede evaporarse a una determinada temperatura, ya que la presión de vapor es directamente proporcional a esta. La humedad ligada conforma integralmente estructuras que se destruyen al secarse y al exponerse a las temperaturas que se requieren para que la presión de vapor del agua contenida cambie de estado.

10.3.- Cinética del secado

Estudia la variación de la humedad a medida que se desarrolla una operación de secado.

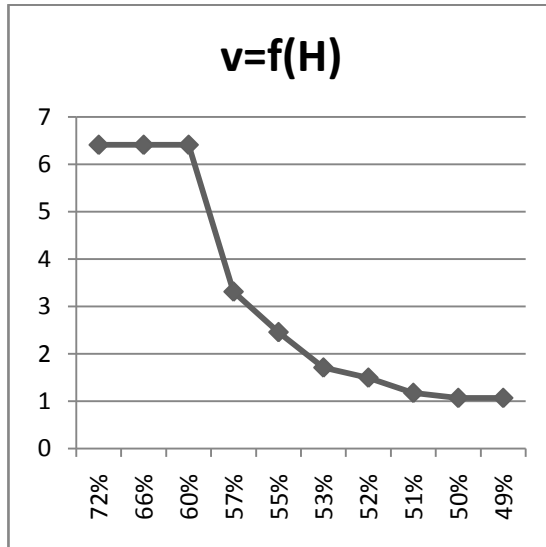


El gráfico muestra la variación de humedad porcentual en relación con el tiempo (minutos) de operación en un secadero, durante un periodo en el cual las condiciones (P;T) del sistema se mantuvieron relativamente constantes.

Puede observarse que la humedad no ligada se evapora a intervalos regulares (lineal) y luego la humedad libre, pero ligada, lo hace a intervalos de pendiente (velocidad) decreciente.

10.4.- Periodos de secado

En función de las consideraciones cinéticas del secado se pueden identificar dos periodos diferenciados.



El gráfico representa la velocidad [g/min] de la operación en función de la humedad relativa del sólido secado.

Durante el periodo de secado de velocidad constante la humedad libre proporciona una barrera al incremento de la temperatura a valores superiores al punto de ebullición a las condiciones de presión a las que está sometida.

Debe operarse de manera cuidadosa cuando se trata de humedad ligada, ya que se expone al daño del producto.

Mediante secado destructivo por infrarrojos, en estufa desecadora o por el método químico (Karl Fisher) puede determinarse la humedad característica de los sólidos a secar en la industria alimentaria, aunque estas experiencias ya se han realizado suficiente cantidad de veces y se conocen los valores iniciales y los finales recomendados para cada producto.

Alimento	hume- dad	fi- bra	carbohidra- tos	protei- nas	lípidos totales
Berenjena	91,0%	1,5%	5,8%	1,0%	0,2%
Brócoli	88,0%	1,5%	6,5%	3,0%	0,4%
Calabaza	91,6%	1,5%	4,2%	2,4%	0,2%
Zapallo	91,5%	1,0%	4,7%	1,9%	0,1%
Cebolla blanca	88,7%	1,3%	8,3%	1,1%	0,1%
Cebolla morada	89,3%	1,4%	7,8%	0,8%	0,1%
Cham- piñón	89,0%	2,5%	4,4%	3,2%	0,4%
Col de Bruselas	79,3%	2,8%	9,0%	3,3%	0,2%
Coliflor blanco	89,6%	1,6%	5,7%	2,0%	0,1%
Espárrago	90,1%	2,0%	4,0%	2,2%	0,1%
Espinaca	88,2%	4,1%	3,7%	2,8%	0,4%
Lechuga repollada	92,0%	1,5%	4,1%	1,4%	0,3%
Lechuga de hoja	94,3%	1,5%	3,0%	1,0%	0,1%
Pepino	95,2%	0,9%	2,2%	0,6%	0,2%
Perejil	86,3%	1,8%	6,3%	3,0%	0,8%

Pimiento	91,0%	2,8%	2,8%	2,9%	0,2%
Rabanito	95,4%	0,6%	1,5%	1,5%	0,1%
Menta	85,3%	1,2%	7,7%	2,3%	1,6%
Zanahoria	81,0%	6,3%	9,6%	0,9%	0,2%
Tomate	92,8%	1,5%	3,9%	1,0%	0,2%

Tabla composición alimentos (varias fuentes).

Con las ecuaciones propuestas por Choi y Okos (pág 161) pueden calcularse los calores latentes y viscosidades de estos agroalimentos.

Se puede consultar también “Composición de alimentos” de Miriam Muñoz de Chavez, escrito en México y publicado en 2010 por Mc Graw Hill, en su segunda edición.

Academic Press publica la revista de INFOODS que tiene varios números dedicados a la composición y análisis de alimentos.

FAO publicó en 2004 “Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición” para LATINFOODS, que es la versión de INFOODS para América del Sur, con sede en Chile y en Guatemala.

10.5.- Proyecto de investigación: Estudio de factibilidad para el desarrollo de una propuesta productiva orientada a los alimentos de humedad intermedia (AHÍ).

La UNCA ha desarrollado numerosos trabajos que se ocuparon de estudiar la operación de secado y la aplicación de secaderos solares basándose en ellos es posible diseñar y construir nuevos equipos desde la conceptualización de la producción de los alimentos, que resulten eficaces en términos de potencia, economía y sanidad, y resulten cómodos en su operación y transporte para usarlos en actividades de desarrollo.

Ej: Secado solar “tomate pera” (*Solanum lycopersicum*)

Humedad inicial: Tomate 86,4%¹⁶

Equipo 1: El primer sistema se construyó siguiendo un modelo vertical del tipo armario, con una capacidad de carga de cinco kilogramos (tomates) con estructura de hierro macizo, paredes de film (*streetch industrial alusa*) y bandejas de acero inoxidable. El peso total del equipo vacío es de 12 Kg, que resulta lo suficientemente liviano como para transportarlo y lo bastante pesado como para afrontar algún viento, de los que son comunes en nuestra zona del Noroeste Argentino. La experiencia se realizó en el mes de febrero del año 2018.

¹⁶ (Mc Graw Hill; 2009; “Composición de alimentos” 2Ed)



Vista del primer prototipo funcionando

hora	minutos	peso (g)	T interna
9	0	5.000	15,3
10	60	4.615	17
11	120	4.231	18,7
12	180	3.846	20,4
13	240	3.647	22,1
14	300	3.500	23,8
15	360	3.397	25,5
16	420	3.308	27,2
17	480	3.237	28,9
18	540	3.173	30,6
19	960	3.109	32,3

Por pérdida de peso a baja temperatura se calcula que la humedad final del producto es del 49%.

El producto se completa con una mezcla de sales de NaCl, KCl, CaCl₂ y glicerina, lo que preserva notablemente el aroma del producto manteniendo un aspecto fresco y agradable.



Presentación final del producto terminado

Los gráficos de la cinética de la operación son los que se presentan en las páginas 206 y 207.

Los alimentos de humedad intermedia utilizan estrategias combinadas para lograr la conservación sin llegar a valores avanzados de deshidratación.

La energía requerida para reducir la humedad del material se puede calcular:

$$Q_{tr} = \lambda m = 2257 \text{ [Kj/Kg]} \cdot 5 \text{ [Kg]} = 11285 \text{ [KJ]}$$

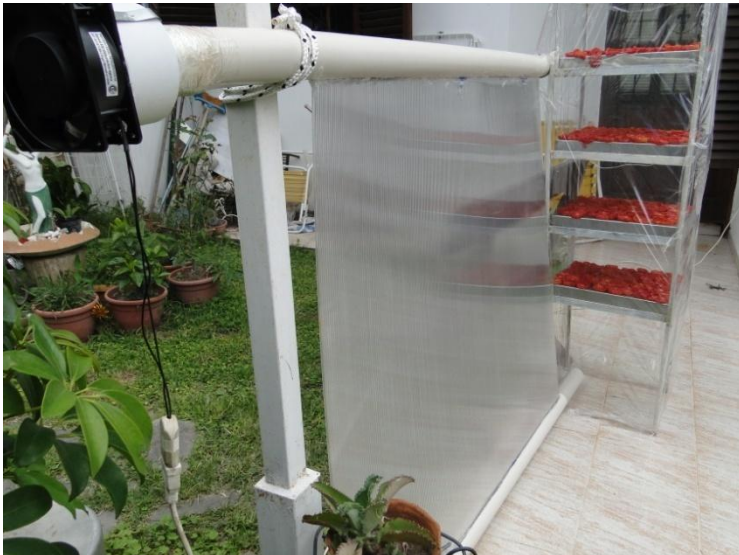
para calentar el producto se gastaron:

$$Q_r = m C_p \Delta T = 5 \text{ [Kg]} \cdot 3,7 \text{ [KJ/}^\circ\text{CKg]} \cdot 38 \text{ [}^\circ\text{C]} = 703 \text{ [KJ]}$$

el calor utilizado en la operación es entonces de: 11988 [KJ]

que implica una potencia de 330 w en las diez horas empleadas.

Posteriormente se propuso una mejora al sistema aumentando la superficie de captación de la energía solar mediante una antena colectora polarizada operada contra convección, como se muestra en la fotografía:



se puede observar la antena solar polarizada operada contra la convección