



RIA.Revista de Investigaciones Agropecuarias
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
revista_ria@correo.inta.gov.ar
ISSN (Versión impresa): 0325-8718
ISSN (Versión en línea): 1669-2314
ARGENTINA

2007

A.A. Guglielmone / M.E Castelli / A.J. Mangold / D.H. Aguirre / E. Alcaraz / M.M.
Cafrune / B. Cetrá / C.A. Luciani / V.H. Suárez
ISOTERMAS DE ADSORCIÓN Y CINÉTICA DE SECADO DE CIERTAS
HORTALIZAS Y AROMÁTICAS CULTIVADAS EN MISIONES
RIA.Revista de Investigaciones Agropecuarias, abril, año/vol. 36, número 001
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
Buenos Aires, Argentina
pp. 115-129

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Universidad Autónoma del Estado de México

<http://redalyc.uaemex.mx>



ISOTERMAS DE ADSORCIÓN Y CINÉTICA DE SECADO DE CIERTAS HORTALIZAS Y AROMÁTICAS CULTIVADAS EN MISIONES

GARCÍA, S.V.¹; SCHMALKO, M.E.²; TANZARIELLO, A.¹

RESUMEN

El presente trabajo es parte de un proyecto cuyo objetivo es desarrollar o adaptar un sistema de secado para la obtención de hortalizas y plantas aromáticas deshidratadas. En esta etapa, se determinaron las isotermas de adsorción y la cinética de secado de las hortalizas: cebollita de verdeo (*Allium cepa L.*), puerro (*Allium porrum L.*) y pimienta verde (*Capsicum annuum L.*), y las plantas aromáticas: orégano (*Origanum mejorana L.*) y perejil (*Petroselinum sativus Hoffm.*). Las isotermas de adsorción se determinaron utilizando el método estático, exponiendo las muestras a atmósferas generadas con soluciones salinas saturadas a 30°C hasta alcanzar el equilibrio másico. Para determinar la cinética de secado, se utilizó una capa delgada de material que fue secada en un secadero de flujo transversal a 60°C. Los valores experimentales de las isotermas de adsorción se ajustaron al modelo de Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB) y los errores promedios porcentuales variaron entre el 5,05 y 11,17%. Los contenidos de humedad obtenidos para una actividad de agua de 0,6, límite para el crecimiento microbiano, fueron: para la cebollita de verdeo 19,87% (bs), para el puerro 19,32% (bs), para el pimienta verde 22,5% (bs), para el orégano 11,27% (bs) y para el perejil

¹ Agencia de Extensión Rural Oberá- INTA, Sarmiento1070 (3360), Oberá, Misiones. Correo electrónico: silvivi@yahoo.com.ar

² Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales – UNAM, Felix de Azara 1554 (3300).

12,78% (bs). Los datos de la cinética de secado se ajustaron a 10 modelos matemáticos y se calcularon dos tipos de errores, los denominados X^2 y raíz cuadrada del error cuadrático medio, seleccionándose los modelos que presentaban menores errores. El modelo denominado «una aproximación a la difusión» presentó mejor ajuste para la cebollita de verdeo, el puerro, y el pimiento verde; y el modelo de Midilli para el orégano y el perejil. Los tiempos de secado para los materiales estudiados variaron entre 82 y 250 minutos.

Palabras clave: *tiempo de secado, modelos de secado, contenido de humedad de equilibrio.*

ABSTRACT

ADSORPTIONS ISOTHERMS AND DRYING KINETICS OF SOME VEGETABLES AND AROMATIC PLANTS CULTURED IN MISIONES

This research is part of a project whose aim is to develop and/or adapt a drying system in order to obtain dried vegetables and aromatic plants. In this step, the adsorptions isotherms and drying kinetics of the vegetables: green onion (*Allium stumpp* L.), leek (*Allium porrum* L.) and green pepper (*Capsicum annum* L.); and the aromatic plants: oregano (*Origanum marjoram* L.) and parsley (*Petroselinum sativus Hoffm*) were determined. The adsorption isotherms were determined using the static methods, exposing the samples (previously dried and milled) to atmospheres generated with saturated salt solutions at 30°C until reaching equilibrium. To determine the drying kinetics a thin-layer materials was used and was dried in a cross-flow dryer at 60 °C. The experimental values of the adsorptions isotherms were fitted to the Guggenheim, Anderson and de Boer (GAB) model and the mean percentage errors varied between 5.05 and 11.17%. The moisture contents obtained for a water activity of 0.6, limit for the microbial growth were: for green onion, 19.87% (db); for leek, 19.32% (db); for green pepper, 22.50% (db); for oregano, 11.27% (db) and for parsley, 12.78% (db). Drying kinetics data were fitted to 10 mathematical models and two types of errors were calculated: the denominated X^2 and square root of the half quadratic. The models that presented lower errors were selected. The model denominated «an approach to the diffusion» presented better fit for the green onion, the leek, and green pepper; and the model of Midilli, for the oregano and parsley. The drying times for the studied materials varied between 82 and 250 minutes.

Key words: *drying times, drying models, equilibrium moisture contents.*

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es parte del Proyecto denominado «Deshidratación de Hortalizas y Plantas Aromáticas», actualmente en desarrollo en la Agencia de Extensión Rural Oberá-INTA. El propósito de este proyecto es desarrollar o adaptar un sistema de secado para la obtención de hortalizas y plantas aromáticas deshidratadas. Esto permitirá obtener mayores posibilidades de comercialización para los productores de la zona, además de los productos en fresco.

El secado es un método de conservación basado en la disminución de la actividad acuosa de los alimentos para prolongar el período de vida útil de estos. Además, reduce el peso y el volumen, lo cual facilita el transporte y el almacenamiento. Este método es muy utilizado en la conservación de productos agrícolas. El contenido de humedad final del producto debe tener un valor tal que éste sea estable durante un tiempo prolongado. La estabilidad microbiológica se obtiene a valores de actividad de agua (a_w) menores a 0,6.

La relación entre la actividad de agua (a_w) y el contenido de humedad en un alimento a una temperatura constante se denomina isoterma de sorción. Los datos experimentales son ajustados generalmente a diferentes modelos. Existe una gran variedad de ellos, utilizados para describir el comportamiento de las isotermas de sorción. El modelo de Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB)-(Van den Berg *et al.*, 1981), ha sido el más utilizado ya que: a) tiene bases teóricas, b) describe el comportamiento de la sorción en un rango amplio de a_w (0 – 0,9), c) sus parámetros tiene significado físico y d) se pueden describir los efectos de la temperatura. Al ser un modelo de amplia utilización, permite comparar los valores de sus constantes con los obtenidos en otros productos por otros investigadores. Una de las constantes que se obtiene con este modelo nos permite predecir el valor del contenido de humedad de la monocapa (X_m) relacionado a la máxima estabilidad química del producto. Además las isotermas de sorción se utilizan para determinar el punto final de secado y para el modelado y la simulación de estas operaciones (Myhara *et al.*, 1998; Palout *et al.*, 1997).

La cinética de secado muestra la variación de la humedad del material (intensidad de evaporación) con el tiempo. Las curvas de cinética de secado dan idea del tiempo necesario de secado, del consumo de

energía, del mecanismo de transferencia de agua, de las condiciones predominantes en la transferencia de calor y masa, y de la influencia que tienen en la velocidad de secado las variables de proceso tales como: la temperatura, humedad de entrada, velocidad del aire, etc. Esto permite realizar un diseño o una selección más eficiente de secaderos así como de las variables de proceso.

El objetivo de este trabajo fue determinar las isotermas de adsorción y la cinética de secado de las hortalizas: cebollita de verdeo (*Allium cepa L.*), puerro (*Allium porrum L.*) y pimiento verde (*Capsicum annuum L.*) y las plantas aromáticas: orégano (*Origanum mejorana L.*) y perejil (*Petroselinum sativus Hoffm.*). A partir de las isotermas de adsorción, se obtendrían los contenidos máximos de humedad a los cuales estos pueden ser almacenados; y de las curvas de cinética de secado, se obtendrían los tiempos necesarios para lograr estos contenidos de humedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales vegetales

Se utilizaron las siguientes hortalizas: cebollita de verdeo (*Allium cepa L.*), puerro (*Allium porrum L.*) y pimiento verde (*Capsicum annuum L.*), y las siguientes plantas aromáticas: orégano (*Origanum mejorana L.*) y perejil (*Petroselinum sativus Hoffm.*). Los vegetales fueron lavados, seleccionados y cortados en trozos de aproximadamente 1 cm; del orégano y el perejil, se utilizaron únicamente las hojas y los tallos finos. En los ensayos de isotermas de adsorción, se utilizaron aproximadamente 300 g de muestra húmeda; mientras que en los ensayos de cinética de secado se utilizaron entre 20 y 100 g de acuerdo con el material.

Los ensayos se llevaron a cabo en la Planta Piloto de La Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, en la ciudad de Posadas, entre los meses de mayo y julio del año 2005.

Isotermas de adsorción

Para la determinación de las isotermas de adsorción, las muestras fueron secadas en un secadero convectivo a 60°C y luego molidas en un molino de cuchillas de laboratorio con malla de salida de 1 mm de abertura. Posteriormente las muestras fueron expuestas por triplicado a atmósferas con diferentes a_w a una temperatura de 30 °C \pm 2°C. Para ello se

introdujeron en recipientes cerrados con diferentes soluciones salinas saturadas, las cuales generaban atmósferas de una actividad de agua (a_w) determinada, cuyos valores se pueden observar en la Tabla 1. Una vez que se alcanzó el equilibrio másico (aproximadamente 15 días) se determinaron los contenidos de humedad.

Tabla 1. Actividades de agua (a_w) de las soluciones salinas saturadas a 30 °C (Greenspan, 1977).

Sal	30 °C
LiCl	0,113
MgCl ₂	0,324
CoCl ₂	0,618
NaBr	0,560
NaNO ₃	0,731
NaCl	0,751
KCl	0,836

Cinética de secado

Para el estudio de la cinética de secado, se utilizó una capa delgada de material. Los datos se obtuvieron durante el transcurso del secado pesando las muestras en una balanza analítica marca SARTORIUS-WERKE GMBH tipo 2257 (precisión $\pm 0,01$ g) a intervalos de 10 minutos en las primeras etapas y de 15 minutos en las etapas posteriores hasta peso aproximadamente constante. El mínimo de pesadas dependió del material de ensayo, los que se expondrán en el punto resultados y discusión. Luego se determinó el contenido de humedad de las muestras secas. Con este valor, se determinaron los valores de contenido de humedad para los diferentes tiempos.

Contenido de humedad

Para determinar el contenido de humedad se utilizó el método de pérdida de masa en estufa a $103 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ hasta pesada constante (aproximadamente 5 horas). Se determinó el peso de las muestras antes y después de ser llevadas a estufa en una balanza analítica AND Código ER-180A (precisión $+ 0,0001$ g).

Análisis de datos

Para el estudio de las isoterms de adsorción, los datos obtenidos fueron ajustados al modelo de GAB (Van den Berg *et al.*, 1981) que tiene la siguiente expresión:

$$X = \frac{X_m C K a_w}{1 + K a_w} \quad (1)$$

- X = contenido de humedad (% base seca)
- X_m = contenido de humedad de la monocapa (% base seca)
- C = constante del modelo
- K = constante del modelo
- a_w = actividad de agua

El ajuste se realizó mediante el método de mínimos cuadrados utilizando la técnica de regresión no lineal (Stat Graphics, 1993). El error promedio porcentual (EPP) se utilizó para determinar el grado de ajuste (ecuación 2).

$$EPP = \frac{1}{N} \frac{X_{exp} - X_{pre}}{X_{exp}} * 100 \quad (2)$$

- EPP = error promedio porcentual
- N = número de datos experimentales
- X_{exp} = contenido de humedad experimental (% base seca)
- X_{pre} = contenido de humedad predicho por el modelo (% base seca)

Para analizar los datos de cinética de secado se calculó en primer lugar el coeficiente de humedad (MR_{exp}) utilizando la ecuación 3.

$$MR_{exp} = \frac{(X - X_e)}{X_0 - X_e} \quad (3)$$

- MR_{exp} = coeficiente de humedad experimental
- X = contenido de humedad (% base seca)
- X_e = contenido de humedad de equilibrio (% base seca)
- X₀ = contenido de humedad inicial (% base seca)

Los datos se ajustaron a 10 modelos matemáticos que consideran el control interno de la transferencia de masa. Dichos modelos se pueden observar en la Tabla 2.

El ajuste se realizó mediante el método de mínimos cuadrados utilizando la técnica de regresión no lineal (StatGraphics, 1993). Los errores denominados chi cuadrado (X²) y raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE) fueron utilizados para determinar el mejor ajuste (ecuaciones 4 y 5).

Tabla 2. Modelos matemáticos utilizados para el ajuste de los datos de cinética de secado.

Nombre del Modelo	Ecuación el Modelo	Referencias
Lewis	e^{-kt}	Lewis (1921)
Page	e^{-kt^n}	Page (1949)
Henderson y Pabis	$a * e^{-kt}$	Henderson y Pabis (1961)
Henderson y Pabis Modificado	$a * e^{-kt} + b * e^{-gt} + c * e^{-ht}$	Karathanos, (1999)
Logarítmico	$a * e^{-kt} + c$	Yaldiz y Ertekin (2001)
Dos términos	$a * e^{-k_1t} + b * e^{-k_2t}$	Sharaf- Eldeeny Hamdy(1980)
Wang y Singh	$1 - a * t - b * t^2$	Wang y Singh (1978)
Aproximación a la difusión	$a * e^{-kt} + (1 - a) * e^{-kbt}$	Sharaf-Eldeen, et al.(1979)
Chavez y Mendez	$1 - L_1 - L_2 * \frac{1}{L_2}$	Chavez-Mendez et al. (1995)
Midilli.	$a * e^{-kt^n} + b * t$	Midilli et al. (2002)

$$\chi^2 = \frac{(MR_{exp} - MR_{pre})^2}{N * n_p} \quad (4)$$

χ^2 = chi cuadrado

MR_{exp} = coeficiente de humedad experimental

MR_{pre} = coeficiente de humedad predicho por el modelo

N = número de datos experimentales

n_p = número de parámetros estimados

$$RMSE = \frac{1}{N} \sum (MR_{exp} - MR_{pre})^2 \quad (5)$$

RMSE = raíz cuadrada del error cuadrático medio

MR_{exp} = coeficiente de humedad experimental

MR_{pre} = coeficiente de humedad predicho por el modelo

N = número de datos experimentales

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Isotermas de adsorción

Las determinaciones experimentales del contenido de humedad para los diferentes materiales tuvieron errores relativamente bajos y en todos los casos el coeficiente de variación fue menor al 8%.

En la Tabla 3 se pueden observar los valores de las constantes del modelo ajustado de GAB (ec. 1) y los valores del EPP (ec. 2). Los contenidos de humedad correspondientes al valor de la monocapa (X_m) variaron desde 6,03% (bs) para el orégano a 10,60% (bs) para el pimiento verde. Los valores de a_w de la monocapa, obtenidos gráficamente, variaron entre 0,17 y 0,32; mientras que los valores de contenido de humedad para una $a_w = 0,6$ variaron entre 11,27 y 22,50% (bs). La constante C varió entre 6,21 para el puerro a 46,20 para el pimiento verde. Los valores

Tabla 3. Valores de las constantes X_m , C y K del modelo de GAB, el error promedio porcentual, contenido de humedad para un $a_w = 0,6$ y a_w de la monocapa.

Producto	Constantes de la ecuación de GAB				X para $a_w = 0,6$	a_w de la monocapa
	X_m	C	K	EPP		
Cebollita de verdeo	10,33	7,86	0,89	8,03	19,87	0,30
Puerro	10,03	6,21	0,91	11,17	19,32	0,32
Pimiento verde	10,57	46,72	0,90	5,05	22,50	0,17
Orégano	6,03	21,78	0,82	5,16	11,27	0,24
Perejil	6,45	9,83	0,89	10,30	12,78	0,26

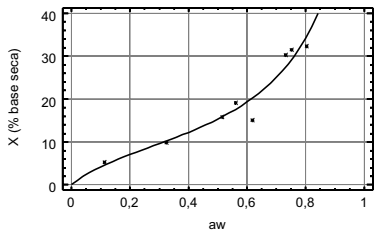
obtenidos del EPP dieron resultados bastante bajos y variaron entre 5,05% para el pimiento verde y el orégano a 11,17% para el puerro.

En los últimos años, los programas estadísticos facilitaron el ajuste de los datos experimentales a los modelos matemáticos. El modelo de GAB es uno de los que más aplicación tiene en el área de alimentos. Debido a esto se han reportado valores de las constantes para numerosos productos y rangos de temperatura (Schmalko, 2005). En la Tabla 4 se puede observar que el rango de los valores de las constantes es muy amplio y en ello tiene gran influencia el tipo de material del que se trate. Los valores de X_m para la cebollita de verdeo, puerro y pimiento verde son similares a los máximos encontrados en la tabla 4, mientras que el orégano y el perejil tienen valores normales. Los valores de C en otros productos (Tabla 4) tienen un amplio rango de variación, similares a los obtenidos en este trabajo. La constante K presenta valores menores a 1 en todos los casos, siendo éste valor el máximo teórico del modelo. Si bien en la Tabla 4 se pueden observar valores superiores a 1, esto puede deberse al ajuste estadístico realizado.

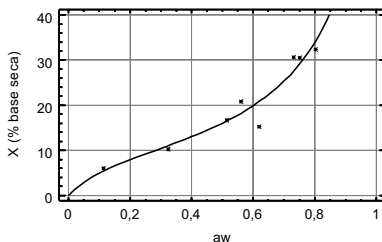
Tabla 4. Constantes de la ecuación de GAB (ec. 1) para diferentes productos y rangos de temperatura.

Producto	X_m (b.s.)	C	K	Rango de T°
Frutos secos	1,3-4,1	12-125	0,63-1,06	5-45
Galletitas y preparados de maíz	3,00-4,58	3,55-17,75	0,94-1,06	25-45
Cereales en granos (maíz, arroz y trigo)	4,42-10,27	9,01-27,96	0,61-0,98	10-80
Almidón de papa	8,74-10,22	11,40-28,41	0,72-0,79	27-67,2
Okara de soja	2,69-5,89	5,60-62,80	0,92-1,00	20-50
Maní	6,22-10,29	12,09-23,56	0,64-0,70	4,4-60
Macarrones japoneses	6,83-7,88	18,25-33,63	0,83-0,85	20-40
Celulosa microcristalina	3,70-5,30	5,80-8,61	0,72-0,81	25-90

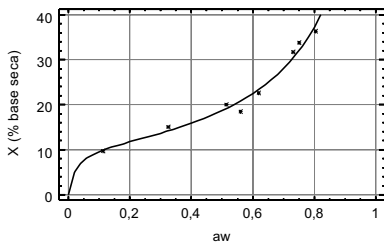
En la figura 1 se presentan las curvas de isotermas de adsorción a 30°C de los materiales estudiados. Las mismas presentan la forma sigmoide de



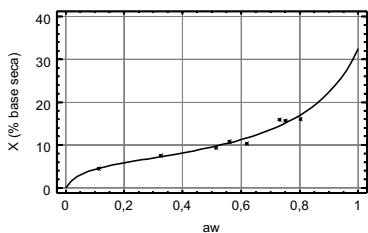
Cebollita de verdeo



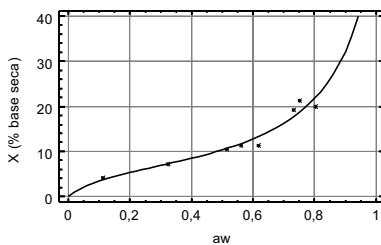
Puerro



Pimiento verde



Orégano



Perejil

Figura 1. Isotermas de adsorción de hortalizas y aromáticas. Valores experimentales (*) y predichos con el modelo de GAB (línea continua).

tipo III, según la clasificación de Brunauer, al igual que la mayoría de los alimentos (Martínez Navarrete y Chiralt, 1996; Palou *et al.*, 1997; Tolaba *et al.*, 1997).

Cinética de secado

Los valores experimentales de contenido de humedad para los diferentes tiempos se pueden observar en la figura 2. Las mismas muestran las variaciones del coeficiente de humedad con el tiempo a 60°C. Se puede decir que todos los materiales estudiados presentan un comporta-

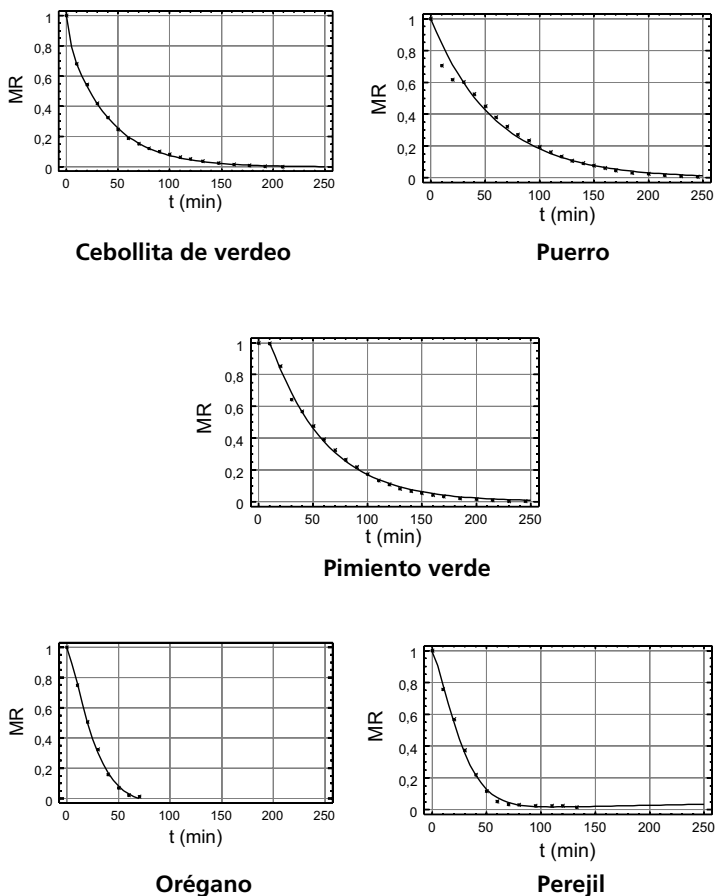


Figura 2. Curvas de secado de hortalizas y aromáticas. Valores experimentales (*) y predichos por el modelo de mejor ajuste (línea continua). Los modelos graficados son: una aproximación a la difusión para el puerro, la cebollita de verdeo y el pimiento verde, y el de Midilli para el orégano y el perejil.

miento similar con una alta velocidad de secado inicial (aproximadamente hasta los 30-40 minutos) seguido por una etapa más lenta, para llegar finalmente a una etapa donde las variaciones del contenido de humedad son muy escasas. Se puede observar que a los 150 minutos el contenido de humedad la cebollita de verdeo comienza a permanecer constante, el puerro y el pimiento verde a los 180 minutos, el orégano a los 80 minutos y el perejil a los 90 minutos.

Los tiempos de secado de los distintos materiales estudiados desde el contenido inicial de humedad hasta el correspondiente a una $a_w = 0,6$ se pueden observar en la Tabla 5. Estos variaron desde 82 minutos para el orégano a 250 minutos para el puerro. El tiempo de secado depende en

Tabla 5. Tiempos de secado en minutos de los materiales estudiados para una $a_w = 0,6$.

Producto	X_0	X_{final}	t (min)
Orégano	520,14	11,27	82
Perejil	633,75	12,78	90
Cebollita de verdeo	1290,75	19,87	197
Puerro	721,64	19,52	250
Pimiento verde	949,53	22,50	233

gran medida del espesor del material. En los modelos descritos en la Tabla 2, la mayoría de las constantes dependen de estas variables. Así, Lewis (1921) al describir su modelo encuentra una dependencia inversa de la constante «k» con el cuadrado del espesor. En el caso de la cebollita de verdeo, el puerro y el pimiento verde el tiempo de secado se vería reducido si se secaran los mismos en cortes con tamaños menores al original (1cm). En el orégano y el perejil, al secarse en forma entera no se puede reducir el tiempo de secado de esta forma. El puerro tiene un comportamiento especial, ya que los anillos del tallo se separan unos de otros después de cierto tiempo, permitiendo el pasaje de aire entre estos espacios.

Al realizar el ajuste de los datos experimentales a los diferentes modelos, se encontró que el modelo «una aproximación a la difusión» fue el que mejor describió las curvas de secado del puerro, la cebollita de verdeo y el pimiento verde. En cambio para el orégano y el perejil el mejor ajuste fue el obtenido con el modelo de Midilli. En las Tablas 6 y 7 se pueden observar el valor de las constantes y de los errores calculados de dichos

Tabla 6. Valor de las constantes a, k y b y de los errores σ , RMSE y coeficiente de regresión del modelo aproximación a la difusión.

Producto	Constantes del modelo Aproximación a la difusión					
	a	k	b	χ^2	RMSE	Coefficiente de regresión
Cebollita de verdeo	0,13	0,71	0,02	0,00067	0,0020	0,999
Puerro	0,24	0,27	0,073	0,00019	0,0054	0,990
Pimiento verde	-0,15	0,15	0,16	0,00016	0,0029	0,999
Orégano	-25,43	0,079	0,97	0,00054	0,0082	0,999
Perejil	16,34	0,024	0,97	0,00152	0,0110	0,994

Tabla 7. Valor de las constantes a, k, n y b y de los errores σ , RMSE del modelo de Midilli.

Producto	Constantes del modelo de Midilli						
	c	k	n	b	χ^2	RMSE	Coefficiente de regresión
Cebollita de verdeo	0,970	0,034	0,81	-0,00028	0,00084	0,0062	0,999
Puerro	1,041	0,005	1,27	0,00002	0,00048	0,0046	0,990
Pimiento verde	0,996	0,051	0,84	0,00005	0,00761	0,0201	0,996
Orégano	0,996	0,012	1,34	-0,00045	0,00032	0,0063	0,999
Perejil	0,996	0,012	1,34	-0,00049	0,00032	0,0063	0,998

modelos para los distintos materiales estudiados. Se obtuvieron valores bajos en el cálculo de los errores, lo que significa que se obtuvo un buen ajuste.

Al realizar una revisión bibliográfica se encontró que en otros productos se obtienen los mejores ajustes con varios modelos. Así para el pimiento rojo el modelo de mejor ajuste fue el de aproximación a la difusión (Akpınar *et al.*, 2003), para higos el modelo exponencial de dos términos fue el de mejor ajuste (Babalıs *et al.*, 2005) y para damascos el modelo de mejor ajuste fue dado por el modelo logarítmico (Togrul *et al.*, 2003, 2004).

CONCLUSIONES

Al determinar experimentalmente las isoterms de adsorción para diferentes hortalizas y plantas aromáticas se obtuvieron los valores máximos de contenido de humedad que deberían tener estos materiales para ser almacenados. Los mismos resultaron en: cebollita de verdeo, 19,87% (bs); puerro, 19,32% (bs); pimiento verde, 22,5% (bs); orégano, 11,27% (bs) y perejil, 12,78% (bs).

Al ajustar los datos experimentales al modelo de GAB se compararon los valores de las constantes del modelo con la de otros productos encontrándose que los mismos no diferían apreciablemente. En particular con la constante X_m , se pudieron conocer los valores de contenido de humedad para el cual el producto almacenado tiene máxima estabilidad.

Con las curvas de cinética de secado se pudieron determinar los tiempos de secado necesario para alcanzar estos contenidos de humedad. Por tener estructura y formas diferentes, estos tiempos variaron ampliamente encontrándose valores desde 82 minutos para el orégano a 250 minutos para el puerro.

BIBLIOGRAFÍA

- AKPINAR, E. K.; BICER, Y.; ILDIZ, C. 2003. Thin layer drying of red pepper. *Journal of Food Engineering* 59, 99-104.
- BABALIS, S. J.; PAPANICOLAOU, E.; KYRIAKIS, N.; BELESSIOTIS, V. G. 2005. Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*). *Journal of Food Engineering*. Article in press.

RIA, 36 (1): 115-129. Abril 2007. INTA, Argentina.

- CHAVEZ-MENDEZ, C.; SALGADO-CERVANTES, M.A; GARCIA-GALINDO, H.S.; DE LA CRUZ-MEDINA, J.; GARCIA-ALVARADO, M.A. 1995. Modelling of drying curves for some foodstuffs using kinetic equation of high order. *Drying Technology* 13, 2113–2122.
- GREESPAN, L. 1997. *Journal of research of the national bureau of standards. A. Physics and chemistry* 81, 89-96.
- HENDERSON, S. M.; PABIS, S. 1961. Grain drying theory. 1. Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research* 6, 169-174.
- KARATHANOS V. T. 1999. Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. *Journal of Food Engineering* 39, 337-344.
- LEWIS W. K. 1921. The rate of drying of solid materials. *Industrial Engineering Chemistry* 13, 427-432.
- MARTINEZ-NAVARRETE, V.; CHIRALT, A. 1996. Influence of roasting on water sorption isotherms of Nuts. *Food Science and Technology International* 2, 399-404.
- MIDILLI, H.; KUCUK, J; YAPAR, Z. 2002. A new model for single-layer drying. *Drying Technology* 20, 1503-1513.

Recibido en marzo de 2006 y aprobado en marzo de 2007.