

ISOTERMAS DE SORCIÓN PARA AVENA (*Avena sativa*) EN GRANO

José Edgar Zapata M.¹, Óscar Albeiro Quintero C.², Luís Danilo Porras B.²

¹ Ingeniero Químico, M.Sc, Ph.D., Profesor Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

² Ingeniero de Alimentos, Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

* Autor para correspondencia: jedgar_4@yahoo.es

Recibido: marzo 12 de 2014 ; aprobado: abril 11 de 2014

RESUMEN

El comportamiento de sorción de los materiales alimenticios es información fundamental para el diseño de procesos de secado y almacenamiento que garanticen la estabilidad de los alimentos. En este estudio se ajustaron las isotermas de sorción de avena en grano (*Avena sativa*) a dos temperaturas (25 y 37 °C) mediante seis modelos matemáticos (GAB, BET, Oswin, Caurie, Smith y Henderson). Se utilizó la técnica gravimétrica en el rango de actividad acuosa (a_w) entre 0,107 y 0,855. La calidad del ajuste se evaluó con el coeficiente de regresión (r^2) y el porcentaje de error medio relativo (% E). La humedad de equilibrio y humedad de seguridad (XS), presentaron dependencia con la temperatura. El calor isostérico (QS) alcanzó un valor de 35,833 kJ/mol para una humedad de 0,07 g agua/g m.s. Los modelos que mejor se ajustaron a los datos experimentales fueron Oswin, Smith y Caurie.

Palabras clave: humedad de equilibrio, actividad acuosa, desorción, adsorción.

SORPTION ISOTHERMS FOR OAT (*Avena sativa*) WHOLE GRAIN

ABSTRACT

The sorption behavior of food materials is critical information for the design of drying and storage processes to ensure the stability of food. In this study the sorption isotherms of oat whole grain (*Avena sativa*) were adjusted at two temperatures (25 and 37 °C) using six mathematical models (GAB, BET, Oswin, Caurie, Smith, and Henderson). Gravimetric method was used in the range of aqueous activity (a_w) between 0.107 and 0.855. The quality of the fit was assessed with the regression coefficient (r^2) and the mean relative error percentage (% E). The equilibrium moisture and the safety humidity (XS) presented dependence with temperature. Isotheric heat reached a value of 35.833 kJ/mol for humidity at 0.07 g water/g m.s. The models that best fit the experimental data were Oswin, Smith and Caurie.

Key words: equilibrium moisture, water activity, sorption, adsorption.

INTRODUCCIÓN

La avena (*Avena sativa*) es un cereal que pertenece a la familia de las *gramíneas*, ampliamente utilizada en el mundo tanto para consumo humano como para alimentación animal y productos cosméticos. Esta es considerada una fuente nutritiva de proteínas, carbohidratos, fibra, vitaminas y minerales, a la vez que contiene componentes en menor proporción como grasas insaturadas y β -glucanos que contribuyen a la salud y al bienestar del ser humano (Peterson, 2004).

Dicho cereal se ha constituido en una importante materia prima para la industria alimentaria, por lo tanto su control de calidad se hace cada vez más exigente. El factor más importante a cuidar dentro de estos productos es el contenido de humedad, ya que la mayoría de las propiedades de los mismos están en función del nivel de humedad que el producto pueda adsorber (Prieto *et al.*, 2006). Mucho más importante aún, es la actividad acuosa (a_w); la cual es un parámetro que indica la cantidad de agua en un alimento que puede llegar a ser utilizada para el desarrollo de reacciones bioquímicas (p.e. procesos de oxidación de lípidos, reacciones enzimáticas, reacción de Maillard) y el desarrollo microbiano (Vega *et al.*, 2006).

Las teorías de la estructura de sólidos y de los fenómenos superficiales, no permiten todavía predecir la variación del contenido de humedad de equilibrio de diversos materiales con base en los principios fundamentales. Debido a estas limitaciones se hace necesario determinar los contenidos de humedad de equilibrio por vía experimental (Al-Muhtaseb *et al.*, 2004; Corzo & Fuentes, 2004). Por lo que se ha intentado correlacionar los datos experimentales mediante modelos matemáticos, los cuales proporcionan resultados satisfactorios en ciertos rangos de actividad de agua y ciertos tipos de alimentos

(Badui, 1993). En este caso se relacionan de forma gráfica, a una temperatura y presión dada, el contenido de humedad de equilibrio de un producto, con la actividad termodinámica del agua que este posee (a_w); la cual en equilibrio es igual a la humedad relativa del aire que lo está rodeando (Zhang *et al.*, 1996; Correa *et al.*, 2004).

En los estudios de adsorción-desorción de humedad, resulta de interés la determinación del calor isostérico: el cual en desorción representa la energía requerida para romper las fuerzas intermoleculares entre las moléculas de vapor de agua y la superficie del sólido adsorbente; mientras que en procesos de adsorción corresponde a la energía entregada por las moléculas de vapor al adsorberse (Vega *et al.*, 2006; Rizvi, 1995).

El objetivo de este trabajo fue determinar experimentalmente las curvas de humedad de equilibrio de la avena en grano (*Avena sativa*) a dos temperaturas (25 y 37 °C) ajustadas mediante los modelos matemáticos de GAB, BET, Oswin, Caurie, Smith y Henderson (Vega *et al.*, 2006). Además, de determinar el calor isostérico de sorción y modelarlo en función del contenido de humedad del producto (Tsami *et al.*, 1990).

MATERIALES Y MÉTODOS

Determinación de las isotermas de sorción

La avena en grano de la variedad *Avena sativa* fue suministrada por la empresa Gelatinas y Refrescos de Colombia S.A., ubicada en Envigado, Antioquia. La metodología consistió en someter una masa conocida de muestra (por triplicado) a dos temperaturas de trabajo (25 y 37 °C) en recipientes cerrados herméticamente, los cuales contenían disoluciones saturadas de sal de a_w conocida. A partir de ese momento se controló el peso de la muestra cada 10 días hasta que se llegó a un peso constante (condición de equilibrio). A los recipientes que contenían

soluciones con %HR mayor a 75 % se les adicionó Timol en la estructura que soporta la muestra para evitar el desarrollo microbiano, especialmente el enmohecimiento. Previo a los ensayos de humedad de equilibrio se determinó la humedad inicial de la avena en grano por triplicado, según el método 934.06 de la AOAC (AOAC, 1995). Para lo cual se utilizó una balanza analítica Acculab LA-60 de precisión 0,001 g y una cámara de secado de calor por convección forzada Binder® (modelo Termolab 53); el resultado fue expresado como masa de agua por masa total de muestra.

Modelado de las isotermas de sorción

Se graficó el contenido de humedad de equilibrio, en base seca contra la humedad relativa del aire, para la obtención de las curvas.

Los datos experimentales fueron ajustados a los modelos matemáticos que se presentan en la Tabla 1, a saber: GAB (Guggenheim, Anderson y de Boer) (Ocampo, 2006), BET (Brunauer, Emmett y Teller), Henderson, Caurie, Smith y Oswin. Se evaluó la calidad del ajuste de los modelos propuestos por medio del coeficiente de correlación lineal (r^2) y el porcentaje de error medio relativo (%E) (Ecuación 1). Los cuales son parámetros estadísticos ampliamente utilizados en isotermas de alimentos (Tolaba *et al.*, 2004).

$$\%E = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{|X_{ei} - X_{ci}|}{X_{ei}} \right) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde: X_{ei} es el contenido de humedad experimental (g agua/g m.s.); X_{ci} es el contenido de humedad calculada a partir de cada modelo (g agua/g m.s.) y n es el número de observaciones.

Tabla 1. Modelos de isotermas de sorción para humedad de equilibrio (Vega *et al.*, 2006)

Modelo	Ecuación	Parámetros
GAB	$X_w = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) (1 + (C - 1) \cdot K \cdot a_w)}$	<p>X_m: humedad del producto correspondiente a la situación en que los puntos de adsorción primarios están saturados por moléculas de agua.</p> <p>C: constante de Guggenheim, característica del producto y relacionada con el calor de adsorción de la monocapa.</p> <p>K: factor de corrección relacionado con el calor de sorción de la multicapa.</p>
BET	$X_w = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)(1 + (C - 1) \cdot a_w)}$	<p>X_m: humedad del producto correspondiente a una capa monomolecular de agua adsorbida.</p> <p>C: constante característica del material relacionada con el calor desprendido en el proceso de sorción.</p>
HENDERSON	$X_w = 0,01 \left[\frac{-\log(1 - a_w)}{10^f} \right]^{1/n}$	n y f : son parámetros característicos del producto.
CAURIE	$X_w = \exp \left[(a_w) \cdot \ln(V) - \left[\frac{1}{4,5 \cdot X_s} \right] \right]$	<p>V: constante característica del material.</p> <p>X_s: contenido de humedad de seguridad que proporciona la máxima estabilidad al alimento deshidratado durante el almacenamiento.</p>
SMITH	$X_w = B + A \cdot \log(1 - a_w)$	A y B: constantes del modelo y características para cada alimento.
OSWIN	$X_w = A \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^B$	A y B: constantes del modelo y características para cada alimento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de humedad de equilibrio

La humedad inicial de la muestra de avena en grano (*Avena sativa*) fue de $0,117 \pm 0,001$ g agua/g m.s. Los datos experimentales de humedad en el equilibrio, en función de la actividad de agua

para las temperaturas de trabajo 25 y 37 °C, se presentan en las Figuras 1 y 2 respectivamente. En dichas figuras se observa que las isothermas obtenidas son de tipo II, según la clasificación establecida por Van der Waals; las cuales son las más frecuentes en alimentos de origen vegetal (Martínez-Navarrete, 1998; Debnath *et al.*, 2002).

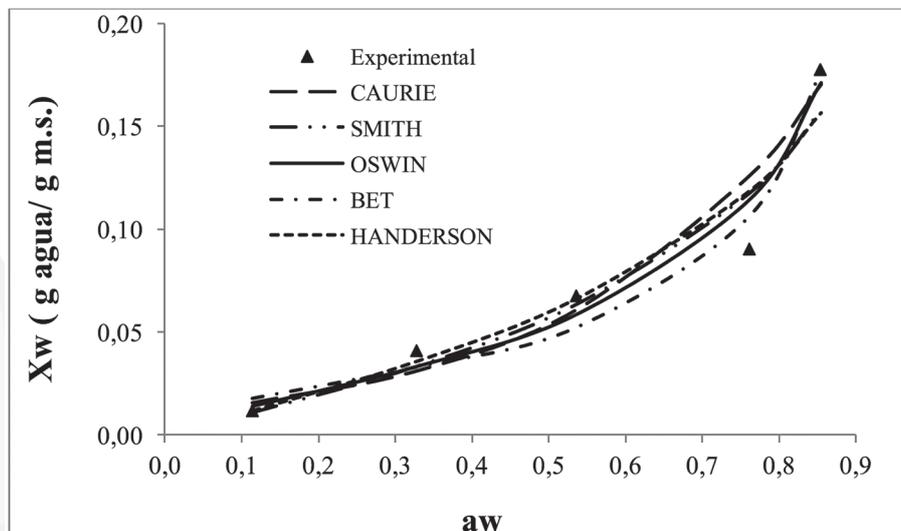


Figura 1. Modelado de isothermas de sorción de avena en grano a 25 °C.

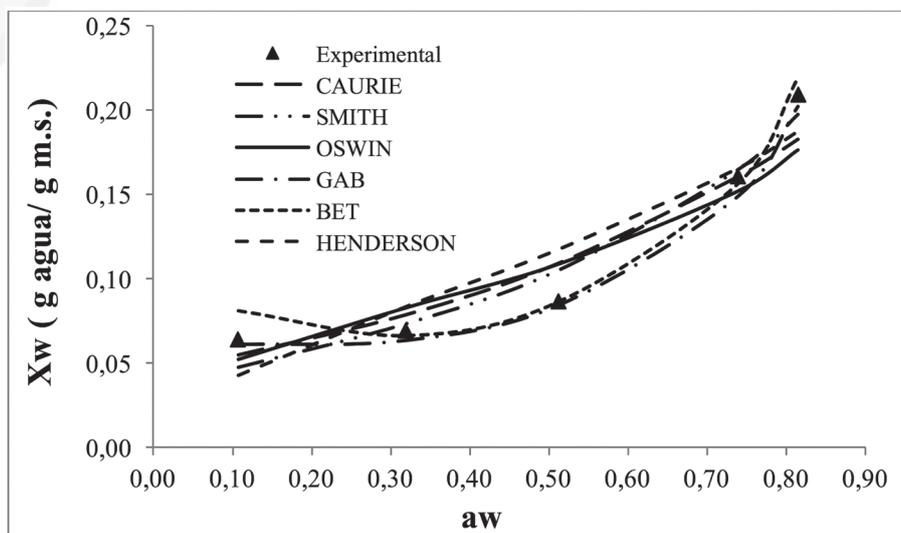


Figura 2. Modelado de isothermas de sorción de avena en grano a 37 °C.

Modelado de las isotermas

En la Tabla 2 se presenta un resumen de los resultados obtenidos para los modelos propuestos con sus respectivas constantes, además de los valores de r^2 y %E. De acuerdo a esto, los modelos

que mejor se ajustaron al comportamiento de los datos experimentales a las dos temperaturas de trabajo fueron: Oswin, Smith y Caurie; los cuales presentaron r^2 superiores a 0,85 y %E promedio, para las dos temperaturas, cercanos al 15 %.

Tabla 2. Valores estimados de los parámetros de los modelos de sorción ajustados

MODELO	PARÁMETRO	TEMPERATURA	
		25 °C	37 °C
GAB	K	0,673	0,976
	C	-0,161	-33,82
	Xm	-0,964	0,041
	r^2	0,607	0,992
	%E	157,53	6,246
BET	Xm	0,026	0,04
	C	11,9	-18,652
	r^2	0,861	0,994
	%E	22,507	7,691
HENDERSON	N	1,07	1,828
	F	-1,354	-2,462
	r^2	0,975	0,782
	%E	11,781	20,598
CAURIE	V	25,381	5,474
	Xs	0,049	0,072
	r^2	0,934	0,897
	%E	22,156	13,534
SMITH	A	-0,187	-0,219
	B	0,001	0,037
	r^2	0,926	0,951
	%E	14,433	11,776
OSWIN	A	0,053	0,107
	B	0,66	0,337
	r^2	0,964	0,856
	%E	16,138	17,031

Cálculo del calor isostérico neto de adsorción

El calor isostérico neto de adsorción (Q_s) se define como el calor total de sorción de agua del alimento (ΔH) menos el calor de vaporización del agua pura (ΔH_v) a una determinada temperatura y puede llegar a ser determinado por medio de la ecuación de Clausius-Clapeyron (Ecuación 2) (Martínez-Navarrete, 1998).

$$\ln p = -\frac{\Delta H}{R} * \frac{1}{T} + C \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$\ln a_w = -\frac{Q_s}{R} * \frac{1}{T} + C' \quad (\text{Ecuación 3})$$

Al graficar el $\ln(a_w)$ frente a $1/T$ (K), para ciertos valores de humedad, se obtiene una línea recta cuya pendiente es $-Q_s/R$.

En cuanto al a_w , este se define como: $a_w = p/p_o$, donde: p es la presión de vapor de agua en equilibrio con el material a una temperatura determinada; p_o es la presión de vapor del agua pura. Con respecto a ΔH , este es el calor total de sorción del sistema alimento-agua. R es la constante universal de los gases y T es la temperatura absoluta (K).

Tsami *et al.* (1990) propusieron un modelo empírico de forma exponencial entre Q_s y el contenido de humedad del producto (X_w) con dos constantes: Q_o y X_o (Ecuación 4).

$$Q_s = Q_o \cdot \left(e^{\left(-\frac{X_w e}{X_o} \right)} \right) \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde: X_{we} es la humedad de equilibrio (g agua/g m.s.); Q_o es el calor isostérico de sorción (kJ/mol) de la primera molécula de agua en el alimento y se define de la siguiente forma: cuando $X_{we} \rightarrow \Rightarrow Q_s \rightarrow Q_o$; donde X_o es el contenido de humedad característico para cada producto, cuando Q_s ha sido reducido a un 63 % (Kiranoudis *et al.*, 1993).

Si en las Figuras 1 y 2 se toma el a_w para el mismo valor de X_w , se tendrían valores de a_w a diferentes temperaturas; los cuales en la Ecuación 3 entregarían el Q_s para el X_w seleccionado. Al repetir este procedimiento para varios valores de X_w se tienen datos de Q_s en función de X_w , los cuales pueden relacionarse mediante la Ecuación 4. Al utilizar solo dos temperaturas para hacer el ajuste se supone la linealidad entre el inverso de la temperatura y el a_w , con lo que los valores de Q_s y C' obtenidos estarán sujetos a dicha suposición. Para evaluar la validez de este supuesto se debe observar el ajuste de los datos experimentales y los predichos por el modelo (Ecuación 4) que se basa en ellos.

En la Figura 3 se presenta Q_s en función de X_{we} para avena en grano con los valores obtenidos de las Figuras 1 y 2, así como la Ecuación 3, aplicados en la Ecuación 4. En la Figura 3 se observa que el Q_s de avena en grano decrece rápidamente desde 35,833 a 6,539 kJ/mol con un aumento de X_w de 0,07 a 0,177 g agua/g m.s. El buen ajuste entre los datos experimentales y los predichos por el modelo ($R^2=0,995$), corrobora la validez del supuesto con el que se determinaron los parámetros para el cálculo del Q_s en cada punto y expresa la utilidad de la ecuación ajustada en el rango de temperaturas evaluadas en el presente estudio.

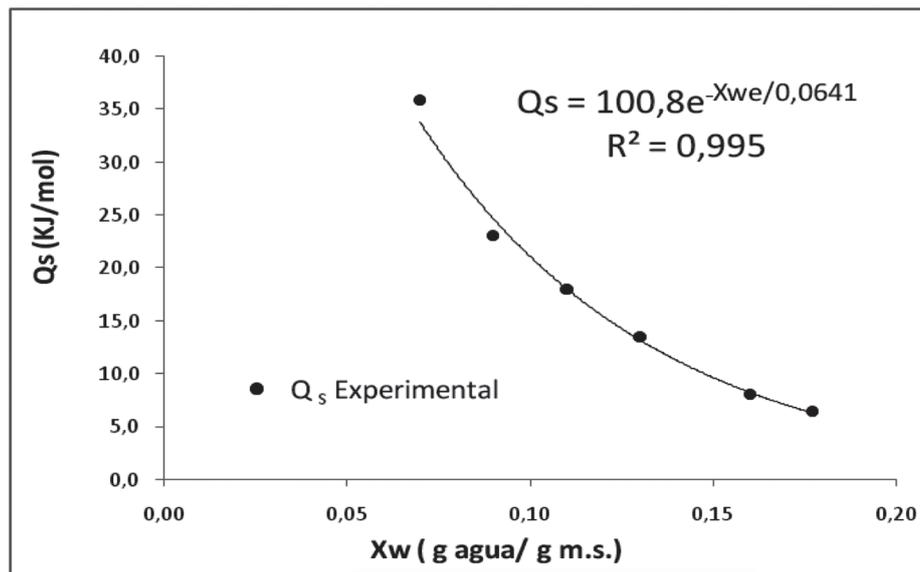


Figura 3. Ajuste de los valores experimentales de Q_s para avena en grano con la ecuación empírica de Tsami.

La diferencia de las curvas experimentales, en ambas temperaturas, indica una dependencia del contenido de humedad de equilibrio con la temperatura para todo el rango de actividad de agua en estudio; este comportamiento concuerda con los resultados obtenidos por Foster *et al.* (2005). Este efecto de la temperatura sobre las isotermas de sorción ha sido ampliamente estudiado en alimentos ricos en carbohidratos tales como la remolacha (Iglesias *et al.*, 1975), uvas pasas (Saravacos *et al.*, 1986), malta de cebada (Barreiro *et al.*, 2003), avena en hojuelas (Zapata *et al.*, 2014) y proteínas texturizadas de soya con un contenido de azúcar del 20 % (Cassini *et al.*, 2006).

En las Figuras 1 y 2 se observa que para ambas temperaturas de trabajo, por encima de un cierto valor de a_w , la pendiente de la curva se incrementa drásticamente. Este comportamiento se puede atribuir a la disolución endotérmica de azúcares que se presenta a valores altos de a_w (Brett *et al.*, 2009). Para los granos de avena utilizados en este estudio es de esperarse que el contenido de azúcar esté alrededor del 1 % (Brett *et al.*, 2009; Aman & Hesselman, 1984). Estos

granos de avena al estar basados, principalmente, en almidón pueden estar más asociados a una mayor exposición de sitios activos o de grupos hidrofílicos a medida que se incrementa el a_w ; en especial, cuando la temperatura también se aumenta (Perdomo *et al.*, 2009; Zapata *et al.*, 2014) tal como puede apreciarse en las Figuras 1 y 2. Bajo estas condiciones las moléculas en el estado vítreo pueden aproximarse a la región de transición vítrea y llegar a ser plastificadas, incrementando su movilidad y su disponibilidad para la sorción (Brett *et al.*, 2009; Perdomo *et al.*, 2009). El papel que juega la transición vítrea en productos de almidón y la forma en cómo afecta su mecanismo de sorción ha sido estudiado por Al-Muhtaseb *et al.* (2004) y Perdomo *et al.* (2009).

Los resultados obtenidos en este trabajo corroboran la premisa de van den Berg (1981), relacionada con la modificación de la capacidad de sorción en las proximidades de la región de transición vítrea, en donde la región amorfa del almidón empieza a ser plastificada incrementando la disponibilidad de los grupos hidroxilos para la sorción de moléculas de agua (Brett *et al.*, 2009).

Por su parte, el modelo de GAB a pesar de haber tenido un buen ajuste a 37 °C no lo tiene a 25 °C. En cuanto a HENDERSON tiene un buen ajuste a 25 °C, pero no a 37 °C. El modelo de BET tiene valores adecuados de r^2 y %E, aunque uno de sus parámetros entrega valores que carecen de significado físico.

La utilización de la ecuación de Caurie es de importancia en el modelado de isothermas de alimentos deshidratados, ya que entrega el parámetro llamado “contenido de humedad de seguridad” (X_s); el cual indica el contenido de humedad en el que se lograría la máxima estabilidad del alimento durante su almacenamiento (Vega *et al.*, 2006). En este estudio se obtuvo un X_s de 0,049 g agua/g m.s. y 0,072 g agua/g m.s. para 25 °C y 37 °C, respectivamente, observándose dependencia de este parámetro con la temperatura. Este valor es del orden de magnitud de otros valores de X_s que han sido reportados para alimentos ricos en almidón (Vega *et al.*, 2006; Montes *et al.*, 2009). En función de los valores del r^2 y %E, las ecuaciones propuestas por Smith y Oswin demostraron ser las más útiles entre las evaluadas en este estudio a la hora de modelar la isoterma de sorción de la avena en grano.

En las Figuras 1 y 2 se presentan las curvas experimentales y predichas por los modelos a 25 °C y 37 °C, respectivamente, utilizando las ecuaciones propuestas que mejor ajustaron.

El valor de Q_s se asocia con la estabilidad puesto que entre menor sea este más fácilmente se presentan los procesos de adsorción-desorción, que son fenómenos que alteran la composición química del producto al modificar su contenido de humedad.

En la Figura 3 se observa que a medida que se incrementa la X_{we} disminuye el Q_s ; es decir que a medida que aumenta la humedad de equilibrio de la avena en grano a unas condiciones ambientales dadas, también disminuye la cantidad de energía necesaria para la adsorción-desorción del agua en la superficie del producto. De tal manera que a medida que se incrementa X_{we} menor Q_s , así como menor estabilidad de la avena en grano a los fenómenos de adsorción-desorción de humedad.

CONCLUSIONES

El comportamiento de las isothermas de sorción de la avena en grano a 25 °C y 37 °C es descrito satisfactoriamente por los modelos de Oswin, Smith y Caurie; de los cuales, Smith es el modelo con mayor r^2 y el más bajo %E (0,936 y 13,104, respectivamente).

Las isothermas de sorción de humedad de la avena en grano presentaron una clara dependencia con la temperatura para todo el rango de actividad acuosa trabajado.

A partir de los datos de calor isostérico (Q_s) se concluye que a medida que se incrementa la humedad de equilibrio (X_{we}) de la avena en grano, disminuye su estabilidad a la pérdida o ganancia de humedad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo dan los agradecimientos al CODI de la Universidad de Antioquia por el apoyo económico brindado a través de la estrategia de Sostenibilidad 2014-2015, así como a la empresa Gelatinas y Refrescos de Colombia S.A.

REFERENCIAS

- Al-Muhtaseb, A.H., McMinn, W.A.M. & Magee, T.R.A. 2004. Water sorption isotherms of starch powders. Part 1: Mathematical description of experimental data. *J Food Eng.* 61 (3): 297-307.
- Aman, P. & Hesselman, K. 1984. Analysis of starch and other main constituents of cereal grains. *Swed J Agr Res.* 14 (3): 135-139.
- AOAC International. 1995. Official methods of analysis of AOAC International. 16 ed. AOAC International, Maryland.
- Badui, S. 1993. Agua. pp. 649. En: *Química de los alimentos.* Alhambra Mexicana, Ciudad de México.
- Barreiro, J.A., Fernández, S. & Sandoval, A.J. 2003. Water sorption characteristics of six row barley malt (*Hordeum vulgare*). *Food Sci Technol-Leb.* 36 (1): 37-42.
- Berg, C.V.D. 1981. Vapour sorption equilibria and other water-starch interactions: A physico-chemical approach. Ph.D. Thesis. Agricultural University Wageningen. Wageningen, Netherland.
- Brett, B., Figueroa, M., Sandoval, A.J., Barreiro, J.A. & Müller, A.J. 2009. Moisture Sorption Characteristics of Starchy Products: Oat Flour and Rice Flour. *Food Biophys.* 4 (3): 151-157.
- Cassini, A.S., Marczak, L.D.F. & Noreña, C.P.Z. 2006. Water adsorption isotherms of texturized soy protein. *J Food Eng.* 77 (1): 194-199.
- Correa, P., da Silva, P.S. & de Almeida, L.A. 2004. Estudo das propriedades físicas e de transporte na secagem de cebola (*Allium cepa* L) em camada delgada. *Cien. Tecnol Aliment.* 24 (3): 319-326.
- Corzo, O. & Fuentes, A. 2004. Moisture Sorption isotherms and modeling for precooked flours of Pigeon pea (*Cajanus cajan* L. *mills*) and lima bean (*Canavalia ensiformis*). *J Food Eng.* 65 (3): 443-448.
- Debnath, S., Hemavathy, J. & Bhat, K. 2002. Moisture sorption studies on onion powder. *Food Chem.* 78 (4): 479-482.
- Foster, K.D., Bronlund, J.E. & Paterson, A.T. 2005. The prediction of moisture sorption isotherm for dairy powder. *International Dairy Journal.* 15 (4): 411-418.
- Iglesias, H.A., Chirife, J. & Lombardi, J.L. 1975. Water sorption isotherms in sugar beet root. *Int J Food Sci Tech.* 10 (3): 299-308.
- Kiranoudis, C.T., Maroulis, Z.B., Tsami, E. & Marinou-Kouris, D. 1993. Equilibrium moisture content and heat of desorption of some vegetables. *J Food Eng.* 20 (1): 55-74.
- Martínez-Navarrete, N. 1998. *Termodinámica y cinética de sistemas: alimento entorno.* Universidad de Valencia, Valencia.
- Montes, E. et al. 2009. Modelado de las isotermas de desorción del ñame (*Dioscorea Rotundata*). *Dyna.* 76 (157): 145-152.
- Ocampo, A. 2006. Modelo cinético de secado de la pulpa de mango. *Revista EIA.* 3 (5): 119-128.
- Perdomo, J. et al. 2009. Glass transition temperatures and water sorption isotherms of cassava starch. *Carbohydr Polym.* 76 (2): 305-313.
- Peterson, D. 2004. Oat a multifunctional grain. pp. 21-26. En: Peltonen-Sainio, P. & Topi-Hulmi, M. (eds.). *Agrifood Research Reports 51.* Agrifood Research, Jokioinen, Finland.

Prieto, F., Gordillo, A.J., Prieto, J., Gómez, C.A. & Roman, A.D. 2006. Evaluación de las isothermas de sorción en cereales para desayuno. *Superficies y Vacío*. 19 (1): 12-19.

Rizvi, S.S.H. 1995. *Thermodynamics properties of food in dehydration*. Marcel Dekker Inc., New York.

Saravacos, G.D., Tsiourvas, D.A. & Tsami, E. 1986. Effect of temperature on the water adsorption isotherms of sultana raisins. *J Food Sci*. 51 (2): 381-383.

Tolaba, M.P., Peltzer, M., Enríquez, N. & Pollio, M.L. 2004. Grain sorption equilibria of quinoa grains. *J Food Eng*. 61 (3): 365-371.

Tsami, E., Marinos-Kouris, D. & Maroulis, Z.B. 1990. Water sorption isotherm of raisins, currants, figs, prunes and apricots. *J Food Sci*. 55 (6): 1594-1597.

Vega, A., Lara, E. & Lemus, R. 2006. Isothermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays L.*). *Food Science and Technology*. 26 (4): 821-823.

Zapata, J.E., Quintero, O.A. & Porras, L.D. 2014. Sorption isotherms for oat flakes (*Avena sativa L.*). *Agronomía Colombiana*. 32 (1): 52-58.

Zhang, X.W. et al. 1996. Desorption Isotherms of Some Vegetables. *J Sci Food Agr*. 70 (3): 303-306.