

**Isotermas de adsorción
de berenjenas deshidratadas****Chaves, María G. - Sgroppo, Sonia C. - Avanza, Jorge R.***Laboratorio de Tecnología Química. FaCENA. UNNE.**Avenida Libertad 5450. 3400. Corrientes. +054- 03783-457996 int104. chavesgm@exa.unne.edu.ar***INTRODUCCIÓN**

El conocimiento de las isotermas de adsorción de alimentos es de gran importancia para el desarrollo en la industria alimenticia, ya que brindan información útil para la optimización del proceso de secado y el diseño de secaderos, la selección del material de empaquetamiento, la predicción de la vida útil del producto y de la evolución en el contenido de humedad durante el almacenamiento. (Gal, 1987).

Uno de los parámetros más importantes en alimentos deshidratados es la condición de equilibrio que determina el límite del proceso, siendo esta una parte importante del gradiente que provoca el movimiento del agua. La actividad del agua es un factor determinante en el estudio de la estabilidad de los alimentos secos, donde ésta última se define como la relación entre la presión de vapor de agua del alimento y la presión de vapor del agua líquida pura a la misma temperatura. (Singh y Heldman, 1998)

Las isotermas de adsorción muestran la relación entre la actividad del agua (a_w) y la humedad de equilibrio (X_e) contenida en un producto alimenticio, a una temperatura y presión constante.

Esta relación ha sido ampliamente estudiada de manera de lograr una descripción matemática del proceso y es así que se han propuesto diversas ecuaciones, entre las que encontramos el modelo de Brunauer, Emmett y Teller (Brunauer et al, 1938; Labuza, 1968; Iglesias y Chirife, 1976a) que presenta un rango limitado de aplicabilidad, hasta un a_w de 0.3-0.4, el modelo de Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB) propuesto formalmente por van den Berg en 1981 (van den Berg et al, 1981) con un rango de aplicabilidad de 0.1 a 0.9 de a_w , el modelo propuesto por Ferro Fontán y col en 1982 (Ferro Fontán et al, 1982) con un rango de aplicabilidad equivalente al de GAB, entre otros. En los últimos años el modelo de GAB ha sido ampliamente utilizado para la descripción de isotermas de sorción de diversos alimentos. (Maroulis y col., 1988; Viswanathan y col. 2003; Diosady, y col. 1996; Hyun Ku Kim y col. 1991; Maroulis et al, 1995; Giovanelli y col, 2002; Krokida et al, 2003; Timmermann y col. 2001, así como Iglesias y Chirife (1995) trabajaron con alimentos de origen vegetal y animal.)

La utilidad de un modelo dependerá en mayor grado de los objetivos que tenga el investigador ya que si se quiere determinar el tiempo de vida útil del producto se deberá considerar aquel modelo que mejor ajuste a los datos experimentales amén de aquel que posea un mayor fundamento teórico. Otro factor importante es la simplicidad del mismo, ya que aquel que posea un menor número de parámetros requerirá menor tiempo para ser procesado (Boquet et al, 1978)

OBJETIVOS

Modelar las isotermas de adsorción de berenjena deshidratadas en diferentes condiciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se determinaron las isotermas de adsorción a 5°C, 10°C, 20°C y 30°C de rodajas de berenjena secadas a tiempo final para las distintas temperaturas de secado (50°C, 70°C y 90°C), mediante el método del equilibrio isopiéstico.

Preparación del material: 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. Luego se colocó la rodaja dentro del secadero suspendida de la balanza analítica y se procedió al secado hasta tiempo final. 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%.

Se prepararon ambientes en un rango de 6% a 98% de humedad relativa a partir de soluciones saturadas de sales, cuya actividad acuosa es conocida. (Kaymak-Ertekin et al, 2004; Chirife, 1984). El material una vez seco, fue pesado y colocado dentro de los desecadores previamente acondicionados, registrando su peso por única vez a los 21 días, es decir una vez alcanzado el equilibrio. (Kaymak-Ertekin, 2004)

Se determinó el contenido de agua del producto en equilibrio por secado en estufa a 100 °C. (AOAC, 1990)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la fig. 1 y 2 se presentan las isothermas de adsorción a 10°C y 30°C de rodajas de berenjena secadas a 50°C, 70°C y 90°C. En ella podemos observar que no hay diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las isothermas de rodajas secadas a distintas temperaturas, es decir que la temperatura de secado no influye sobre la isoterma de adsorción dentro del rango de temperaturas estudiado.

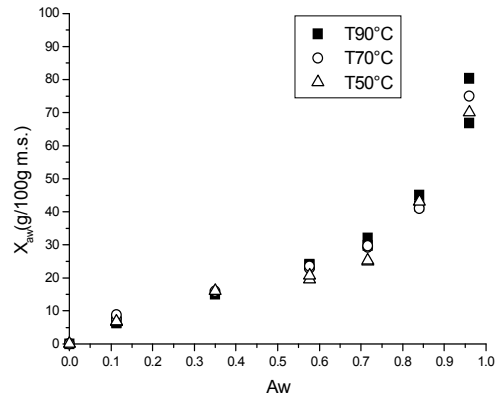
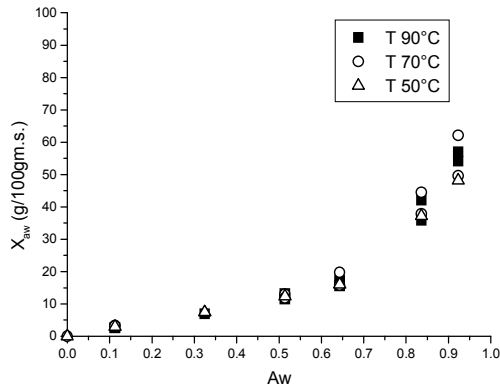


Fig. 1: Isotherma de adsorción a 10°C de rodajas secadas a 50°C, 70°C y 90°C Fig. 2: Isotherma de adsorción a 30°C de rodajas secadas a 50°C, 70°C y 90°C

En las figuras 2, 3, 4 y 5 se presentan las isothermas de adsorción a 5°C, 10°C, 20°C y 30°C para rodajas de berenjena secadas a 90°C.

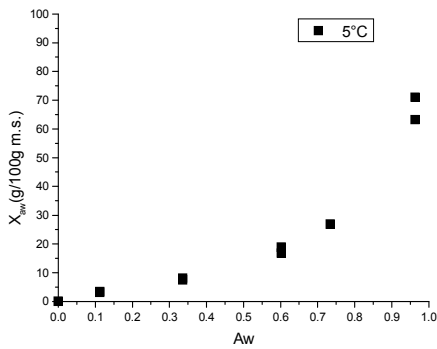


Figura 2: Isotherma de adsorción a 5°C

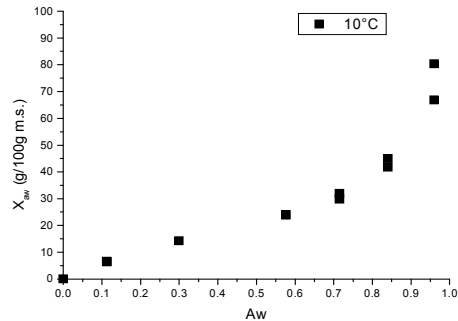


Figura 3: Isotherma de adsorción a 10°C

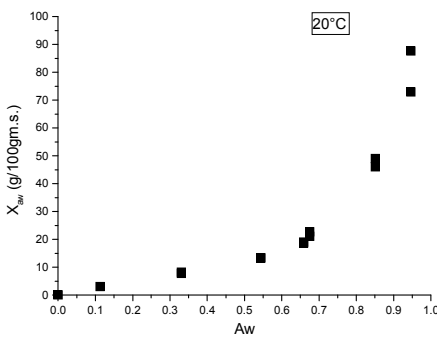


Figura 3: Isotherma de adsorción a 20°C

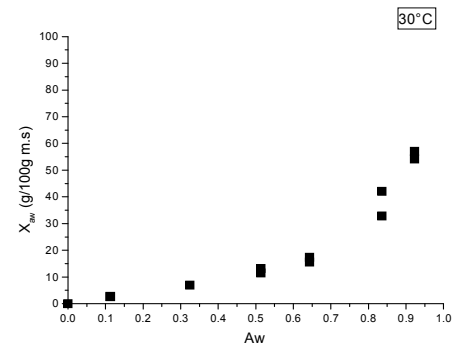


Figura 4: Isotherma de adsorción a 30°C

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2004

Modelado de las isotermas de adsorción

Los datos experimentales fueron correlacionados con modelos matemáticos de dos parámetros (BET y BET modificado) y de tres parámetros (GAB y Ferro Fontán), cuyas expresiones se detallan en la tabla 1.

Modelo	Ecuación
BET (Brunauer et al, 1938)	$X_{(aw)} = \frac{X_{mb} C_b aw}{[(1-aw)(1+(C_b-1)aw)]}$
BET modificado (Viswanathan, 2003)	$X_{(aw)} = \frac{X_{mb} C_b aw}{[(1-aw)^*(1-C_b \ln(1-aw))]}$
GAB (van den Berg, 1981)	$X_{(aw)} = \frac{X_{mg} C_g K aw}{[(1-K aw)(1+(C_g-1) K aw)]}$
Ferro-Fontán (Ferro Fontán et al, 1982)	$\ln(\gamma/aw) = \alpha^* (W)^{-r}$

Tabla 1: Modelos matemáticos

Donde: $X_{(aw)}$ = Humedad de equilibrio en base seca (g/100g de materia seca); aw = actividad de agua; X_{mb} = Humedad de la monocapa en base seca (BET, g/100g m.s.); C_b = Constante relacionada con el calor de sorción (BET); X_{mg} = Humedad de la monocapa en base seca (GAB, g/100g m.s.); C_g = Constante de Guggenheim; K = constante de corrección de las propiedades de la multicapa con respecto al líquido (GAB); W = Humedad de equilibrio en base seca (g/g. m.s.); γ = parámetro que tiene en cuenta la estructura del agua absorbida; α^* = constante; r = constante que vincula el calor isostérico de sorción con el contenido de humedad.

Los parámetros de los modelos de adsorción fueron estimados a partir de los datos experimentales mediante regresión no lineal (Origin 5.0 para Windows 2000).

La bondad de ajuste de las ecuaciones fue evaluada a través del error relativo promedio porcentual, calculado como:

$$\%P = \frac{100}{N} * \sum \frac{|X_{cal} - X_{exp}|}{X_{exp}}$$

Donde N es el número de datos experimentales; X_{exp} y X_{cal} son el contenido en humedad (X_{aw}) experimental y predicho, respectivamente. Boquet, Chirife e Iglesias (1978) consideraron aceptable un modelo si el valor de P era menor a 10%.

En la tabla 2 se presentan los valores de las constantes para el modelo de BET y BET modificado para las isotermas de adsorción a 5°C, 10°C, 20°C y 30°C de las rodajas de berenjena secadas a 90°C, junto con el valor de P para el rango de aplicabilidad de BET (hasta $aw < 0.5$)

Isoterma	Modelo	Constantes del modelo		%P
		Cb	Xb	
4.5C	BET	19.943	5.212	19.11
10°C		20.306	9.909	11.87
20°C		23.524	5.395	18.95
30°C		16.657	4.742	20.65
	BETmod.	Cb	Xb	%P
4.5C		12.408	6.923	24.27
10°C		8.690	16.207	15.04
20°C		15.335	7.027	28.99
30°C	10.607	6.340	27.23	

Tabla 2: Constantes de los modelos de BET y BET modificado.

En la tabla 3 se presentan los valores de las constantes para el modelo de GAB y Ferro Fontán para las isotermas a 5°C, 10°C, 20°C y 30°C de las rodajas de berenjena secadas a 90°C, junto con el valor de P para el rango de aplicabilidad de estos modelos (0.1-0.9 de aw)

Isoterma	Modelo	Constantes del modelo			%P
		α	γ	r	
4.5C	Ferro Fontán	0.2424	1.323	0.679	4.50
10°C		0.1127	1.129	1.187	8.35
20°C		0.2059	1.200	0.673	7.45
30°C		0.1932	1.235	0.704	7.18
	GAB	Cg	Xmg	K	%P
4.5C		10.070	6.987	0.954	11.51
10°C		16.926	11.59	0.883	9.75
20°C		13.264	6.498	0.998	13.40
30°C	9.765	5.958	0.992	12.83	

Tabla 3: Constantes de los modelos de Gab y Ferro Fontán

Del análisis de la tabla 3 y 4 surge claramente que aquellos modelos de tres parámetros (Gab y Ferro Fontán) presentan un mayor grado de ajuste a los datos experimentales ($P=11.87\%$ y $P=6.8\%$) que aquellos que poseen solamente dos (BET y BET modificado) ($P=17.64\%$; $P=23.88\%$). La ventaja que presentan los primeros es el hecho de que cubren todo el rango de actividad acuosa, a diferencia de los segundos que solamente son aplicables hasta un $a_w < 0.3-0.4$.

El modelo propuesto por Ferro Fontán (1982) es el que proporciona un mayor grado de ajuste a los datos experimentales, con un valor promedio de $P=6.8\%$, a diferencia de los otros modelos probados cuyo grado de ajuste supera el 10% recomendado por Boquet et al, 1978.

CONCLUSIONES

La temperatura de secado no influye en la isoterma de adsorción de las rodajas de berenjena deshidratadas, lo que nos indicaría que la estructura del material seco no se ve afectada por la temperatura de secado.

El modelo propuesto por Ferro Fontán (1982) describe las isotermas de adsorción de las berenjenas secadas en todo el rango de temperaturas estudiado.

Agradecimientos: *Universidad Nacional del Nordeste por el subsidio otorgado para la realización de la carrera de doctorado de la UNNE

BIBLIOGRAFÍA

1. AOAC, 1990
2. Belitz, H.D.; Grosh, W. (1982). Química de los alimentos. Ed. Acribia. Segunda edición. Pág3
3. Boquet R., Chirife J., Iglesias, H. (1978) Equations of fitting water sorption isotherms of foods. II. Evaluation of various two parameters models. J. F. Technology, 13 -329-327.
4. Bunauer, S.; Emmett, P.H.; Teller, E. (1938) Adsorption of gases in multimolecular layers. Journal of American Chemists Society, 60, 309-319.
5. Chirife, J. (1984) Aw of salt) Journal of Food Science 49, 1486.
6. Diosady, L.L.; Rizvi, S.S.H.; Cai, W.; Jadgeo, D.J. (1996) Moisture sorption isotherms of canola meals, and applications to packaging. Journal of Food Science vol61, N°1 pp204-208.
7. Ferro Fontán C., Chirife J., Sancho, E. e Iglesias, H.A. (1982) Analysis of a model for water sorption phenomena in foods. J.F.Science, 47, 1590-4.
8. Gal, S.(1987). The need for, and practical applications of sorption data. In R. Jowit, F. Escher, B. Hallstrom, H. Mefert, W. Spiess, and G. Vos (Eds) Physical properties of foods-2(pp.13-25) London: Elsevier Applied Science.
9. Giovanelli, G. ; Zanoni, B. ; Lavelli, V. ; Nani, R. (2002) Water sorption, drying and antioxidant properties of dried tomato products. Journal of Food Engineering. Vol. 52, 135-141
10. Hyun Ku Kim, Yoonseok Song and Kit L. Yam. (1991) Water sorption characteristic of dried red peppers (*Capsicum annum* L.) International Journal of Food Science and technology 29, pp339-345.
11. Iglesias, H.A. y Chirife, J. (1976a) BET monolayer values in dehydrated foods and food components. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie, 9, 107-113.
12. Iglesias, H.A. y Chirife, J. (1995) An alternative to de Guggenheim, Anderson and De Boer model for the mathematical description of moisture sorption isotherms of foods. Food Research international. Vol.28, N°3, pp317-321.
13. Kaymak-Ertekin, Figen; Sultanoğlu, Mustafa. (2001) Moisture sorption isotherm characteristic of peppers. Journal of Food Engineering 47, 225-231
14. Krokida, M. K.; Karathanos, V.T., Maroulis Z.B.; Marinos-Kouris, D.(2003) Drying kinetics of some vegetables. Journal of Food Engineering. Article in press.
15. Labuza, T.P. (1968) Sorption phenomena in foods. Food Technology 23, 15-19.
16. Maroulis, Z.B.; Kiranoudis, C.T.; Marinos Kouris, D. (1995) Heat and mass transfer modeling in air drying of foods. Journal of Food Engineering, vol26, 113-130
17. Maroulis, Z.B.; Tsami, E.; Marinos Kouris, D. (1988). Application of the GAB model to the moisture sorption isotherms for dried fruits. Journal of Food Engineering 7 , pp63-78.
18. Singh, R. P.; Heldman, D.R. (1998). Introducción a la Ingeniería de los alimentos. Ed. Acribia. S.A. Zaragoza. España. Pág. 456-458.
19. Timmermann, E.O; Chirife, J.; Iglesias, H.A.(2001) Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters? Journal of Food Engineering 48, 19-31
20. van den Berg, C. (1981) Vapor sorption equilibria and other water-starch interactions; a physico-chemical approach. Doctoral Thesis. Wageningen, The Netherlands: Agricultural University.
21. Viswanathan, R.; Jayas, D.S.; Hulasare, R.B. (2003). Sorption isotherms of tomato slices and onion shreds. Biosystems Engineering 86 (4), 465-472