

OBTENCIÓN DE ISOTERMAS DE SORCIÓN DE HUMEDAD EN VARIEDADES DE ARROZ

Nathali Abrahan Ferro¹, Dámaso Castillo Toro² y Victoria Obregón Ceballos³

¹Ing., Inv. A., Instituto de Investigaciones de Granos. Autopista Novia del Mediodía km 16 ½, Bauta, Artemisa. Cuba. Teléfonos: 047-3550/373260 Email: naty@iiarroz.cu

²Dr.C., Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Granos, Artemisa, Cuba

³Tec. M., Instituto de Investigaciones de Granos, Artemisa, Cuba

INTRODUCCIÓN

El agua participa activamente en la formación de los granos de cereales y oleaginosas, pues es el vínculo de transporte de las sustancias nutritivas, a partir de las hojas y raíces, que mediante procesos bioquímicos se polimerizan en almidones, lípidos y proteínas, durante la fase de maduración. Cuando alcanza la madurez fisiológica, el grano se independiza de la planta y según las condiciones psicrométricas del aire (temperatura y humedad relativa), pierde humedad hasta el momento de la cosecha.

El grano de arroz es altamente higroscópico, o sea tiene la capacidad de intercambiar agua con el medio circundante y cuando el contenido de humedad de un material higroscópico (arroz), se expone a un ambiente de condiciones controladas de temperatura y Humedad Relativa, durante un lapso prolongado este alcanza la humedad de equilibrio. Además, se puede considerar que el material se encuentra en equilibrio higroscópico con el ambiente en que se encuentra cuando la presión de vapor de agua correspondiente a la humedad del material es igual a la presión de vapor de agua del aire ambiente. El conocimiento de las isotermas de sorción de alimentos es de gran importancia ya que brinda información útil para la optimización del proceso de secado, el diseño de secaderos, la predicción de la vida útil del producto y de la evolución del contenido de humedad durante el almacenamiento (Gal, 1987)

El objetivo de este estudio consiste en obtener las isotermas de sorción de humedad de tres variedades de arroz a diferentes niveles de actividad del agua, utilizando el método experimental estático de equilibrio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras y tamaño de muestras

Se tomaron muestras de 1 kg de tres variedades comerciales de arroz: IACuba-31, Perla de Cuba y Selección I, las cuales fueron homogenizadas con el empleo del equipo cuarteador Boerner. Posteriormente se obtuvieron submuestras de tamaño 100 gramos libres de impurezas. Se pesaron submuestras de 2 gramos las cuales fueron colocadas en pesafiltros de vidrio (de peso conocido), dentro de desecadoras.

Contenido de Humedad

El contenido de humedad inicial de las muestras se determinó mediante un medidor digital de Humedad Steinlite y los valores obtenidos para cada variedad aparecen reflejados en la Tabla 1.

Tabla 1. Contenido de humedad inicial

Humedad (%)	IACuba-31	Perla de Cuba	Selección I
adsorción	12,5	12,5	13,5
desorción	20,5	25,1	23,8

Obtención de las isotermas de sorción por el método gravimétrico estático de equilibrio

En el método estático de equilibrio, las muestras se colocan en recipientes cerrados a humedades relativas constantes, hasta alcanzar un equilibrio higroscópico. Para lograr esto se utilizan diversas sustancias químicas que poseen la característica de retirar o ceder humedad del ambiente en que se encuentren, hasta que se alcanza un estado de equilibrio. La Humedad Relativa se puede mantener constante en el interior de recipientes herméticamente cerrados, utilizando soluciones de ácidos y soluciones saturadas de diferentes sales; estas últimas han sido preferidas por diversos autores (Jowitt et al, 1989), (Blanco, et al 2000). Para el caso en estudio las muestras se colocaron en recipientes cerrados a humedades relativas constantes, hasta alcanzar un estado de equilibrio higroscópico. Se utilizaron las siguientes soluciones saturadas de sales a 30 °C; acetato de potasio, nitrato de calcio, nitrito de sodio, acetato de sodio, bromuro de potasio, monofosfato de amonio y agua líquida. Los porcentajes de humedad relativa que se obtienen dentro de las desecadoras con cada solución de sal saturada son los siguientes: 22.5; 50.0; 64.4; 75.4; 84.3; 92.5 y 100, respectivamente), y se mantuvieron a una temperatura $30\pm 1^{\circ}\text{C}$. (Hall, 1980)

Se realizaron diferentes pesadas constantes durante 10 días. Se determinó a partir de estos datos, el contenido de humedad de equilibrio de cada variedad de arroz: por adsorción y desorción. Se construyeron las representaciones gráficas de las isotermas de sorción de humedad y se evidenció el fenómeno de histéresis de adsorción para las variedades de arroz.

Ajuste de los datos experimentales a partir de ecuaciones matemáticas

Los cambios de masa en las muestras durante un proceso de adsorción-desorción en condiciones constantes de Humedad Relativa y Temperatura, son función del tiempo que dure en alcanzarse el equilibrio a cada valor de Humedad Relativa (Prieto et al, 2006). Mediante un análisis de regresión simple con el Paquete Estadístico (Statgraphics Plus versión 5.0), se determinaron los modelos de mejor ajuste para los datos experimentales y se seleccionó la bondad de ajuste de la ecuación para un nivel de significación estadística del 95 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 (IACuba-31) se grafican los valores de sorción de agua (kg agua/kg ms) con relación a la actividad del agua (a_w). La curva isotérmica inferior corresponde con el proceso de adsorción entre la a_w de 0.225 hasta 1, la adsorción de agua comienza cuando el grano tiene un contenido de humedad de 0.125 kg agua/ kg ms y culmina cuando la a_w es igual a 1, con un valor de 0.249 kg agua/ kg ms. La adsorción de agua total representada en esta curva es de 0.124 kg agua/ kg ms. El proceso reversible de la desorción se representa para esta misma muestra en la curva isotérmica superior que comienza con un valor máximo de 0.249 kg agua/kg ms y culmina en el de 0.125 kg agua/kg ms. La diferencia entre ambas curvas isotérmicas conjugadas expresan el fenómeno de histéresis de adsorción (las curvas no coinciden)

Se han postulado varias teorías para explicar el fenómeno de histéresis en los granos. La teoría de la "botella de tinta" de Kraemer y Taylor (1931) es la mejor conocida. Esta teoría asume que el grano es un cuerpo poroso con capilares consistentes de cuellos estrechos de pequeño diámetro con tubos de gran diámetro. Durante la desorción los radios pequeños de los cuellos controlan el vaciado de los capilares resultando en la disminución de la humedad relativa por encima de los granos porosos capilares. Por el contrario, durante la adsorción los capilares no se llenan completamente hasta la humedad relativa correspondiente a los radios mayores de los tubos más grandes. Otras teorías atribuyen el fenómeno de histéresis a la reducción molecular del grano, lo que implica la reducción de la disponibilidad de sitios polares para la unión con agua sobre la superficie del grano que sigue a la desorción (Brooker, 1967)

A consecuencia de la histéresis, para un valor dado de a_w , el contenido de humedad en la desorción es mayor que en la adsorción, debido a que durante la primera suceden interacciones entre los componentes del cereal, de modo que los sitios físicos polares donde ocurre la adsorción se pierden. En todos los casos se cumple que la actividad del agua para un valor dado de contenido de humedad es mayor en la adsorción que en la desorción.

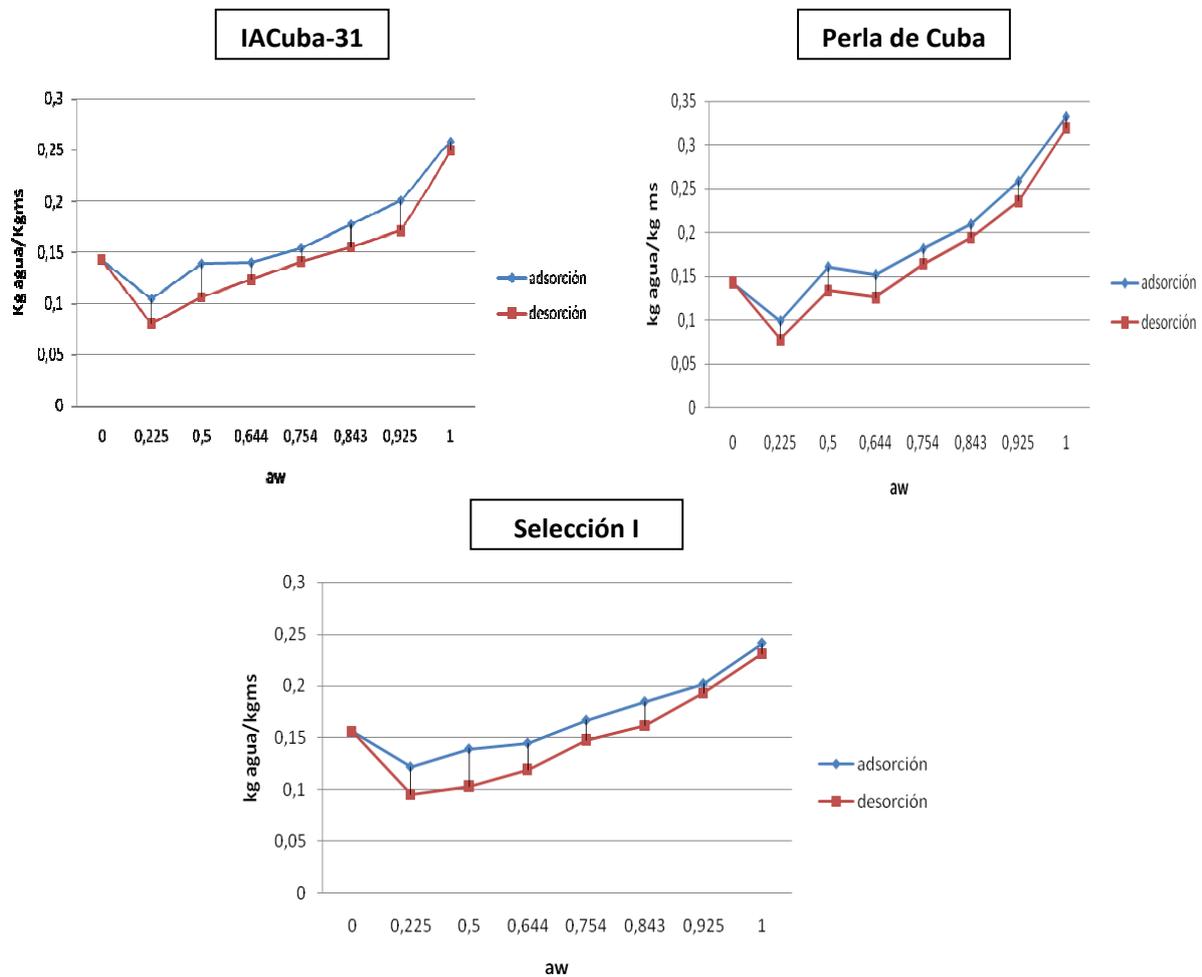


Figura 1. Isothermas de adsorción-desorción de los granos de arroz con cáscara a 30°C

Se obtuvieron isothermas de Tipo II de forma sigmoidea o tipo S, de las cinco establecidas por Brunauer et al, 1940, citadas por Andrade et al, 2011, las cuales son muy frecuentes de observar en otros granos como el maíz, el trigo y el frijol. Además esta forma se atribuye a diferencias cualitativas en la afinidad del agua de los sólidos higroscópicos, según Kapsalis, 1981 citado por Castro, 2011. Las isothermas obtenidas coinciden con los resultados de Schierbaum, 1960, citado por Juliano, 1960, el cual estudió el contenido de humedad de equilibrio en gránulos de almidón de arroz a diferentes Humedades Relativas a una temperatura constante de 20 °C.

Ajuste de los datos experimentales a partir de ecuaciones matemáticas

En la Tabla 2 se presentan las ecuaciones matemáticas obtenidas, con sus respectivas constantes, además de los valores de R² y el coeficiente de correlación. Como el P-valor posee un valor menor que 0.01, en todos los casos existe una relación estadísticamente significativa entre el contenido de agua del grano de arroz y el tiempo que transcurre para alcanzar el equilibrio, con un nivel de confianza del 99 %. En general todas estas ecuaciones presentan un buen ajuste de los datos experimentales, dando coeficientes de correlación superiores a 0.95. Para el caso de la variedad IA-Cuba-31 el modelo de mejor ajuste es el modelo exponencial para ambas isothermas con un valor de R²= 94.83 y 95.61 % respectivamente, lo que significa que este modelo es capaz de modelar la variabilidad del contenido de agua en el grano en función del tiempo, con una fuerte relación entre las variables (0,974-0.978). Para la variedad de arroz Perla de Cuba el modelo de mejor ajuste es el modelo logístico para ambas isothermas con un valor de R²=93.60 y 94.82 %, lo que permite modelar la variabilidad, con un coeficiente de correlación de 0.967-0.974.

Tabla 2. Resumen de las ecuaciones matemáticas y valores de las constantes

Variedad	Modelo	Ecuación
IACuba-31	Exponencial	$He = \exp(-a+bt)$
Perla de Cuba	Logístico	$He = \exp(-a+bt) / (1 + \exp(-a+bt))$
Selección I	Exponencial	$He = \exp(-a+bt)$

Variedad	Isotherma	Modelo	Constantes del Modelo		P-valor	R-cuadrado	Coef. Correlación
			a	b			
IACuba-31	adsorción	Exponencial	2,35286	0,00552006	0,0002	94,83%	0,974
	desorción	Exponencial	2,63419	0,00683626	0,0001	95,61%	0,978
Variedad Perla de Cuba	adsorción	Logístico	2,32662	0,0091288	0,0004	93,60%	0,967
	desorción	Logístico	2,61262	0,0104607	0,0002	94,82%	0,974
Variedad Selección I	adsorción	Exponencial	2,21743	0,0044993	0	98,52%	0,993
	desorción	Exponencial	2,54691	0,0062932	0	99,04%	0,995

De todas las variedades de arroz presentes en el estudio, la variedad Selección I es la que posee el mejor ajuste de todas las ecuaciones matemáticas obtenidas para modelar las isothermas de sorción de humedad.

REFERENCIAS

- Andrade R, Lemus R, Perez C. 2011. Models of sorption isotherms for food: uses and limitations. *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*. Agos; 18(3):325-334
- Blanco, M. A.; Montero, M de los A.; Fernández, M. 2000. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Vol. 50, N° 1, Caracas, Venezuela, 62
- Brooker, D.B. 1967. Mathematical Model of the psicrometric chart. *Trans. ASAE* 10 p. 558-560.
- Brunauer S, Deming LS, Teller E. On a theory of Van der Waals adsorption of gases. *J Am Chem Soc*. 1940 Jul; 62 (7): 1723-1732.
- Castro D. 2011. Higroscopicidad de arroz integral. *Ciencia y Tecnología de Alimentos* 21(1).
- Gal, S. 1987. The need for, and practical applications of sorption data. In R. Jowitt, F. Escher, B. Hallstrom, H. Mefert, W. Spiess, and G. Vos (Eds) *Physical properties of foods-2*(pp.13-25) London: Elsevier Applied Science.
- Hall, C.W. 1980. *Drying and storage of agricultural crops*. Westport, Connecticut, the AVI Publishing Company. 382 p.
- Jowitt, R. and Wagstaffe, P. J. 1989. The certification of the water content of microcrystalline cellulose (MCC) at water activities. Commission of the European Communities. Community Bureau of Reference. Bruselas.
- Juliano, B. O. 1985. Polysaccharides, protein, and lipids of rice. *Rice: Chemistry and Technology*. Second edition. Editor: B.O. Juliano. Publicado por American Association of Cereal Chemists. Inc. St. Paul, Minnesota, USA. 59-174
- Kapsalis, J. G. 1981. *Moisture sorption en Water activity: Influence on Food Quality*, Academic Press Inc., New York. pp. 143 – 177
- Prieto F, Gordillo A. 2006. Evaluación de las isothermas de sorción en cereales para desayuno. *Superficies y Vacío*. Mar; 19 (1): 12-19.
- Schierbaum, F. 1960. Die Hydratation der Starke II. Tensimetrische Untersuchungen der Ad- und Desorption von wasser durch Starke. *Staerke* 12:257-265