

ISOTERMAS DE ADSORCIÓN DE AGUA EN CHAMPIÑONES

Ana Carolina Prado¹, Francisco S. Pantuso^{1,5}, Marcela P. Tolaba³,
y Roberto J. Aguerre^{1,2,4,5}

¹ Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Universidad de Morón

² Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Morón

³ Departamento de Industrias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA.

⁴ Departamento de Ciencias Básicas y Experimentales, U.N.N.O.B.A., Junín

⁵ Departamento de Tecnología, Universidad Nacional de Luján (CONICET)
exactas@unimoron.edu.ar; pantuso@unimoron.edu.ar; rjaguerre@gmail.com

RESUMEN

Se han estudiado las isotermas de adsorción de agua en champiñones en el rango de 30 a 70°C. Se ha utilizado para ello el método estático usando soluciones salinas saturadas para proveer actividades de agua definidas. Se han utilizado nueve ecuaciones diferentes para el ajuste de los datos experimentales, utilizándose el coeficiente de regresión como criterio de bondad del ajuste. Las ecuaciones biparamétricas de Bradley, Chung y Pfost y Henderson son las que permiten los mejores ajustes. Se ha determinado el calor isostérico neto de adsorción utilizando la ecuación de Clausius-Clapeyron. Se observa un incremento significativo de este calor al disminuir la humedad del champiñón.

Palabras clave: adsorción, champiñón, isotermas, calor isostérico.

SUMMARY

Adsorption isotherms on champignons.

Adsorption isotherms on champignons have been studied on the 30-70°C range. The static method was applied using saturated salt solutions to provide defined water activities. Nine different equations were used to fit experimental data, using the regression coefficient as a measure of the fitness error. The biparametric equations of Bradley, Chung and Pfost and Henderson provide the best fitness. The net isosteric heat of adsorption was determined by means of the Clausius-Clapeyron equation. A marked rise of this heat is observed when the moisture content of the champignon is reduced.

Key words: adsorption, champignon, isotherms, isosteric heat.

INTRODUCCIÓN

Con la denominación de champiñones, setas o macrohongos se designa a la estructura reproductiva o cuerpos fructíferos de un hongo, que pueden ser epigeos o hipogeos y lo bastante grandes para ser vistos con el ojo desnudo y ser escogidos a mano (Moore 1995).

Se han descrito aproximadamente 14.000 especies de hongos que cumplen con esta definición. En la naturaleza, el papel del hongo es producir esporas reproductoras, y su función es dar protección a los tejidos en que se forman las esporas y permitir su diseminación.

Históricamente los hongos han sido considerados como una clase especial de alimento. Los griegos pensaban que proveían fuerza a los guerreros durante la batalla. Los faraones los apreciaban como un alimento exquisito y los romanos los consideraban el alimento de los dioses y solo los consumían en ocasiones festivas. Los chinos los atesoraban como fuente de salud, el elixir de la vida. Las culturas indígenas en México los usaban como alucinógenos en ceremonias religiosas. El Hombre ha venido probando los hongos, y por prueba y error se ha familiarizado con los distintos tipos, aprendiendo cuáles coleccionar y cuáles evitar.

Se estima que el cultivo de hongos se inició en el siglo V, hace unos 1400 años (Chang y Miles 1987). El interés por los hongos se debe a que es una fuente de alimento de sabor agradable, con buenos atributos nutricionales (Kausar 1988). Los hongos frescos son propensos a dañarse; esto es particularmente cierto para

los hongos cortados en rebanadas. Esta forma de corte incrementa la superficie del material amplificando este problema. Los mecanismos relacionados con esta degradación incluyen la deshidratación, pardeamiento enzimático y crecimiento bacteriano.

Los hongos frescos tienen una vida más corta en anaquel que la mayoría de los vegetales listos para usar debido a que su velocidad de respiración es alta y no tiene barrera protectora ante la pérdida de agua o ataque microbiano. El agua, y más específicamente la disponibilidad de agua, es uno de los factores más importantes que controlan la alteración de los alimentos.

Las isoterms de sorción de humedad representan la relación de equilibrio entre la actividad de agua y contenido de humedad de alimentos a la presión y temperatura constantes (Kaymak-Ertekin y Sultanoglu 2001). Un correcto conocimiento de la relación entre contenido de humedad y humedad relativa de equilibrio es esencial en la formulación de alimentos y en su estabilidad durante el almacenamiento (Rizvi 1995; Tsami *et al.* 1999). La conservación extendida de alimentos puede lograrse reduciendo el contenido de humedad a niveles por debajo de aquellos requeridos por los microorganismos. El contenido de humedad de equilibrio depende por un lado de la temperatura y humedad relativa del medio y por otro lado de la especie, variedad y grado de madurez del producto.

Se han realizado numerosos estudios sobre las características sorcionales de distintos alimentos durante los últimos 70 años. Sin embargo, prácticamente no existe información

en la bibliografía respecto del champiñón. Es necesario contar además con un modelo matemático que describa el comportamiento sorcional incluyendo la influencia de la temperatura a los fines de modelizar correctamente un proceso de secado convectivo durante el cual se produce la transferencia simultánea de calor y masa que se manifiestan como cambios de temperatura y humedad del sólido.

Se han propuesto distintos modelos matemáticos para describir las isotermas de sorción de agua en alimentos (Aguerre *et al.* 1989 a; Anderson 1946; Brunauer *et al.* 1938; Chen y Clayton 1971; Chirife e Iglesias 1978; Chung y Pfost 1967a, 1967b; Delgado y Sun 2002; Halsey 1948; Harkins y Jura 1944; Haynes 1961; Henderson 1952; Iglesias y Chirife 1982; Jayas y Mazza 1993; Lopes Filho *et al.* 2002; Oswin 1946; Sandoval y Barreiro 2002; Smith 1947).

Su conocimiento es esencial para el modelado, diseño y optimización de las operaciones de secado, evaluar su vida útil y seguridad microbiológica, determinar los cambios de humedad durante el almacenaje y elegir el envase más adecuado.

El conocimiento del calor de sorción permite estimar los requerimientos energéticos del secado y brinda información sobre el estado del agua en el alimento. Las isotermas de sorción permiten la evaluación del calor de sorción mediante el uso de la ecuación de Clausius–Clapeyron (Rizvi 1995). Se observa que el calor de sorción disminuye al aumentar el contenido de humedad (Tsami *et al.* 1990 a, 1990 b).

El objetivo del presente trabajo es estudiar las características sorcionales del champiñón a diferentes temperaturas, modelizar los mismos y evaluar el calor isostérico de sorción como una medida de la energía necesaria para evaporar el agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los champiñones se adquirieron en un comercio local, fueron limpiados y cortados en láminas de 2 mm de espesor y posteriormente secados en un secadero convectivo a 60°C. El material deshidratado se molió y almacenó a 4°C hasta su utilización.

Las muestras, de aproximadamente 2 g cada una, fueron luego colocadas en cápsulas de aluminio de 5 cm de diámetro y fueron expuestas por triplicado a atmósferas con diferentes actividades de agua (a_w), a distintas temperaturas, para lo cual se introdujeron en recipientes cerrados (desecadores).

Se usaron soluciones salinas saturadas para obtener ambientes con actividades de agua comprendidos entre 0.08 y 0.96 (Labuza *et al.* 1985; McLaughlin y Magee 1998).

Las muestras se pesaron periódicamente, considerándose alcanzado el equilibrio cuando se verificaba constancia de peso. Una vez que se alcanzó el equilibrio másico se determinaron los contenidos de humedad mediante el método de la AOAC (1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se presentan los datos experimentales de las isothermas de adsorción de champiñón (*Agaricus bisporus*) a diferentes temperaturas. La forma de las curvas es sigmoidea, forma habitual de las isothermas de productos alimenticios que contienen azúcares, polisacáridos y proteínas. Se observa además que la humedad decrece al incrementarse la temperatura a a_w constante (Kiranoudis *et al.* 1993; Moraga *et al.* 2006; Vásquez *et al.* 1999). Este comportamiento es el esperado para sólidos no porosos o para sólidos que sufren un hinchamiento igual a la cantidad de agua incorporada durante la adsorción, que es el caso típico de los alimentos cuando la temperatura es superior a la de transición vítrea (Aguerre *et al.* 1989b).

Las isothermas presentan 3 regiones:

- Bajas actividades de agua, en la que predomina el proceso de formación de la monocapa
- Actividades de agua intermedias, donde predomina la adsorción de agua para la formación de la multicapa
- Altas actividades de agua, donde predomina la condensación de agua con propiedades análogas a las del agua pura.

Se han seleccionado distintos modelos de ecuaciones de isothermas de sorción para el análisis de los datos experimentales, todos ellos considerados adecuados para la representación de isothermas tipo II de la clasificación de BDDT (Brunauer *et al.* 1940).

Un grupo de ellas tiene dos parámetros de ajuste y el resto, basadas en el modelo de BET (Brunauer *et al.* 1938) posee tres parámetros de ajuste. Las ecuaciones se presentan en la Tabla 1.

En las Tablas 2 y 3 se presentan los valores de los parámetros de ajuste y del coeficiente de determinación (R^2) correspondientes a las distintas ecuaciones usadas.

Las ecuaciones (1), (2), (3) y (6) modelan inadecuadamente la zona inferior de las isothermas pues definen curvas que no pasan por el origen de coordenadas. La figura 1 muestra el ajuste de los datos experimentales obtenido al utilizar la ecuación de Henderson para modelizar las isothermas de sorción a 30, 40, 50, 60 y 70°C.

Ecuación	N°	Referencia
$\ln(a_w) = A \cdot B^m$	(1)	Bradley, 1936
$\ln(a_w) = -A \exp(-B \cdot m)$	(2)	Chung y Pfof, 1967
$a_w = \exp\left[A\left(\frac{1}{m}\right)^B\right]$	(3)	Halsey, 1948
$a_w = 1 - \exp(-A \cdot m^B)$	(4)	Henderson, 1952
$m = A\left(\frac{a_w}{1-a_w}\right)^B$	(5)	Oswin, 1946
$m = A + B \cdot \ln(1 - a_w)$	(6)	Smith, 1947
$m = \frac{C \cdot m_m a_w}{(1-a_w)(1-C \ln(1-a_w))}$	(7)	Aguerre, Suarez y Viollaz, 1989
$m = \frac{Cm_m Ba_w}{(1-Ba_w)(1-Ba_w + C Ba_w)}$	(8)	Anderson, 1946
$m = \frac{C \cdot m_m a_w}{1-a_w + Ca_w} \cdot \left(\frac{1-a_w^B}{1-a_w}\right)$	(9)	Rounsley, 1961

Tabla 1. Ecuaciones utilizadas para modelar las isothermas sigmoideas.

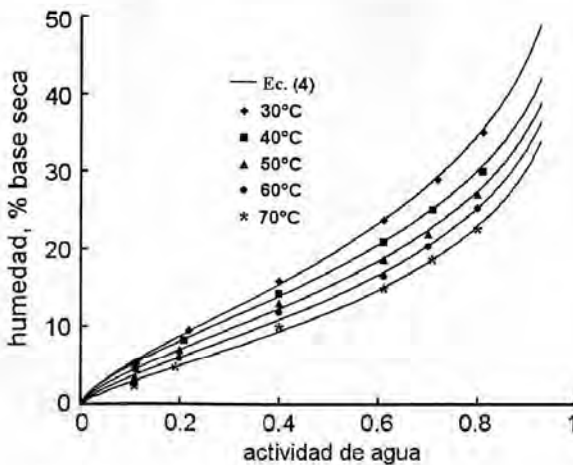


Fig. 1. Valores experimentales del equilibrio sorcional de agua en champiñones y su modelado mediante la ecuación (4) (Henderson).

Ecuación	T (°C)	A	B	R ²
1	30	-3.186261	0.925185	0.9995
	40	-3.343326	0.913713	0.9991
	50	-3.204318	0.906700	0.9990
	60	-3.021677	0.900472	0.9987
	70	-2.851947	0.892242	0.9987
2	30	-3.186261	-0.077762	0.9995
	40	-3.343326	-0.090238	0.9991
	50	-3.204318	-0.097944	0.9990
	60	-3.021677	-0.104836	0.9987
	70	-2.851947	-0.114017	0.9984
3	30	-26.459787	1.272874	0.9683
	40	-24.501378	1.296285	0.9552
	50	-19.189140	1.256936	0.9530
	60	-13.809094	1.186154	0.9479
	70	-8.763834	1.074244	0.9478
4	30	-0.009967	1.433362	0.9991
	40	-0.009641	1.502002	0.9967
	50	-0.013494	1.441526	0.9951
	60	-0.019321	1.367099	0.9938
	70	-0.028677	1.283255	0.9931
5	30	18.314889	0.482113	0.9922
	40	16.327867	0.448135	0.9803
	50	14.561218	0.474913	0.9816
	60	13.005636	0.485634	0.9787
	70	11.311893	0.521013	0.9816

6	30	4.525838	-19.413333	0.9900
	40	4.584832	-16.234113	0.9752
	50	3.521584	-15.402864	0.9783
	60	2.836244	-14.223194	0.9780
	70	1.944340	-13.263085	0.9834
7	30	5.324363	16.220162	0.9892
	40	7.376319	13.436298	0.9635
	50	6.035691	12.622136	0.9773
	60	5.558406	11.479341	0.9744
	70	4.100821	10.840617	0.9829

Tabla 2. Ajuste obtenido para los datos experimentales de sorción de agua en champiñones mediante ecuaciones biparamétricas.

En las figuras 2.a y 2.b pueden observarse las curvas generadas por las ecuaciones (2) y (3). El mejor ajuste a los datos experimentales corresponde a la ecuación (2), aunque la extrapolación de las curvas hacia el origen muestra el defecto ya señalado.

un mejor ajuste es la ecuación (4) que se presenta en la figura 1. Las ecuaciones (5) y (7) muestran un buen ajuste para actividades de agua superiores a 0.4, pero por debajo de ese valor se observan desviaciones como puede observarse en la figura 3.

De las ecuaciones biparamétricas que pasan por el origen de coordenadas, la que muestra

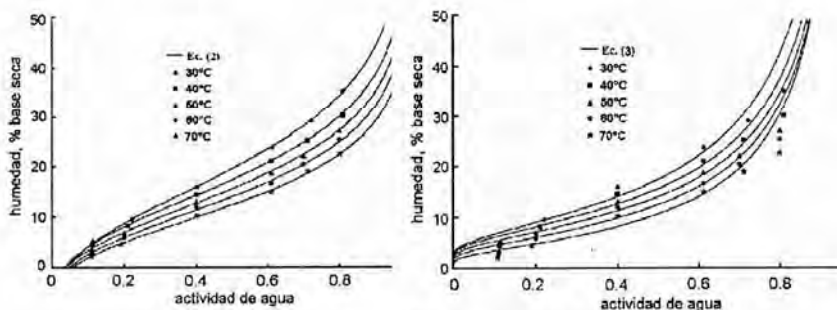


Fig. 2. Ajuste mediante las ecuaciones (1) y (3).

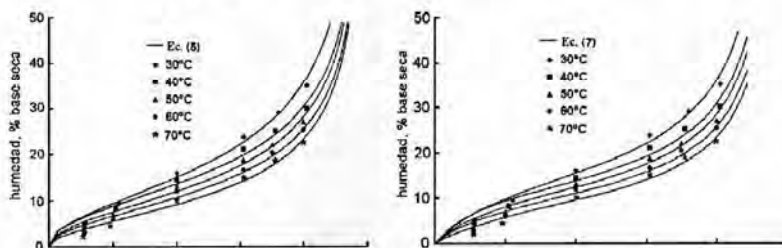


Fig. 3. Ajuste mediante las ecuaciones (5) y (7).

ecuación	T	C	m_m	α	R^2
8	30	5.356197	15.825261	0.745261	0.99920
	40	4.449486	18.295483	0.617727	0.99940
	50	4.938456	14.173352	0.687608	0.99848
	60	4.124603	13.542520	0.680915	0.99774
	70	3.430481	12.577495	0.683414	0.99674
9	30	5.615629	11.949792	4.145524	0.99815
	40	4.209681	12.284620	3.151844	0.99879
	50	4.145300	10.682140	3.399836	0.99661
	60	3.496014	9.910437	3.402898	0.99630
	70	2.904940	9.134010	3.350989	0.99593

Tabla 3. Ajuste obtenido para los datos experimentales de sorción de agua en champiñones mediante ecuaciones triparamétricas.

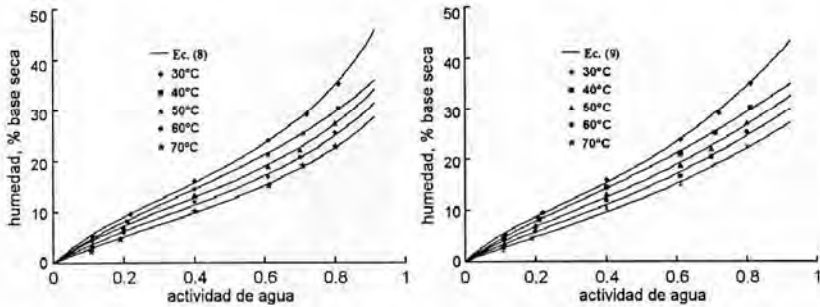


Fig. 3. Ajuste mediante las ecuaciones (8) y (9).

Las ecuaciones triparamétricas (8) y (9) presentan un mejor ajuste que las biparamétricas pero predicen una capacidad sorcional limitada para una actividad de agua unitaria.

Para definir la influencia de la energía de interacción entre el vapor de agua y el material adsorbente (champiñón), se evalúa el calor isostérico neto de adsorción (Q_s), que se define como el calor total de adsorción de agua del alimento menos el calor de vaporización de agua pura, y puede ser determinado por medio de la ecuación de Clausius-Clapeyron:

$$Q_s = R_g \left[\frac{\partial \ln a_w}{\partial (1/T)} \right]_m \quad (10)$$

A partir de la ecuación (4) se propone la siguiente ecuación empírica para modelar los datos de equilibrio (Aguerre *et al.* 1986, 1989c):

$$\ln a_w = \left(\frac{1}{T_\beta} - \frac{1}{T} \right) \ln \left[1 - (A \cdot m^B) \right] \quad (11)$$

El ajuste de los datos experimentales a distintas temperaturas permite evaluar los parámetros de la ecuación (11). Sus valores son: $T_m = 323.1$ K; $T_\beta = 430.05$ K; $A = -2.1221 \times 10^{-2}$; $B = 1.2609$.

El proceso de adsorción de agua en champiñones está controlado entálpicamente pues la temperatura isocinética (430.05 K) es superior a la temperatura media armónica de los ensayos realizados (322.53 K).

Combinando las ecuaciones (10) y (11), resulta

$$Q_s = \frac{R_g}{\left(\frac{1}{T_\beta} - \frac{1}{T_m}\right)} \ln[1 - (A \cdot m^b)] \quad (12)$$

En la figura 6 se presenta la curva de calor isostérico junto con los valores experimentales. Esta figura muestra que el secado se ve dificultado a medida que se reduce la humedad pues se incrementa la energía requerida para la eliminación adicional de agua. Los altos valores del calor isostérico neto de adsorción a bajas humedades indican una fuerte interacción

humedad-alimento en el producto deshidratado. La energía requerida para eliminar el agua adsorbida en la monocapa prácticamente duplica la necesaria para evaporar el agua pura. Dado que para evaporar agua se deben romper dos puentes de hidrógeno por molécula de agua, puede postularse que el agua adsorbida en la monocapa requiere la ruptura de cuatro puentes de Hidrógeno por molécula para evaporarse.

Cuando la humedad del sólido aumenta, se reduce el valor del calor isostérico neto de adsorción. La evaporación de humedad en este caso se asemeja a la del agua pura y el cambio de entalpía es en este caso igual a del agua libre.

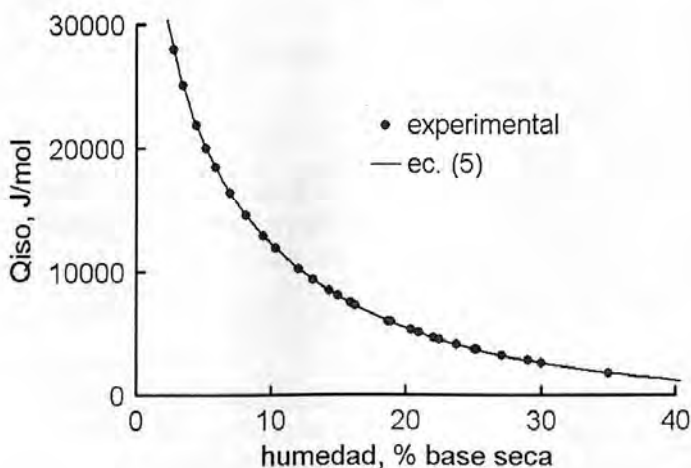


Fig. 6. Modelizado del calor isostérico mediante la ecuación (5).

CONCLUSIONES

Los contenidos de humedad de los champiñones se reducen al incrementarse la temperatura a actividad de agua constante. Por otro lado, a humedad constante, al incrementarse la temperatura aumenta la actividad de agua. Las curvas de equilibrio obtenidas siguen la forma sigmoidea de una isoterma tipo II.

De las ecuaciones biparamétricas usadas, la ecuación (4) es la que mejor describe las isotermas de adsorción de agua en champiñón en el rango de 30 a 70°C para todo el rango de actividades estudiado ($0.1 \leq a_w \leq 0.82$).

Las ecuaciones triparamétricas usadas ajustan adecuadamente los datos experimentales.

El calor isostérico neto de adsorción aumenta al disminuir la humedad del material.

GLOSARIO

a_w	Actividad de agua
A	Constante
B	Constante
C	Constante
m	Humedad, % base seca
m_m	Humedad de monocapa
Q_s	Calor isostérico neto de adsorción
R^2	Coefficiente de regresión
R_g	Constante universal de los gases [J/mol K]
T	Temperatura absoluta [K]
T_β	Temperatura isocinética
T_m	Temperatura media aritmética

BIBLIOGRAFÍA

- Aguerre, R.J., Suárez, C. y Viollaz, P.E. (1989a). New BET type multilayer sorption isotherms. Part I: Theoretical derivation of the model. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 22 (4): 188-191.
- Aguerre, R.J., Suárez, C. y Viollaz, P.E. (1989b). Swelling and pore structure in starchy materials. *Jour Food Engineering* 9: 71-80.
- Aguerre, R.J., Suárez, C. y Viollaz, P.E. (1989c). Modelling temperature dependence of food sorption isotherms. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 22: 1-5.
- Aguerre, R.J., Suárez, C. y Viollaz, P.E. 1986. Enthalpy-entropy compensation in sorption phenomena: application to the prediction of the effect of temperature on food isotherms. *Jour Food Science* 51(6): 1547-1549.
- Anderson, R.H. (1946). Modification of the BET equation. *J Am Chem Soc* 68: 689-691.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists. (1996). Official methods of analysis. Arlington.
- Bradley, R.S. (1936). Polymolecular adsorbed films. *Jour Chem Soc* 139: 1467-1474.

- Brunauer, S., Deming, L.S., Deming, W.E. y Teller, E. (1940). On a theory of the Van der Waals adsorption of gases. *Jour Amer Chem Soc* 62: 1723–1732.
- Brunauer, S., Emmet, P.H. y Teller, E. (1938). Adsorption of gases in multimolecular layers. *Jour Amer Chem Soc* 60: 309–319. Chang, S. T., Miles, P. G., (1987), Historical record of the early cultivation of Lentinus in China, *Mushroom J. Trop.*, 7, 31–37.
- Chen C.S. y Clayton, J.T. (1971). The effect of temperature on sorption isotherm of biological materials. *Transactions of ASAE* 14: 927-929.
- Chirife, J. y Iglesias, H.A. (1978). Equations for fitting water sorption isotherms of food. Part I: A review. *Jour Food Technology* 13: 159–174.
- Chung, D.S. y Pfost, H.B. (1967a). Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products. Part I. Heat and free energy changes of adsorption and desorption. *Transactions of ASAE* 10: 549–551.
- Chung, D.S. y Pfost, H.B. (1967b). Adsorption and desorption of water vapour by cereal grains and their products. Part II. Development of general isotherms equations. *Transactions of ASAE* 10: 552–555.
- Delgado, A.E. y Sun, D.W. (2002) Desorption isotherms for cooked and cured beef and pork. *Jour Food Engineering* 51: 163–170.
- Halsey, G. (1948). Physical adsorption on non-uniform surfaces. *Jour Chem Physics* 16: 931–937.
- Harkins, W. y Jura, G. (1944) Surfaces of solids. XIII. A vapour adsorption method for the determination of the area of a solid without the assumption of a molecular area, and the areas occupied by nitrogen and other molecules on the surface on the surface of a solid. *Jour Amer Chem Soc.* 66: 1366-1373.
- Haynes, B. C. (1961). Vapor pressure determination of seed hygroscopicity. *US. Dept. Agr. Tech. Bull.* 1229: 1-20.
- Henderson, S.M. (1952). A basic concept of equilibrium moisture. *Agricultural Engineering* 33: 29–31.
- Iglesias, H.A. y Chirife, J. (1982). Handbook of food isotherms: Water sorption parameters for food and food components. *Academic Press*, Toronto.
- Jayas, D.S. y Mazza, G. (1993). Comparison of five threeparameter equations for the description of adsorption data of oats. *Transactions of ASAE* 36: 119–125.
- Kausar, T. (1988). *Cultivation of mushrooms using crop residues as substrate*. Tesis Doctoral, Dept of Botany, University of Punjab, Lahore, Pakistan.
- Kaymak-Ertekin, F. y Sultanoglu, M. (2001). Moisture sorption isotherm characteristics of peppers. *Journal of Food Engineering*, 47, 225–231.
- Kiranoudis, C.T., Maroulis, Z.B., Tsami, E. y Marinos-Kouris D. (1993). Equilibrium moisture content and heat of desorption of some vegetables. *Jour Food Engineering* 20: 55–74.
- Labuza, T.P., Kaanane, A. y Chen, J.Y. (1985). Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrates foods. *Jour Food Sci.*, 50: 385–391.
- Lopes Filho, J.F., Romanelli, P.F., Barboza, S.H.R., Gabas, A.L. y Telis-Romero, J. (2002). Sorption isotherms of alligator´s meat (Caiman crocodiles yacare). *Jour Food Engineering* 52: 201–206.

- McLaughlin, C.P. y Magee, T.R.A. (1998). The determination of sorption isotherm and the isosteric heats of sorption for potatoes. *Jour Food Engineering* 35: 267–280.
- Moore, D. (1995). *Tissue formation*. En: Gow, N. A. R., Gadd, G. M. (eds). *The Growing Fungi*. Chapman and Hall., 423–465.
- Moraga, G., Martínez-Navarrete, N. y Chiralt, A. (2006). Water sorption isotherms and phase transitions in kiwifruit. *Jour Food Engineering* 72: 147–156.
- Oswin, C.R. (1946). The kinetics of package life. III. Isotherm. *Jour Soc Chem Industry* 65: 419–421.
- Rizvi, S.S.H. (1995). *Thermodynamic properties of foods in dehydration*. En Rao, M. A., Rizvi S. S. H. (Eds.), *Engineering properties of foods*. Marcel Dekker, New York:
- Rounsley, R.R. (1961) Multimolecular adsorption equation. *A.I.Ch.E. Journal* 7: 308-311.
- Sandoval, A.J. y Barreiro, J.A. (2002). Water sorption isotherms of non-fermented cocoa beans (*Theobroma cacao*). *Jour Food Engineering* 51: 119–123.
- Smith, S.E. (1947). The sorption of water vapour by high polymers. *Jour Amer Chem Soc.* 69: 646.
- Tsami, E., Krokida, M. K. y Drouzas, A. E. (1999). Effect of drying method on the sorption characteristics of model fruit powders. *Journal of Food Engineering*, 38, 381–392.
- Tsami, E., Marinos-Kouris, D., Maroulis, Z. B. (1990a). Water sorption isotherms of raisins currants figs prunes and apricots. *Journal of Food Science*, 55(6), 1594–1625.
- Tsami, E., Maroulis, Z.B., Marinos-Kouris, D. y Saravacos, G.D. (1990b). Heat sorption of water in dried fruits. *Int Jour Food Science Technology* 25(3): 350–359.
- Vázquez, G., Chenlo, F., Moreira, R. y Carballo, L. (1999). Desorption isotherms of muscatel and aledo grapes, and the influence of pretreatments on muscatel isotherms. *Jour Food Engineering* 39: 409–414.

Recibido 26/03/2013; Aceptado para su publicación: 29/04/2013