

Cinética de secado de berenjenas (*Solanum melongena* L.)

Chaves, M. G. - Sgroppo, S. C. - Avanza, J. R.

Laboratorio de Tecnología Química - Facultad de Cs. Exactas y Naturales y Agrimensura - UNNE.

Av. Libertad 5450 - (3400) Corrientes - Argentina.

Tel./Fax: +54 (03783) 457996 int. 104

E-mail: ssgroppo@exa.unne.edu.ar

INTRODUCCION

En los últimos años, el cultivo de la berenjena (*Solanum melongena*, L.) ha tenido una amplia difusión en la zona nordeste del país siendo consumida principalmente como vegetal fresco. La berenjena es un fruto cuyo aporte en calorías a la dieta es reducido, tiene muy bajo contenido en sodio y representa una buena fuente de potasio y fibra.

La deshidratación es un método que permite conservar los alimentos básicamente por reducción de la actividad del agua, lo que evita el crecimiento de microorganismos y las alteraciones químicas.

Un alimento deshidratado aceptable debe competir en precio con otros tipos de alimentos conservados, tener un sabor, olor y apariencia comparable con el producto fresco o con productos procesados por otros medios, tiene que reconstituirse fácilmente, retener los valores nutritivos y ser estable durante el almacenamiento.

Muchos alimentos son consumidos en forma deshidratada porque la eliminación del agua y el calentamiento asociados al proceso les da un sabor distintivo y apetecible. En otros casos la deshidratación es un paso necesario durante la producción.

La producción de berenjenas secas resulta interesante a los efectos de proveer una alternativa adicional de aprovechamiento para los productores de la Región del Nordeste Argentino, dado que muchas veces el productor no vende su producción completa, ya sea porque no cumple las exigencias de tamaño, peso y apariencia para la venta como producto fresco o bien porque el precio ofertado en el mercado no resulta conveniente para el productor.

Continuando con trabajos de secado de berenjenas realizados por nuestro grupo (Sgroppo y Avanza, 2002) y teniendo en cuenta que en todo proceso de deshidratación se encuentran involucrados fenómenos de transferencia de calor y materia donde el agua es transferida por difusión desde el interior del alimento hacia la superficie en contacto con el aire de secado, se estudia el modelado del proceso.

La migración por difusión de la humedad contenida en un alimento es el mecanismo predominante en el secado de la mayoría de los alimentos, tal es el caso de los vegetales. Es por ello que el método tradicional para el estudio de la transferencia de masa en estado no estacionario para el secado de productos agrícolas, considerados como sólidos húmedos, es la aplicación de la segunda ley de Fick. Entonces, si consideramos las rodajas como finas láminas infinitas, donde la pérdida de agua se produce solamente en sentido axial, es decir por ambas caras de la misma, podríamos aplicar la segunda ley de Fick para describir la transferencia de masa durante el secado:

$$\frac{X_t - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \frac{8}{\pi^2} * (\exp^{-\hat{a}_1^2} + 1/9 * \exp^{-9\hat{a}_1^2} + 1/25 * \exp^{-25\hat{a}_1^2} + \dots) \quad (\text{Ec.1})$$

Donde :

- $\hat{a}_1 = (\delta/2)^2$
- $\hat{a} = D_v / r_p^2$
- X_T : concentración media del soluto en el sólido en el instante t
- X_{eq} : concentración de equilibrio del soluto en el sólido y en la masa global de la solución.
- X_0 : concentración constante de soluto en el sólido en tiempo cero.
- D_v : difusividad de la humedad a través del sólido (L^2/t)
- t_i : tiempo de secado (seg)
- $2r_p$: espesor de partícula; en nuestro caso utilizamos el semiespesor instantáneo, obtenido a partir de la medida del espesor a cada tiempo t.

OBJETIVO

Establecer la cinética de secado de las rodajas de berenjena, realizar el modelado del fenómeno a las temperaturas de trabajo ensayadas y determinar los valores del coeficiente de difusividad efectiva.

MATERIALES Y METODOS

Material vegetal: las berenjenas fueron provistas por un productor del departamento de Bella Vista, provincia de Corrientes y fueron cosechados en su grado de madurez comercial. Los frutos fueron lavados y secados rápidamente y conservados a temperatura ambiente (25 °C) hasta el momento de ser procesados, no superando dicho tiempo los 4 días. Se determinó la humedad de las rodajas del producto fresco por el método de desecación en estufa de aire hasta valores de pesada constante. (AOAC, 1990)

Equipo de secado: se utilizó un secadero de laboratorio que consistió en una cabina prismática de base cuadrada con ingreso de aire previamente calefaccionado en la parte inferior junto con un dispositivo conectado a una balanza analítica, la cual fue utilizada para el seguimiento de la pérdida de peso de las rodajas.

Técnica: Para llevar a cabo las experiencias se tomaron 2 frutos a los que se cortó (en sentido transversal) en rodajas de espesores y diámetros seleccionados, quedando un borde formado exclusivamente por la piel del fruto. Se midió el espesor y el diámetro de la rodaja en cuatro puntos opuestos utilizándose Vernier Caliper (0-150mm) con una precisión de 0.05 mm. Luego se colocó la rodaja dentro del secadero suspendida de la balanza analítica y se pesó. Se realizó el seguimiento de la pérdida de peso de la rodaja y de sus dimensiones a intervalos de tiempo previamente establecidos, hasta valores de pesada constante. Finalmente se retiró la rodaja del secadero y se secó en estufa a 100 C durante una hora para determinar su humedad residual. Los ensayos se repitieron al menos seis veces para cada condición de secado y tamaño de las rodajas.

Condiciones de trabajo: La velocidad del aire de secado fue medida a través de un aerómetro Testo 405-V1 con una precisión de 0.01m/seg. Se trabajó bajo las siguientes condiciones: temperatura del aire de secado: 50 C, 70 C, 90 C y velocidad del aire de secado: 0.20-0.50 m/seg, humedad relativa del aire: 50-60%.

RESULTADOS

El contenido en humedad de las rodajas antes del secado fue de 92.6 %($\pm 1.38\%$.)

En las figuras 1, 2, 3, 4, 5 y 6 se presentan las curvas de secado de las rodajas en función del tiempo. Para las tres temperaturas de secado podemos observar la ausencia de un período de velocidad constante. La velocidad de secado para rodajas de iguales dimensiones aumenta con la temperatura, no varía dentro del rango de diámetros estudiados, pero disminuye a medida que el espesor de la rodaja aumenta. Esto indica que la pérdida de agua se produce preferencialmente en sentido axial.

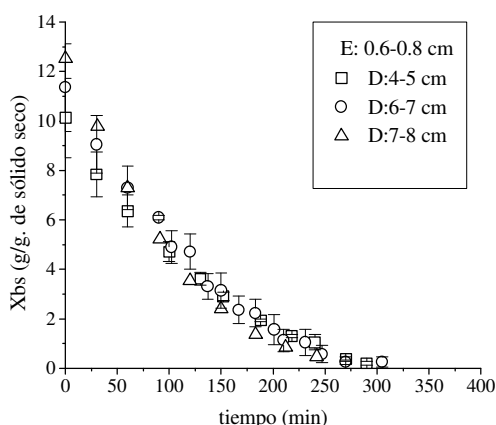


Fig.1: Curvas de secado a 50°C para rodajas de diferentes diámetros y un espesor de 0.6-0.8 cm.

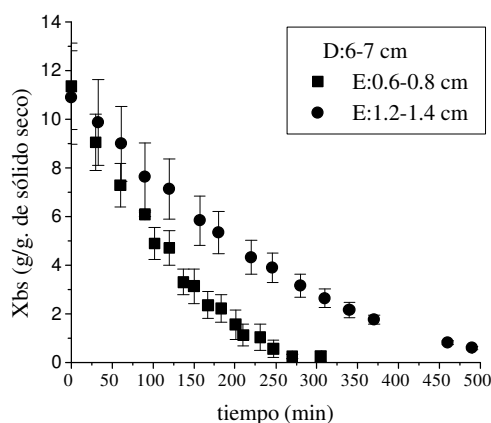


Fig.2: Curvas de secado a 50°C para rodajas de diferentes espesores y un diámetro de 6-7 cm.

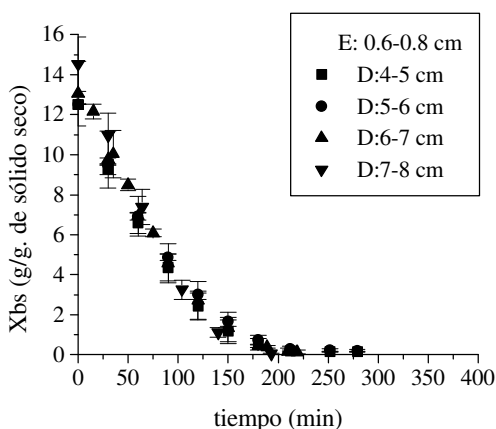


Fig.3: Curvas de secado a 70°C para rodajas de diferentes diámetros y un espesor de 0.6-0.8 cm.

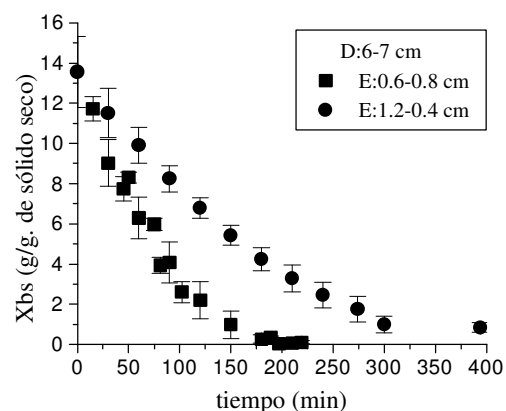


Fig.4: Curvas de secado a 70°C para rodajas de diferentes espesores y un diámetro de 6-7 cm.

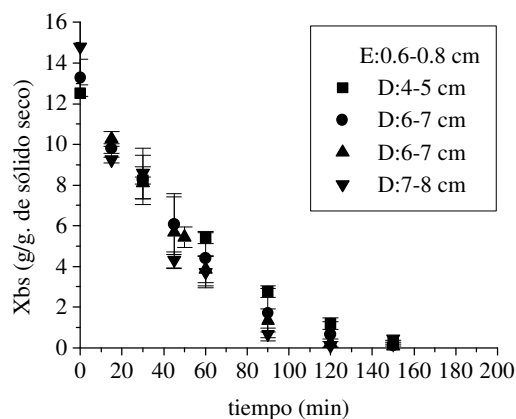


Fig.5: Curvas de secado a 90°C para rodajas de diferentes diámetros y un espesor de 0.6-0.8 cm.

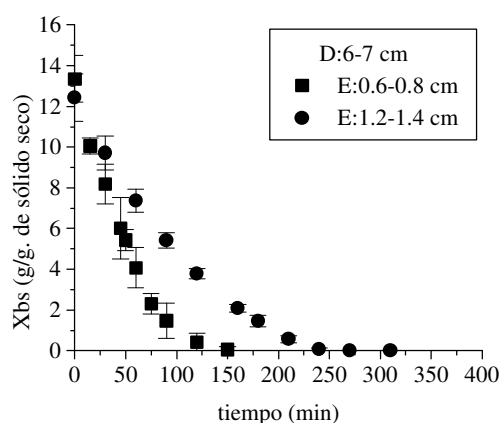


Fig.6: Curvas de secado a 90°C para rodajas de diferentes espesores y un diámetro de 6-7 cm.

En la tabla 1 se detallan las Xbs (humedad en base seca) residual y los porcentajes de contracción del diámetro y el espesor de las rodajas durante el secado, hasta que la rodaja empieza a alabearse.

Tabla 1

T	Diámetro (cm)	Espesor (cm)	Xbsalabeado (g de Agua / g. sólido seco)	ds	% Contracción diámetro	ds	% Contracción espesor	ds
50°C	6-7	0.6-0.8	5.29	1.01	12.06	2.74	27.68	6.92
		1.2-1.4	2.16	0.31	21.57	2.75	37.97	1.85
	7-8	0.6-0.8	5.53	1.30	16.69	2.24	27.35	5.21
		1.2-1.4	2.064	0.19	21.31	0.11	32.64	4.00
70°C	6-7	0.6-0.8	5.56	0.76	22.19	2.70	28.67	4.91
		1.2-1.4	4.56	0.97	19.80	0.97	35.53	4.79
	7-8	0.6-0.8	5.265	1.39	20.86	6.06	33.73	8.50
		1.2-1.4	5.03	0.86	17.17	0.69	41.40	1.27
90°C	6-7	0.6-0.8	3.95	0.72	15.49	1.90	31.62	4.33
		1.2-1.4	1.75	0.26	18.07	0.73	50.14	3.3
	7-8	0.6-0.8	4.19	0.40	15.82	1.34	25.9	0.99
		1.2-1.4	3.11	0.32	18.74	0.53	49.2	2.5

El porcentaje de contracción del espesor de la rodaja durante el secado es 1.5-2 veces el valor observado para el diámetro. Cuanto mayor es el espesor de la rodaja que se seca, la deformación (alabeo) se produce a menores contenidos de humedad residual (Xbs).

Para el modelado del secado de rodajas de berenjena, considerándolas como láminas semiinfinitas de espesor finito, se aplica el modelo difusional utilizando el primer término de la ecuación integrada de la segunda ley de Fick. Se obtienen los valores de los coeficientes de difusividad efectiva. A modo de ejemplo en la figura 7 se presenta la regresión lineal de dicha ecuación para la curva de secado a 50°C. Similares resultados se obtuvieron con el resto de las condiciones ensayadas.

En la tabla 2 se detallan los coeficientes de difusividad efectiva del agua obtenidos para rodajas de berenjena de diámetro 6-7 cm y espesor 0.6-0.7 cm secadas a cada temperatura ensayada. Estos valores están en el orden de los informados para otros vegetales (Vega et.al, 2001; Xue y col.,2001; Giovanelli y col., 2002)

Tabla 2

T	Dv (m ² /s)	r ²
50°C	2.930E-10	0.979
70°C	4.932E-10	0.978
90°C	7.339E-10	0.973

La influencia de la temperatura de secado sobre el coeficiente de difusividad efectiva muestra un comportamiento tipo Arrhenius:

$$D = D_0 \cdot \exp(-E_a/R \cdot T) \quad (\text{Ec.2})$$

En la figura 8 se presenta el gráfico correspondiente a $\ln D$ en función de $1/T$, de donde se calcula el valor de la energía de activación. La energía de activación obtenida es de 22,404 kJ/mol °K, que se encuentra en el orden de los valores reportados por otros autores.(Hernández et.al, 2000).

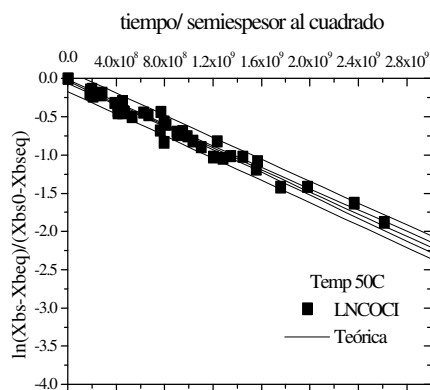


Fig.7: Regresión lineal para la curva de secado a 50°C de rodajas de 6-7 cm de diámetro y 0.6-0.8 cm de espesor.

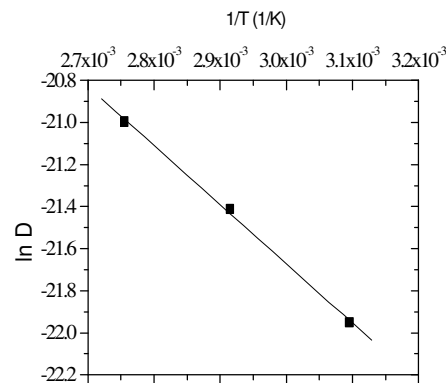


Fig.8: Gráfico de $\ln D$ en función de $1/T$ para las tres temperaturas de trabajo de rodajas de 6-7 cm de diámetro y 0.6-0.8 cm de espesor.

CONCLUSIONES

La cinética de secado de rodajas de berenjena para las tres temperaturas de trabajo ensayadas puede ser descripta por la ecuación integrada de la segunda ley de Fick, utilizando el primer término de la serie. Los coeficientes de difusividad efectiva hallados se encuentran dentro del rango de valores informados para otros vegetales y se verifica un comportamiento del tipo Arrhenius con la temperatura.

BIBLIOGRAFIA

- Badger, Banchemo.** 1965. Introducción a la Ingeniería Química. McGraw Hill, Inc.. Ediciones Castilla. España.
- Desrosier, N.W.** 1985. Conservación de alimentos. Compañía Editorial Continental, SA de CV. México.
- G. Giovanelli, B Zanoni, V. Lavelli, R. Nani.** 2002. "Water sorption, drying and antioxidant properties of dried tomato products". Journal of Food Engineering . Vol.52, 135-141.
- Ybrahim Doymaz, Mehmet Pala.** 2002. "Hot-air drying characteristics of red pepper". Journal of Food Engineering. Vol.55, 331-335
- J. F. Gabitto, R. J. Aguerre.** 1985 "Solución numérica del proceso de secado con cambio de volumen". Revista Latinoamericana de Transferencia de Calor y Materia. Vol. 9, 231-240.
- J. V. Fusco, J.R. Avanza, R. J. Aguerre, J. F. Gabitto.** 1991. "A diffusional model for drying with volume change". Drying Technology. Vol. 9. Issue 2 , 397-417
- J.A.Hernández, G. Pavón, M. A. García.** 2000. "Analytical solution of mass transfer equation considering shrinkage for modeling food drying kinetics". Journal of Food Engineering Vol. 45, 1-10.
- Kanichi Suzuki, Kiyoshi Kubota, Tsutmu Hasegawa y Hideaki Hosoka.** 1976. "Shrinkage in dehydration of root vegetables". Journal of Food Science. Vol. 41, 1189-1194.
- M. K. Krokida, V.T. Karathanos, ZB Maroulis, D. Marinou-Kouris.** 2003. "Drying kinetics of some vegetables". Journal of Food Engineering. Article in press.
- Pascual Viollaz, Clara O. Robedo.** 2002. "A drying model for a three-dimensional shrinking bodies". Journal of Food Engineering. Vol. 52, 149-153.
- S. Pabis, M. Jaros.** 2002. "The first period of convection drying of vegetables and the effect of shape-dependent shrinkage". Biosystems Engineering Vol. 81 (2), 201-211
- S. Sgroppo, J. Gabitto, R. Aguerre, A.J.V. Fusco, J.R. Avanza.** 1990. "Transferencia de masa de sólidos con cambio de volumen. Aplicación al secado de la mandioca". Revista FaCENA. Vol. 8, 131-146.
- S. Sgroppo, J.R. Avanza.** 2001. "Influencia de la temperatura en el secado de pimientos en trozos". Información Tecnológica. (CIT). La Serena. Chile.Vol. 12. N°2.
- S.N. Jha, T. Matsuoka.** 2002. "Surface stiffness and density of eggplant during storage". Journal of Food Engineering. Vol.54, 23-26.
- Vega A.; Andrés A.; Fito P.** 2001. "Cinética de secado por aire caliente de dados de pimiento (*Capsicum annum L.*)" III Congreso Iberoamericano de Ingeniería en Alimentos. Tomo II, Cap. 2, 228-234.
- Xué, K.; Cháfer, M.; Gonzalez Martínez, C.; Fito, P.; Chiralt, A.** 2001. " Secado por aire caliente de pera variedad Blanquilla". III Congreso Iberoamericano de Ingeniería en Alimentos. Tomo II, Cap. 2, 235-240.