

Determinación del coeficiente de difusividad: Níspero (*Manilkara achras*) y Tamarindo (*Tamarindus indica*)

Investigadores principales: Andrea Guadalupe Gavorskis Cárdenas, Alicia Harrar de Dienes y Katherine Anezka Ozols Busek

Investigador ponente: Alicia Harrar de Dienes

Institución: Universidad Metropolitana (Escuela de Ingeniería Química)

Área de investigación: Conservación de alimentos, Deshidratación.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha hecho hincapié en la investigación de las frutas secas. El secado es la forma más común de preservar un alimento y extender su vida útil. El objetivo del secado de productos agrícolas es reducir su contenido de humedad a niveles donde se pueda lograr un almacenaje seguro. Se logra también una sustancial reducción del peso y volumen minimizando material de empaque, espacio de almacenamiento y costos de transporte, (Doymaz, 2008). En el diseño de un equipo de secado, es necesario conocer entre otros parámetros el coeficiente de difusividad. No siempre es posible encontrar predicciones teóricas de esta propiedad de transporte, por lo que es necesario obtener valores experimentales (Sharma *et al.*, 2003). Una de las formas de obtener estos coeficientes es mediante el análisis de las curvas de deshidratación y aplicando la ley de Fick.

2. OBJETIVOS

Objetivo general: Determinar el coeficiente de difusividad del níspero y tamarindo a través de las curvas de secado.

Objetivos específicos: (1) Identificar las variables del proceso que intervienen en la deshidratación de frutas para adaptarlas a un secador de bandejas. (2) Evaluar el diseño experimental apropiado con el fin de establecer los niveles de las variables de secado. (3) definir las pruebas experimentales con el fin de obtener las curvas de secado. (4) Determinar los coeficientes de difusividad mediante el modelo difusional de Fick.

3. MARCO TEÓRICO

Secado: Durante el secado el agua es vaporizada solo desde la superficie. El flujo de humedad es proporcional a la fuerza impulsora que es la diferencia de la presión de vapor de la superficie y la presión de vapor del aire en los alrededores de la superficie. Al mismo tiempo que el agua se remueve de la superficie, se difunde agua desde el interior del sólido a la superficie (Toledo, 1991). Mecanismos de transferencia de masa interna limitan el secado. La humedad migra hacia la superficie por varios caminos y dadas las condiciones de secado estos caminos pueden ser difusión líquida y difusión del vapor. Una forma de describir empíricamente el secado en el periodo de velocidad decreciente es el coeficiente de difusividad efectivo el cual es una combinación de todos los mecanismos de transferencia de masa, (Dennis y Hartel, 2003).

Difusión: La difusión molecular ó transporte molecular, ocurre por un movimiento de moléculas individuales a través de una sustancia por su energía térmica. Esta se puede definir como el desplazamiento de las moléculas individuales, mediante un fluido, por medio de la transferencia individual y desordenada de las moléculas. Puede ocurrir difusión en los tres estados de agregación de la materia, Para la operación de secado la difusión molecular con mayor aporte será la difusión en sólidos. Mediante la segunda ley de Fick se puede modelar la difusión en las operaciones de secado (Marquez *et al.*, 2006)

Ley de Fick: esta ley indica “La rapidez con la cual un soluto se mueve en cualquier punto o dirección dependerá del gradiente de concentración en ese punto y en esa dirección”. La difusividad o coeficiente de difusión (D_{AB}) de un componente A en solución B, se define como la relación de su flujo (J_A) y su gradiente de concentración $((\delta C_A)/\delta z)$

$$J_A = - D_{AB} \frac{\delta C_A}{\delta z} \quad (1)$$

La rapidez de transferencia, por conveniencia, se expresa en flujo molar o moles entre tiempo por unidad de área. Para calcular los coeficientes, según el modelo de Fick, es necesario establecer las siguientes suposiciones: (a) el coeficiente es constante durante todo el periodo decreciente de la velocidad de secado. (b) La lámina de la fruta se considera una sección infinita y el secado ocurre en ambas caras. (c) El material se considera homogéneo. (e) La temperatura y la velocidad de secado no varían respecto al tiempo (Janjai *et al.*, 2010).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las muestras en forma de láminas fueron deshidratadas en un secador de bandejas marca Armfield UOP-8 al que para la obtención de los valores experimentales se adaptó una cámara de video marca Fotosmart conectada a una computadora portátil marca HP y a través del programa Caturix 2007 se logró registrar la pérdida de agua en forma continua.

Se determinó mediante revisión bibliográfica y pruebas preliminares que las variables a tomar en cuenta eran: espesor de la fruta, y velocidad y temperatura del aire. Se realizaron experimentos con espesores de 3 y 5×10^{-3} m, para el níspero y 5 y 8×10^{-3} m para el tamarindo, a una temperatura del aire de 54 y 60°C para el níspero y 50 y 60°C para el tamarindo y velocidad del aire de 0,74 y 1,00 m/s para el níspero y 0,50 y 1,00 m/s para el tamarindo. Estos valores fueron seleccionados de acuerdo a experimentos previos no reportados y limitaciones del equipo.

Diseño experimental. Una vez determinadas las variable independientes y sus niveles: X_1 espesor de la fruta (m), X_2 , velocidad del aire (m/s), X_3 temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$). Para la determinación del número de tratamientos se utilizó un diseño experimental factorial 2^3 (3 variables independientes con 2 niveles cada una) y una variable dependiente (coeficiente de difusividad) (Montgomery, 1991). Esto produjo un total de 8 tratamientos (corridas experimentales) para cada una de las frutas (Tabla 1). Para este estudio en la determinación de las réplicas en todos los casos se estableció un nivel de significancia de 5%, lo cual señala una probabilidad del 90% para el secado y en base a experiencias previas (Bahar, 2000) se tomó $\sigma = 2\%$ y $\delta = 10\%$, obteniéndose como resultado un número de repeticiones de dos (Cochran y Cox, 1991).

Tabla 1

Ordenamiento de los 8 tratamientos para el Níspero y el Tamarindo

	Níspero								Tamarindo							
Tratamiento	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$)	60	60	60	60	54	54	54	54	60	60	60	50	50	50	50	50
Espesor ($\times 10^{-3}$) (m)	5	5	3	3	5	5	3	3	8	8	5	5	8	8	5	5
Velocidad del aire (m/s)	0,74	1,1	0,74	0,74	0,74	1,1	0,74	1,1	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0

Curvas de secado. Con los valores experimentales de pérdida de peso en función del tiempo se determinó el contenido de humedad en cada una de las frutas para los 8 tratamientos durante el tiempo que se mantuvo en el secador. En la Figura 1 se presenta como ejemplo los resultados de la variación de la humedad con el tiempo para la corridas 1 y 2 del níspero, en la figura está representado el promedio de las dos réplicas de cada tratamiento.

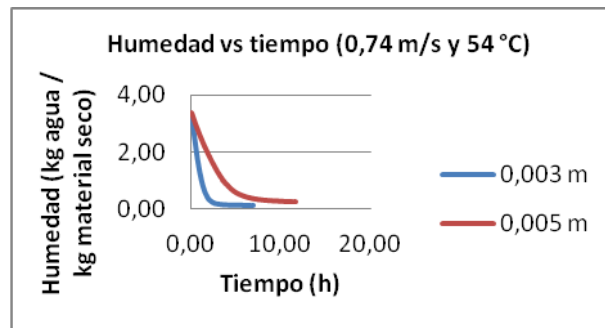


Figura 1. Variación del contenido de humedad del níspero en función del tiempo (corridas 1 y 2)

Se observa un patrón típico de deshidratación, descendiendo la humedad a medida que transcurre el tiempo hasta alcanzar la humedad de equilibrio. Las diferencias en las curvas se debe a las variaciones en el espesor del alimento ya que por ser un alimento con un alto contenido de humedad inicial (77%) se pudieran presentar coeficientes de difusividad variables dependiente de los cambios físicos que ocurren cuando el agua es removida. (Toledo, 1991).

Velocidad de secado. En la Figura 2 se observan (como ejemplo) las curvas de la velocidad de secado en función de la humedad para las corridas 1 y 2 del níspero, están representados el promedio de las dos réplicas de cada tratamiento.

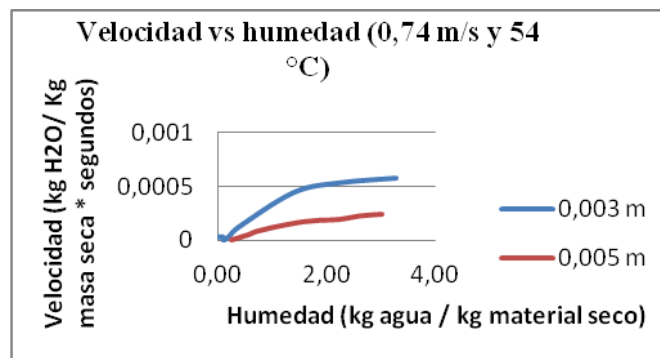


Figura 2. Variación de la velocidad de secado del níspero en función del tiempo (corridas 1 y 2)

Se puede observar que en ambas corridas se puede identificar claramente los periodos de velocidad constante y decreciente. En algunas de las corridas que no están representadas por falta de espacio no fue posible identificarlos debido a que probablemente los valores iniciales de humedad se encontraban por encima de la humedad crítica.

Coefficientes de difusividad. El cálculo de los coeficientes de difusión se realizó con los valores experimentales de velocidad de secado correspondientes al 60% del periodo de velocidad decreciente ya que al inicio de este periodo el efecto de otros mecanismos de transferencia son apreciables, (Treybal, 1999). En las Tablas 2 y 3 se observa los coeficientes de difusividad (D) obtenidos para los 8 tratamientos para el níspero y tamarindo respectivamente. Está tabulado el valor promedio de las réplicas de cada tratamiento.

Tabla 2
Coeficiente de difusividad (D) para el Níspero

Espesor (m)				
0,003		0,005		
Temperatura(°C)	Velocidad (m/s)		Velocidad (m/s)	
	0,74	1,1	0,74	1,1
54	1,9213E-10	1,9970E-10	4,6101E-10	4,2479E-10
	1,7923E-10	1,7417E-10	4,2099E-10	5,9526E-10
	1,8568E-10	1,8694E-10	4,4100E-10	5,1003E-10
60	2,0829E-10	1,7308E-10	4,4505E-10	4,2479E-10
	1,6709E-10	2,0874E-10	4,7469E-10	5,9779E-10
	1,8769E-10	1,9091E-10	4,5987E-10	5,1129E-10

Tabla 3
Coeficiente de difusividad (D) para el Tamarindo

Espesor (m)				
		0,005		0,008
Temperatura(°C)	Velocidad (m/s)		Velocidad (m/s)	
	0,5	1	0,5	1
50	7,832E-10	8,853E-10	1,965E-09	2,3792E-09
	9,6052E-10	9,7826E-10	2,0011E-09	2,5342E-09
	8,7187E-10	9,3177E-10	1,9833E-09	2,4567E-09
60	6,368E-10	8,4097E-10	1,8624E-09	1,6004E-09
	5,8614E-10	9,7724E-10	1,5855E-09	2,2229E-09
	6,1147E-10	9,0910E-10	1,7239E-09	1,9116E-09

Se observa para ambas frutas Tablas 2 y 3 que el coeficiente de difusividad disminuye al disminuir la velocidad del aire, para ambos espesores esto es explicable para materiales que tienen un tiempo de secado considerablemente largo ya que la resistencia a la transferencia de vapor de agua desde la superficie del sólido hasta el aire es generalmente despreciable frente a la difusión y dado el hecho de que el valor de humedad en la superficie se aproxima a la humedad de equilibrio, la velocidad del aire tiene poco o casi ningún efecto (Dennis *et al.*, 2003). Con respecto a la influencia de la temperatura en el coeficiente de difusividad se pudo observar el efecto esperado que aumentara con la temperatura. Se observa también que los valores más bajos de difusividad se obtuvieron en las muestras de menor espesor lo cual contradice lo esperado ya que el vapor de agua debe realizar un recorrido menor para llegar a la superficie (Toledo, 1991).

5. CONCLUSIONES

Se determinaron los coeficientes de difusividad del tamarindo y níspero siguiendo el modelo difusional de Fick. Los resultados obtenidos son comparables con los publicados en la literatura para productos similares. Coeficiente de difusividad para la manzana, $2,33 \times 10^{-9}$ (Toledo, 1991). Se obtuvo para ambas frutas que al aumentar la velocidad del aire

disminuye el coeficiente de difusividad y que al aumentar la temperatura aumenta el coeficiente de difusividad. Para las mismas condiciones de secado, al disminuir el grosor en la muestra trajo como consecuencia una disminución del coeficiente de difusividad en ambas frutas.

6. REFERENCIAS

- Bahar, N. (2000). *Determinación de los coeficientes de difusividad para la deshidratación de la piña (Ananas Comosus) en un secador de túnel*. Trabajo de Grado no publicado, Ingeniería Química, Universidad Metropolitana, Caracas.
- Cochram W., Cox, G.M. (1991). *Diseños Experimentales*. Editorial Trillas, México
- Dennis, R.H., y Hartel, R.W. (1997). *Principles of Food Processing*. Chapman & Hall, New York.
- Doymaz, I. (2008). Convective drying kinetics of strawberry. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 47, 914–919
- Janjai, S., Mahayothee, B., Lamiert, N., Bala, B. K., Precoppe, M., Nagle, M., Müller, J. (2010). Diffusivity, shrinkage and simulated drying of litchi fruit (*Litchi Chinensis* Sonn). *Journal of Food Engineering* 96, 214–221
- Márquez, C. A., Michelis, A., Giner, S., A. (2006). Drying kinetics of rose hip fruits (*Rosa eglanteria* L.). *Journal of Food Engineering* 77, 566–574.
- Montgomery, D. C.(1991). *Diseño y análisis de experimentos*. Grupo Editorial Iberoamérica, México.
- Toledo, R.T. (1991). *Fundamentals of Food Process Engineering*. Chapman & Hall, Second Edition, New York.
- Treybal, R.E. (1999). *Operaciones de Transferencia de Masa*. MacGraw-Hill, México.