



Revista Chilena de Nutrición

ISSN: 0716-1549

sochinut@tie.cl

Sociedad Chilena de Nutrición, Bromatología y

Toxicología

Chile

Prieto G, Francisco; Prieto M, Judith; Román, Alma Delia; Gordillo M, Alberto José; Gómez A., Carlos  
CAPACIDAD DE HIDRATACIÓN DE LOS CEREALES PARA DESAYUNO KELLOGG'S

Revista Chilena de Nutrición, vol. 32, núm. 2, agosto, 2005

Sociedad Chilena de Nutrición, Bromatología y Toxicología

Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46914631010>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

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

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## **CAPACIDAD DE HIDRATACIÓN DE LOS CEREALES PARA DESAYUNO KELLOGG'S**

### **CAPACITY OF HYDRATATION OF KELOGG'S EXPANDED CEREALS**

**Francisco Prieto G1\*; Judith Prieto M2; Alma Delia Román2; Alberto José Gordillo M1; Carlos Gómez A.2**

(1)C.A. Ciencias Ambientales, Centro de Investigaciones Químicas. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo, México.

(2)C.A. Química de Alimentos, Centro de Investigaciones Químicas. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo, México.

---

#### **RESUMEN**

Los cereales expuestos a la libre adsorción de humedad, alcanzan rápidamente el equilibrio de adsorción. A baja aW (0.10), los tres cereales para desayuno evaluados en este trabajo, ceden humedad al medio; a partir de valores de aW de 0.53 y mayores manifiestan sus capacidades de adsorción de humedad con el tiempo, lo cual está asociado a que en los cereales se encontraron altos contenidos de azúcares. El cereal de arroz, manifestó los menores valores de capacidad de adsorción, en tanto el de maíz, la mas alta capacidad generando por consecuencia una débil hidratación.

**Palabras claves:** adsorción, actividad del agua, hidratación, Pilosof

---

#### **ABSTRACT**

The cereals exposed to the free humidity adsorption, reach the adsorption balance quickly. To loss aW (0.10), the three cereals for breakfast yield humidity to means; from values of aW of the 0,53 and greater ones, with time show their capacities of humidity adsorption, which is associate to that in contained cereals they were sugar stop. The rice cereal, as much showed the smaller values of capacity of adsorption in the one of maize but the high capacity generating by consequence a weak hydratation.

**Key words:** adsorption, water activity, hydration, Pilosof.

---

## **INTRODUCCIÓN**

El agua contenida en los granos de cereales, como en muchos alimentos, se presenta en distintas formas en función de los ligandos químicos que existan entre los componentes de la materia seca del alimento y las moléculas de agua, lo que determina los diferentes niveles de hidratación del producto. Existe agua ligada la cual sólo se puede eliminar bajo rigurosas condiciones de temperatura y tiempo; y el agua de integración o agua libre o adsorbida la que se vaporiza fácilmente en el secado. El agua se mantiene unida gracias a fuerzas de atracción molecular, o bien está firmemente ligada a la sustancia adsorbente; el término sorción se usa para denotar esa interacción agua-sustancia adsorbente (1).

Una muestra de algún tipo de cereal puede contener una humedad inicial de 3% (m/m) y luego de ponerse en condiciones de intercambio a una humedad relativa de 75% a 25°C con el transcurso del tiempo experimenta un incremento de peso por la humedad adsorbida del medio y puede llegar a contener entre 10-15% de humedad final en el estado donde se alcanza el equilibrio de saturación, que generalmente puede ocurrir entre 8 y 12 días (1). Además se debe señalar que el agua adsorbida en el producto se encuentra en equilibrio con el agua en estado de vapor en el aire de la atmósfera que lo rodea, por eso se suele llamar también humedad relativa en el equilibrio (%HRE) (2).

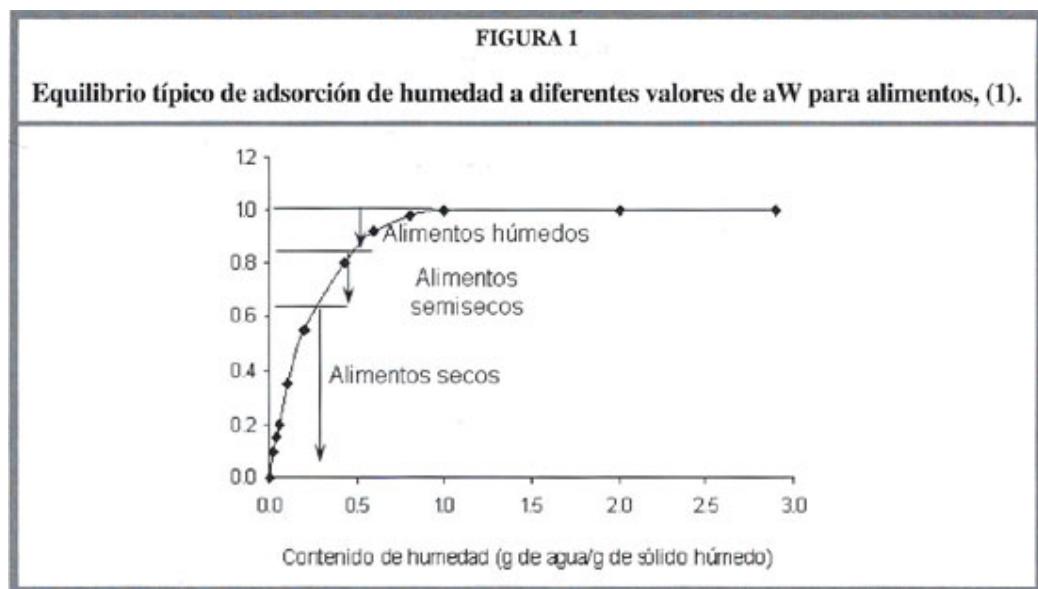
En numerosas ocasiones se ha intentado, a partir de mecanismos de adsorción supuestos, desarrollar expresiones matemáticas que se ajusten a las distintas curvas de adsorción experimental (3).

Existen dos métodos para la obtención experimental de contenidos de humedad en equilibrio, el método dinámico y el estático. El dinámico consiste en hacer pasar aire, con humedad relativa y temperatura controlada, a través de la muestra, o viceversa, hasta que no haya variación en la muestra, en este método se alcanza el equilibrio en un lapso corto de tiempo. El uso de microbalanzas con atmósferas controladas actualmente se usan para lograr las condiciones de equilibrio aparente en la investigación, cuando los cambios dinámicos en la masa de la muestra en función del tiempo son inferiores a 0.002%/min. (2.8g de agua /100g de materia seca/ día). Estas condiciones de equilibrio han sido consideradas adecuadas para construir las isotermas de sorción de vapor de agua (4, 5).

Utilizando el método estático experimental del contenido de humedad en equilibrio, las muestras se colocan en recipientes cerrados a humedades relativas constantes, hasta alcanzar un equilibrio higroscópico, sin que haya circulación de aire; diversas sustancias químicas poseen características de retirar o ceder humedad del ambiente en que se encuentren, hasta que se alcanza un estado de equilibrio. Bajo este principio se trabaja con los métodos estáticos de humedad de equilibrio. Las sustancias que así se comportan se denominan materiales higroscópicos; y el contenido de humedad, cuando están en equilibrio con la atmósfera circundante, se conoce como contenido de humedad en equilibrio. El estado de humedad relativa se puede mantener constante al interior de recipientes herméticamente cerrados, con soluciones de ácidos y en soluciones saturadas de diferentes sales, las que han sido preferidas por diversos autores (6-8). Las ventajas son que la misma solución de una sal se puede usar con diferentes temperaturas, sin grandes variaciones en el valor de humedad relativa; son menos corrosivas que los ácidos y aunque el material pierda o gane humedad en cantidades relativamente grandes, las soluciones permanecen saturadas, siempre que se deje un depósito de sal en el fondo.

Un inconveniente del uso de sales es la dificultad de encontrar sales que cubran o abarquen toda la gama de humedades relativas que interesan.

Bajo alguna de las condiciones experimentales antes mencionadas se pueden obtener las curvas de equilibrio de incremento o pérdida de peso. De una manera generalizada para alimentos se puede decir que productos deshidratados alcanzan sus equilibrios de saturación a valores de  $aW$  de 0.60 máximo, otros alimentos semihúmedos como los granos, entre valores de 0.62-0.92, otros considerados húmedos como el azúcar o higroscópicos entre 0.92-0.99, ver figura 1 (1, 6, 9).



Aunque para diferentes tipos de alimentos es difícil definir un comportamiento teórico generalizado para describir con exactitud la sorción a intervalos amplios de  $aw$  debido a factores como la depresión de la  $aw$  de los alimentos, a las propiedades higroscópicas de sus numerosos constituyentes, a la atracción superficial del agua, así como a las diferentes interacciones del agua con los constituyentes del alimento y procesos como el calentamiento o pretratamientos (10).

## MATERIAL Y MÉTODO

### Muestras y tamaño de muestras

Se tomaron muestras de tres variedades comerciales de cereales para desayuno de la marca Kellogg's: hojuelas de arroz; hojuelas de trigo y hojuelas de maíz. Se analizaron tres paquetes por cada variedad de cereal, de un mismo lote y fecha de fabricación. De cada paquete de 1kg se tomaron por cada variedad de cereal una muestra representativa de tamaño "n", calculada a partir de la expresión (11):

$$n = [Z^2 \cdot p \cdot q \cdot N] / [N \cdot e^2 + Z^2 \cdot p \cdot q]$$

donde:

$n$  = tamaño de muestra a tomar en gramos (g).

$N$  = tamaño de la población en gramos (g).

$p$  = 0.95 y  $q$  = 0.05, como factores de probabilidad de muestra representativa.

$Z$  = 1.960 como valor estadístico para un 90% de nivel de confiabilidad.

$e$  = 0.05 como nivel de error de estimación.

De esta manera los tamaños de muestra ( $n$ ) de cada variedad de cereal para desayuno fueron de 65-70 g por paquete evaluado. Los tamaños de muestra fueron perfectamente homogenizados, triturados y tamizados a tamaños de 100 micras mediante juego de tamices Taylor y posteriormente por técnica de cuarteo se tomaron las fracciones de tamaños de muestras requeridos para los ensayos siguientes. En todos los casos las pruebas se realizaron como mínimo por triplicado.

### Contenidos de humedad

Se determinó la humedad inicial por la pérdida de peso en la muestra al ser sometida a calentamiento a una temperatura de 130°C por espacio de dos horas (12).

### Evaluaciones de las capacidades de adsorción

Las muestras se colocaron en recipientes cerrados a humedades relativas constantes, sin circulación de aire, hasta que se alcanza un estado de equilibrio. Se utilizaron las siguientes sustancias y soluciones saturadas de sales (13):

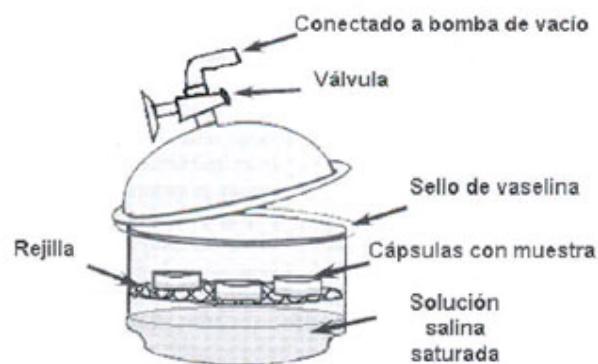
- Sílica gel indicadora coloreada con solución de  $\text{CoCl}_2$ , que garantiza una humedad relativa constante a 25°C de 10.0 %.
- $\text{CaCl}_2$  anhidro, garantiza una humedad relativa constante a 25°C de 35.0 %.
- $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , garantiza una humedad relativa constante a 25°C de 53.6%.
- $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , garantiza una humedad relativa constante a 25°C de 80.5%.

Las muestras previamente pesadas a aproximadamente un gramo, fueron sometidas primeramente a un proceso de desecado colocándose por espacio de 15 días en un armario deshumidificador (marca Sanplatec corp, modelo sampla, DRY KEEPER) hasta alcanzar humedades relativas < 5% y porcentajes de humedades mínimas en los productos en estudio. Con posterioridad las muestras fueron sometidas a la sorción de humedad en las cuatro condiciones de humedades relativas constantes, anteriormente citadas en un sistema como el ilustrado en la figura 2, a temperaturas entre 22-25°C. Se realizaron diferentes pesadas (rápidas para evitar la pérdida o ganancia de humedad) en el tiempo comenzando desde las primeras 24 horas y hasta 25 días. Con estos resultados se construyeron gráficos de sorción de humedad en el tiempo. Se calcularon además las capacidades de adsorción por

modelos matemáticos como el exponencial propuesto por Román (2002) y se comparó con el modelo Pilosof (14).

FIGURA 2

**Desecadoras preparadas para el control del medio de humedades relativas constantes con soluciones salinas saturadas**



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Evaluación de las propiedades de hidratación

Las muestras introducidas en el deshumidificador con el objetivo de homogenizar su humedad relativa durante 15 días (%HR<5), arrojaron los resultados que se observan en el cuadro 1, valor que se reporta como el día "cero" o inicio de los ensayos. En la aW (0.10), mantenida por medio de sílica gel, podemos analizar que los tres cereales para desayuno ceden humedad al medio; el cereal que mas desorbe es el de hojuelas de trigo (8.95g de agua/100g de masa seca); le sigue el cereal de hojuelas de arroz (8.01g de agua/100g masa seca); y finalmente el que menos desorbe a este valor de aW es el cereal de hojuelas de maíz (2.91g de agua/100g de masa seca); esto refleja correspondencia con los resultados de humedad inicial de los cereales (ver cuadro 2) donde el trigo reportó los mayores contenidos de humedad, seguido del arroz y por último el maíz, comportándose de igual manera para ceder humedad al medio. Las propiedades de hidratación de los cereales estudiados muestran claramente las capacidades higroscópicas de los mismos. Podemos observar a manera de ejemplo que para las aw de 0.35 los cereales estudiados ganan más del doble de su peso en tan sólo un día.

## CUADRO 1

Valores promedios de sorción de humedad en el producto vs tiempo en días para los tres cereales

Cereal Arroz								Valores medios							
% HR	Día 0	Día 1	Día 5	Día 10	Día 15	Día 20	Día 25	% HR	Día 0	Día 1	Día 5	Día 10	Día 15	Día 20	Día 25
10.0%	3.02	-4.21	-4.63	-5.02	-4.99	-4.99	-4.99	35.0%	3.38	6.31	7.30	7.88	7.81	7.82	7.52
53.6%	3.12	8.26	13.50	13.94	13.97	13.99	14.54	80.5%	3.19	9.25	20.49	21.18	21.31	21.54	22.10
Cereal Trigo								Valores medios							
% HR	Día 0	Día 1	Día 5	Día 10	Día 15	Día 20	Día 25	% HR	Día 0	Día 1	Día 5	Día 10	Día 15	Día 20	Día 25
10.0%	3.99	-3.99	-4.59	-4.80	-4.78	-4.98	-4.96	35.0%	3.21	6.39	9.00	9.08	8.86	9.25	9.35
53.6%	3.12	9.32	16.16	17.05	17.67	16.62	18.83	80.5%	3.19	13.15	24.48	24.99	25.25	25.90	25.96
Cereal Maíz								Valores medios							
% HR	Día 0	Día 1	Día 5	Día 10	Día 15	Día 20	Día 25	% HR	Día 0	Día 1	Día 5	Día 10	Día 15	Día 20	Día 25
10.0%	1.14	-1.20	-1.48	-1.69	-1.76	-1.77	-1.77	35.0%	1.16	4.61	6.75	6.54	6.19	6.85	6.56
53.6%	1.04	7.51	16.81	18.00	20.55	18.94	21.60	80.5%	1.11	11.09	35.44	35.83	36.33	36.83	36.88

Posteriormente se observa una ganancia más lenta y constante, señal de que los cereales están llegando al equilibrio con el medio que los rodea. Al final del equilibrio (después del día 15) se observa que el peso de los cereales se mantiene estable. Con base en los resultados obtenidos podemos decir que los cereales alcanzaron el equilibrio en o a partir del día 10.

Es importante señalar que el maíz absorbe grandes cantidades de agua a aw bajas en comparación con los otros cereales, esto se puede deber en gran medida a los altos contenidos de azúcares que contiene este cereal. En los alimentos de alto contenido en azúcares, el agua provoca transformaciones de fase de los azúcares contenida en el alimento. En aw bajas, el agua puede adsorberse sólo en la superficie en los sitios -OH de los azúcares y por ello el contenido de humedad es bajo; en caso contrario de aw altas, se produce la disolución de azúcares y existe entonces un incremento de sorción, y la transformación del azúcar cristalino en azúcar amorfo. Los solutos sólidos disueltos de azúcares absorben poca agua a baja aw (1, 10).

**CUADRO 2****Resultados experimentales de humedad**

Muestra	Humedad	Humedad Según Kellogg's
Arroz	4.07 (0.25)	3.00
Trigo	5.39 (0.26)	4.00
Maíz	2.57 (0.25)	2.00

A valores de mayores  $aW$  desde 0.35 y hasta 0.80, en los tres cereales se va produciendo un incremento en los valores de humedad adsorbida por los productos. Al finalizar los experimentos a los 25 días, es el maíz, el que más adsorbe, seguido del arroz y por último del trigo. Es importante remarcar que los cereales para desayuno estudiados, durante su proceso de fabricación sufrieron diferentes modificaciones que afectaron directamente la estructura esférica de los gránulos de almidón, componente principal en estos. Estas modificaciones generalmente afectan las propiedades de hidratación, lo que se corrobora con los resultados obtenidos en la distribución de tamaño de partícula de los almidones analizados y en las micrografías obtenidas; donde se observaron aglomerados de las partículas, que generalmente se asocia con los daños mecánicos y los cambios en la estructura del almidón. En los cereales de arroz y trigo se observa mayor cantidad de aglomerados de almidón, esto explica sus propiedades de hidratación.

Para el cereal de maíz casi no se perciben estos aglomerados por lo que este cereal cede menos humedad al medio y adsorbe más humedad que puede deberse a los menores valores de humedad inicial y a que presenta los más bajos contenidos de almidones y más altos contenidos de azúcares. Por ello el maíz, a valores de  $aw$  superiores a 0.53, manifiesta su máxima capacidad de adsorción de humedad, acorde a los más altos contenidos de azúcares de acuerdo a lo señalado por algunos autores (1, 6, 9).

Se puede apreciar que a partir del día 10 se alcanza prácticamente para los tres cereales el equilibrio de sorción. Es interesante resaltar que resultados similares en el comportamiento de adsorción para estos cereales, se han obtenido por otros autores para muestras muy diferentes como de productos lácteos o proteínas obtenidas a partir de ellos (13) o en granos de trigo (1).

**Evaluación de la capacidad de sorción o ganancia de agua por modelos matemáticos**

Los cambios de masa en las muestras durante un proceso de sorción-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. Utilizando un modelo exponencial propuesto y utilizado por Román y su comparación utilizando el modelo de Pilosof (14), se puede encontrar también la relación entre la capacidad de adsorción de vapor de agua y la humedad relativa en el equilibrio y es lo que se describe al utilizar los parámetros de la isoterma de GAB.

El modelo Pilosof está expresado por:

$$q(t) = \frac{Q^* t}{B + t}$$

donde:

$q(t)$  = Cambio de masa en la muestra (g de H<sub>2</sub>O/100g de materia húmeda)

$t$  = Tiempo en días

$Q$  = Capacidad de adsorción de agua en el equilibrio (% H<sub>2</sub>O)

$B$  = Tiempo (en días) necesarios para que la muestra absorba el agua según

su capacidad en el equilibrio por ejemplo  $B(t$  cuando  $q(t)(Q/2)$ )

El modelo Exponencial está expresado por:

$$M(t) = M_o \left[ 1 - e^{-\frac{t}{T_e}} \right]$$

donde:

$M(t)$  = Cambio de masa en la muestra (g de H<sub>2</sub>O/100g de materia húmeda).

$t$  = Tiempo en días.

$M_o$  = Capacidad de adsorción de agua en el equilibrio (%H<sub>2</sub>O).

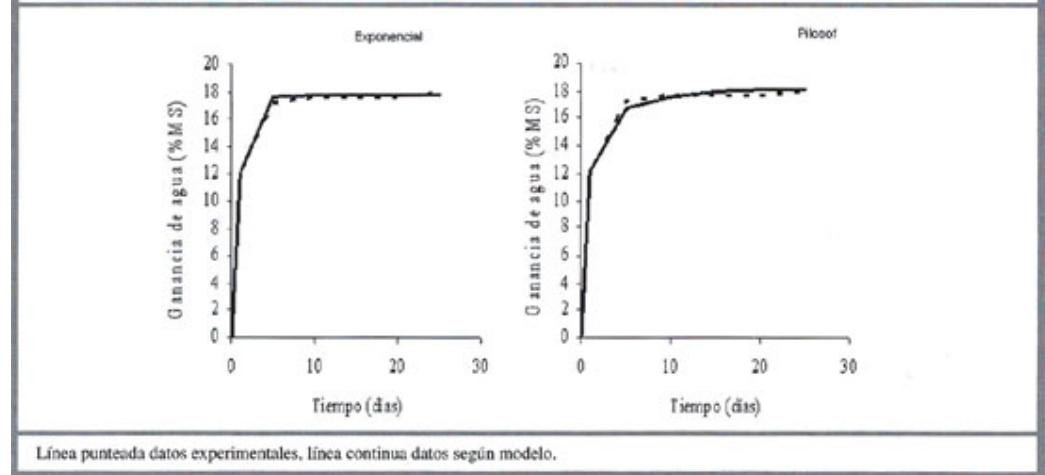
$T_e$  = Tiempo (en días) necesario para que la muestra adsorba el agua según

su capacidad en el equilibrio (por ejemplo  $T_e(t$  cuando  $M(t)(Q/2)$ ).

Utilizando los modelos mencionados se obtiene la gráficas de la figura 3, en este caso se muestra el resultado para el cereal de arroz a 53.6% de HR. El resto de las muestras a las diferentes HR tuvieron un comportamiento similar.

FIGURA 3

Gráficos comparativos de ganancia de agua vs tiempo, de los datos experimentales y los modelos exponencial y Pilosof.



En los cuadros (3a-3c) se aprecian los valores de las constantes para los modelos matemáticos, donde VI (velocidad de adsorción) se calculó a partir de los valores del porcentaje de adsorción de agua en función del tiempo al equilibrio, y R<sup>2</sup> (Coeficiente de correlación de la regresión). Se aprecian además, los valores de las constantes para los modelos matemáticos, donde VI (velocidad de adsorción) se calculó a partir de los valores del porcentaje de adsorción de agua en función del tiempo al equilibrio, y R<sup>2</sup> es el coeficiente de correlación de la regresión. También se observa que por ambos modelos se obtienen excelentes coeficientes de correlación mayores de 0.9. Además, a humedades relativas de 35% el trigo muestra la mayor capacidad de adsorción de agua con respecto a los otros cereales (arroz y maíz), aunque el cereal de arroz desarrolla una mayor velocidad de adsorción para alcanzar el equilibrio con el medio en menos tiempo.

CUADRO 3-a

Valores medios comparativos de agua adsorbida por masa seca (%), según los modelos Exponencial y Pilosof a 35% de HR para cada cereal.

PRODUCTO	HR. 35.0%							
	Modelo Exponencial				Modelo Pilosof			
	T <sub>0</sub>	M <sub>0</sub>	VI	R <sup>2</sup>	B	Q	VI	R <sup>2</sup>
Maíz	0.719	7.764	10.87	0.996	0.365	8.009	22.4	0.993
Trigo	0.663	12.72	19.18	0.998	0.31	13.06	42.14	0.998
Arroz	0.477	11.38	23.92	0.997	0.158	11.55	73.31	0.997

CUADRO 3-b

Valores medios comparativos de agua adsorbida por masa seca (%), según los modelos Exponencial y Pilosof a 53.6% de HR para cada cereal.

PRODUCTO	HR. 53.0%							
	T <sub>0</sub>	M <sub>0</sub>	VI	R <sup>2</sup>	B	Q	VI	R <sup>2</sup>
Maíz	2.17	21.01	9.68	0.979	1.67	23.39	14.04	0.989
Trigo	1.08	21.28	19.74	0.991	0.73	22.65	30.98	0.994
Arroz	0.92	17.67	19.22	0.998	0.56	18.50	33.42	0.998

CUADRO 3-c

Valores medios comparativos de agua adsorbida por masa seca (%), según los modelos Exponencial y Pilosof a 80.5% de HR para cada cereal.

PRODUCTO	HR. 80.5%							
	T <sub>0</sub>	M <sub>0</sub>	VI	R <sup>2</sup>	B	Q	VI	R <sup>2</sup>
Maíz	2.19	38.55	17.54	0.993	1.71	42.92	25.04	0.972
Trigo	1.19	29.50	24.74	0.998	0.80	31.40	39.07	0.996
Arroz	1.44	25.47	17.71	0.999	1.01	27.44	26.99	0.993

A humedad de 53.6% la mayor capacidad de adsorción de agua la experimenta igualmente el trigo y desarrollando la mayor velocidad de adsorción para alcanzar el equilibrio; seguida del arroz que además alcanza el equilibrio en menor tiempo, aunque con la menor capacidad de adsorción. El maíz se comporta de forma similar al trigo en cuanto a la capacidad de adsorción que desarrolla, a menor velocidad que los otros cereales (en mayor tiempo). Esto está asociado a que en el cereal de maíz se encontraron los mayores contenidos de azúcares, y se sabe que los productos ricos en azúcares no presentan altas velocidades de adsorción de agua a baja aW, aunque puedan presentar alta capacidad de adsorción, lo hacen mas lentamente; esto coincide lo reportado por algunos autores para otros alimentos ricos en azúcares que han manifestado comportamiento similar (7); y lo encontrado por Labuza en 1984 (1).

A 80.5% de HR se comportan de manera similar el maíz y el arroz en cuanto a la velocidad de adsorción, el arroz con la menor capacidad de adsorción; siendo el maíz el que desarrolla la mayor capacidad de adsorción. Esto esta dado por lo anteriormente descrito de los azúcares presentes en este cereal (maíz) y que a esta humedad se da la disolución de azúcares presentes, adsorbiendo las mayores cantidades de humedad y en mayor tiempo (más lentamente). El trigo por su parte desarrolla a esta humedad la mayor velocidad de

adsorción para alcanzar el equilibrio que los demás cereales, y con una capacidad de adsorción intermedia entre el maíz y el arroz.

Para el caso del arroz que a humedad relativa de 35% presentó la mayor velocidad de adsorción de agua y fue decreciendo de modo que a 53.6% de HR se comportó similar al trigo y para 80.5% de HR se comportó de forma similar al cereal de maíz. Este comportamiento similar (de arroz y trigo) se puede asociar (a 53.6%) a que en ambos cereales se encontraron similares contenidos de carbohidratos pero en cantidades de almidón, mayores que en el maíz.

Durante el proceso de fabricación de los cereales para desayuno sufren cambio en su propiedades físicas que pueden afectar a los macroconstituyentes principales, como es el caso del almidón. Dando como consecuencia modificaciones fisicoquímicas fuertemente asociadas a su capacidad de sorción. Es de gran relevancia asociar las capacidades de hidratación y las micrografías donde se ven aglomerados de almidón, los mayores volúmenes de aglomerados de almidones (micrografía) se observaron en el cereal de arroz, en el cual se encontraron los menores valores de capacidad de adsorción y de tamaño de partícula. Los mayores volúmenes de aglomerados de almidón, provocan que existan menos sitios disponibles para la adsorción de agua en las moléculas del cereal, generando por consecuencia una débil hidratación. Por lo que respecta al maíz nos damos cuenta que en la micrografía, presenta los menores volúmenes de aglomerados y en consecuencia las mayores capacidades de hidratación, con tamaños de partículas intermedias entre arroz y el trigo. Este último presentó los mayores tamaños de partículas, y sus valores de capacidad de hidratación y volumen de aglomerado estuvieron entre el cereal de arroz y el maíz.

## **CONCLUSIONES**

Los cereales para desayuno analizados reflejan claramente elevadas propiedades higroscópicas. A partir del décimo día, se alcanza el equilibrio de adsorción para los tres cereales estudiados. A valores de muy baja aW (0.10), los tres cereales para desayuno ceden humedad al medio, a valores de 0.53 y superiores, adsorben humedad del medio.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Labuza T. P. *Moisture Sorption: Practical aspects of isotherm measurement and use.* Editorial American Association of Cereal Chemists. Minnesota. 1984:1-7.
2. Waletzco P, Labuza T. P. *Acelerated shelf life testing of an intermediate moisture food system.* J Food Sci, 1976 (40): 137-139.
3. Zug, J. P. *Fisicoquímica especial. Isoterma de adsorción de tres etapas y modelos de sorción restringida.* Monografía N° 6. (2002). Ed. Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires, Argentina. Diciembre 2002: 61-68.
4. Sacchetti M. *Thermodynamic analysis of moisture sorption isotherms.* J Pharm Sci 1998, 87:982-986.
5. Bancour P and Daudin J. *Development of a new method for fast measurement of water sorption isotherms in the high humidity range validation on gelatine gel.* Food Eng 2000;44:97-107.

6. Jowitt, R. and Wagstaffe, P. J. The certification of the water content of microcrystalline cellulose (MCC) at water activities. Commission of the European Communities. Community Bureau of Reference. Bruselas. 1989.
7. Herman Lara, Erasmo. Modelación matemática de las isotermas de sorción en piña. Tesis de maestría en ciencia de los alimentos. Instituto tecnológico de Veracruz, México 1989: pp. 13 y pp. 45-52.
8. Blanco MA, Montero M de los A, Fernández M. Composición química de productos alimenticios derivados de trigo y maíz elaborados en Costa Rica. Arch Latinoam Nutr 2000; 50 (1):62-74.
9. Van der Berg, C. Bruin, S. Water activity in food systems. Theoretical aspects in water activity: Influence on food quality. L. B. Rockland & G. F. Stewarts Edit. Academic Press, New York 1981:1-62.
10. Román Gutiérrez, A. D. Predicción de las isotermas de porción de diferentes tipos de alimentos. Tesis de maestría en ciencia en ingeniería bioquímica. Instituto Tecnológico de Veracruz. México. 1998: 11-13.
11. Münch L, Ángeles E. Métodos y Técnicas de Investigación. Segunda Edición. Ed. Trillas México. (1997): 99-114.
12. AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. Volumen I. Edited by Kenneth Herlich. 1995: 78-79, 237, 247, 272.
13. Linko P, Pollari T, Harju M, Heikonen M. Water sorption properties and the effect of moisture on structure of dried milk products. Lebensm Wiss U Technol. 1981, (15):26-30.
14. Román Gutiérrez, A. D. Propriétés d'hydratation des farines de blé: approches dynamiques et à l'équilibre. These pour obtenir le grade de Docteur de l'école nationale supérieure agronomique de Montpellier. 2002:56-68.

---

*Correspondencia a:* Profesor Francisco Prieto G.

Centro de Investigaciones Químicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Carretera Pachuca-Tulancingo, km 4,5. Ciudad Universitaria, Pachuca, Hidalgo, México. e-mail: [prietog@uaeh.reduaeh.mx](mailto:prietog@uaeh.reduaeh.mx).

Este trabajo fué recibido el 25 de Abril de 2005 y aceptado para ser publicado el 30 de Julio de 2005.