

CINETICA DE ABSORCIÓN DE AGUA EN MAÍZ DURANTE EL REMOJO

Lara Nelly * y Giovanna Lescano

DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD, ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA, INIAP, QUITO ECUADOR, Telefax: 3007134.

*Coordinadora Proyecto AQ-CV-12: Investigación y desarrollo de alternativas alimenticias para consumo humano, basadas en maíz, banano, plátano y quinua, E-mail: nlara@interactive.net.ec

Palabras clave: Maíz, absorción de agua, Modelo Peleg, humedad de equilibrio.

RESUMEN

Grano de maíz de 10 genotipos, con variabilidad en el tipo de endospermo, fue sometido a remojo en agua a 25, 55 y 92°C. Los experimentos fueron conducidos para obtener la ganancia de agua en el grano, en función del tiempo hasta cerca del límite físico de saturación.

El modelo Raíz-X mostró buen ajuste con todos los datos de la curva de absorción de humedad frente al tiempo. El modelo de Peleg fue utilizado para estimar la cinética de absorción de agua en maíz durante el período de remojo. La constante de relación K_2 y la capacidad de absorción K_1 variaron por efecto de la temperatura y entre los genotipos de estudio. La humedad de equilibrio y el tiempo fueron significantes por influencia de la temperatura y estadísticamente similares en la mayoría de genotipos ($p < 0.05$). Las correlaciones de K_1 y K_2 con a_b demostraron el mantenimiento de la relación existente entre el modelo Raíz-X y el modelo Peleg.

INTRODUCCIÓN

El maíz, en alimentación humana, es un producto básico para muchas naciones en el mundo y debido a la gran variabilidad genética, facilita diversos usos en sus dos estados de madurez: choclo (maíz dulce) y grano seco (Terranova 1995). Como grano seco es utilizado en la extracción de endospermo destinado a la elaboración de cereal para desayuno (Caldwell 2000), almidón, jarabe de glucosa y productos tipo bocadito «snack» (Matz 1992). Otro uso de importancia es la elaboración de masa de maíz para tacos (Martínez-Bustos 2001, Laría et al., 2007) y tortillas tipo chips (Matz, 1992, Kawas & Moreira 2001). En menor proporción se tiene el uso en alimentos regionales como “mote”, “tostado” (Calderon 2003), maíz frito (Lara & Lescano 2004, Stanley 1993) y “morocho”.

Debido a la gran influencia en las etapas subsiguientes de elaboración y en la calidad de los productos finales (Matz, 1992), una fase previa de interés en las diferentes líneas de procesamiento de maíz seco, es el acondicionamiento del grano por absorción de humedad. La absorción de humedad está gobernada por la difusión de las moléculas de agua en el interior del grano (Datta 2007, Bello et al., 2007, Savapathy 2005, Bayram et al., 2004). Este fenómeno físico de transferencia de masa, hasta alcanzar el equilibrio entre la superficie y el centro del grano, es explicado por la segunda ley de Fick y algunas de las variaciones más simplificadas (Sopade et al., 2007a, Saguy et al., 2005). El modelo de Beker es utilizado para determinar la humedad de difusión en maíz (Lara & Lescano 2007, Verma & Prasad 1999, Charan & Prasad 1996). El Modelo de Peleg es aplicado para determinar la capacidad de absorción de humedad de otros granos y la rehidratación de alimentos deshidratados (Sopade et al., 2007b, Turhan et al., 2002). Todas estas aproximaciones deducidas de la ley de Fick intentan predecir la dependencia de la absorción de humedad en función del tiempo de hidratación, rehidratación o remojo, siendo el punto de partida de dichas estimaciones el gráfico de contenido de humedad versus tiempo. El objetivo de este estudio fue aplicar el modelo de Peleg para evaluar la absorción de humedad en maíz durante el remojo en agua a varias temperaturas.

CONSIDERACIONES TEORICAS

Absorción de humedad

El modelo de Peleg, Ec. (1), es una ecuación empírica no exponencial utilizada para la modelación de absorción de humedad (+) o secado (-) en diversos alimentos (Sopade et al 2007a, Turhan et al., 2002)

$$M = M_0 \pm \frac{t}{K_1 + K_2 t} \quad (1)$$

Donde: M es el contenido de humedad en el tiempo t , M_0 es el contenido de humedad inicial (g H₂O/ g bs), K_1 es la constante de relación de Peleg (h g bs/g H₂O), y K_2 es la capacidad de absorción de Peleg (g bs/g H₂O).

La relación de absorción K_1 puede ser obtenida desde la primera derivada de la Ec (1) cuando $t \rightarrow 0$ (Sopade et al 2007, Turhan et al 2002):

$$\frac{dM}{dt} = \frac{K_1}{(K_1 + K_2 t)^2} = \frac{1}{K_1} \quad (2)$$

La Ec (3) muestra la forma lineal del modelo Peleg:

$$\frac{t}{M - M_0} = K_1 + K_2 t \quad (3)$$

Cuando $t \rightarrow \infty$, en la Ec. (4) se tiene la humedad de equilibrio M_e :

$$M_e = M_0 + \frac{1}{K_2} \quad (4)$$

El tiempo correspondiente a la M_e , puede ser calculado desde la Ec (5), una alternativa lineal propuesta para obtener el término a_b del modelo planteado por Beker para difusión en sólidos de geometría arbitraria conocida (Verma & Prasad 1999):

$$M - M_0 = a_b \sqrt{t} \quad (5)$$

Donde: a_b corresponde a la pendiente o constante b del modelo estadístico Raíz-X con ordenada al origen a igual cero.

Correlación de K_1 y K_2 del modelo Peleg, Ec(3) frente a a_b obtenida del modelo Raíz-X, Ec. (5)

El modelo recíproco-XY, presentado en la Ec (6) es aplicable para validar la relación de K_1 versus a_b :

$$K_1 = \frac{1}{\left(a + \frac{b}{a_b}\right)} \quad (6)$$

Los modelos recíproco-Y y recíproco-X, presentados en las Ec. (7) y Ec. (8) son usados para validar las relaciones K_2 versus a_b .

$$K_2 = \frac{1}{(a + b a_b)} \quad (7)$$

$$K_2 = a + \frac{b}{a_b} \quad (8)$$

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Los genotipos: INIAP-101 (blanco suave, endospermo harinoso), INIAP-102 (blanco suave, endospermo harinoso), INIAP-122 (amarillo suave, endospermo harinoso), INIAP-124 (amarillo suave, endospermo harinoso), Zubay (blanco, endospermo semiduro, destinado a harina), INIAP-176 (amarillo duro, endospermo vítreo), INIAP-H551 (híbrido amarillo duro, híbrido, endospermo vítreo) y Morocho (blanco duro, endospermo vítreo) fueron obtenidos de lotes experimentales del Programa Nacional de Maíz del INIAP. Los genotipos Cuzco (blanco gigante, endospermo semiharinoso) y Chulpi (crema, endospermo vítreo) fueron adquiridos en el mercado local de venta al por mayor.

Sistema y pruebas de remojo.

Se utilizó un baño de agua (AG. Emmenbrücke-Lurzern, Salvis, Type: WB66, 110v) con control de temperatura de 0 a 100°C. Se probó el remojo del grano en agua a 25, 55 y 92°C. Muestras (200 g) con humedad inicial alrededor de 0.10 g H₂O/g bs, fueron colocadas en el baño de agua, en vasos de vidrio con 300 ml de agua. Cada hora se registró el peso de 10 granos libres de agua superficial y con precisión de 0.01g. En el caso de agua a 92°C, el peso fue registrado cada 30 minutos. Las pruebas concluyeron cuando no se registro incremento de peso en el grano. El contenido inicial de agua se utilizó para determinar por balance de material la ganancia de humedad (Lara & Lescano 2007). Se trabajó por triplicado con los 10 genotipos y los tres niveles de temperatura.

Absorción de humedad y análisis estadístico

Mediante la forma lineal del modelo Peleg y la Ec (4) se determinaron K_1 , K_2 y M_e . El tiempo correspondiente a M_e se obtuvo desde la Ec (5). El software Statgraphics Plus, versión 5.1 fue utilizado para el ajuste de modelos, correlaciones y análisis de varianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Absorción de humedad

El ajuste de las curvas de absorción de humedad versus tiempo mediante la Ec. (5), permitió determinar los valores de α_b . Los estadísticos correspondientes (Tabla 1) mostraron la validez de la relación entre las dos variables. La variación de α_b fue significativa ($p < 0.05$); siendo 81.62% por efecto de la temperatura y 14.78% debido a diversidad de genotipos.

Tabla 1. Variación de α_b y los estadísticos de validación

Factores		Estadísticos	
Temperatura (°C)*	α_b	R	R ₂
25	0.118 a	0.99	98.95
55	0.175 b	1.00	95.94
92	0.370 c	0.99	97.29
Genotipos**			
INIAP-101	0.221 ab	0.99	98.26
INIAP-102	0.210 ab	0.99	98.88
INIAP-122	0.188 ab	0.99	99.15
INIAP-124	0.179 a	0.99	98.23
Zhubay	0.288 cd	0.99	97.55
Cuzco	0.242 bc	0.99	98.44
INIAP-176	0.188 ab	0.99	97.91
INIAP-H551	0.184 ab	0.99	98.25
Morocho	0.188 ab	0.99	99.27
Chulpi	0.323 d	0.99	98.84

* Promedio (n=30), ** Promedio (n=9), Letras diferentes dentro de la columna, significa diferencias significativas (Tukey, p< 0.05)

La comparación entre genotipos de maíz (Tabla 1), evidenció la diferencia marcada entre Chulpi y el resto de materiales. Otro grupo diferenciado fue Zubay y Cuzco, los dos de endospermo semiharinoso. En cambio, entre los genotipos de endospermo harinoso y vítreo, estadísticamente, no se determinó diferencias. La graficación, parcializando el efecto de la temperatura permitió agrupar a los genotipos con tendencias coincidentes y superpuestas. Las curvas de absorción de humedad a 55°C fueron un buen ejemplo de diferenciación por grupos de genotipos (Figura 1).

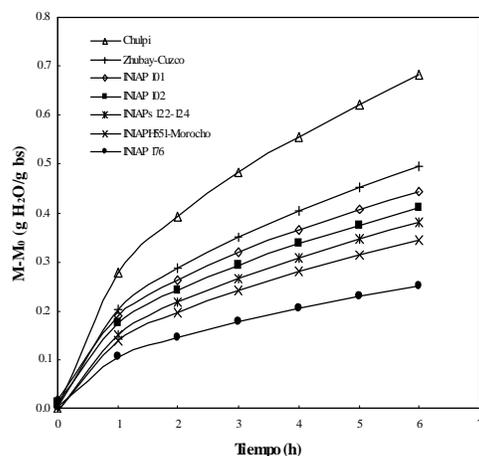


Figura 1. Absorción de humedad durante el período de remojo en agua a 55°C

K_1 y K_2 fueron obtenidas al transformar los resultados de absorción de humedad al modelo lineal de Peleg, Ec (3). Los estadísticos mostraron la validez para explicar la variabilidad de los resultados y la relación entre variables (Tabla 2). K_1 y K_2 disminuyeron significativamente en las pruebas de remojo a mayor temperatura. La comparación de K_1 y K_2 entre genotipos, mostró los grupos similares y diferentes con relativa aproximación a las similitudes y diferencias por tipo de endospermo, siendo evidente en Chulpi, Zhubay y Cuzco. Los materiales de endospermo harinoso y vítreo presentaron mayor diferenciación entre ellos.

Tabla 2. Variación de K_1 y K_2 y los estadísticos de validación

Factores		Modelo lineal Peleg		Estadísticos	
Temp. (°C)	K_1	K_2	r	R ²	
25	7.49 c	2.36 c	0.99	98.27	
55	4.91 b	1.75 b	0.99	98.49	
92	1.94 a	1.37 a	0.99	98.47	
Genotipos					
INIAP-101	4.45 bc	1.67 bc	0.99	98.40	
INIAP-102	4.99 cd	1.87 cd	0.99	98.40	
INIAP-122	4.74 cd	1.84 cd	0.99	98.40	
INIAP-124	5.16 de	1.95 de	0.99	98.40	
Zhubay	4.00 b	1.58 ab	0.99	98.40	
Cuzco	4.16 b	1.58 ab	0.99	98.40	
INIAP-176	5.68 e	2.17 e	0.99	98.40	
INIAP-H551	5.69 e	2.16 e	0.99	98.40	
Morocho	5.60 e	2.09 de	0.99	98.40	
Chulpi	3.31 a	1.35 a	0.99	98.49	

* Promedio (n=30), ** Promedio (n=9), Letras diferentes dentro de la columna, significa diferencias significativas (Tukey, p< 0.05)

La representación gráfica del modelo Peleg, promediada de los diez genotipos, mostró el efecto de la temperatura durante el período de remojo (Fig. 2). En el caso de las pruebas a 92°, a más de la absorción de humedad se observó hinchamiento del grano por cocción inicial. Según Lara y Lescano (2005), sólidos solubles en el agua a 92°C (0.03 a 0.06%) fue debido a la migración de sólidos disueltos desde el grano por efecto de la cocción.

Los valores de M_e (Tabla 3), determinados con la ecuación Ec. (4), presentaron tendencia creciente a mayor temperatura. La comparación entre genotipos principalmente ratificó la diferenciación de Chulpi. En el resto de materiales, aparentemente el límite físico de saturación de agua fue similar. El tiempo correspondiente a M_e fue estimado desde la Ec. (5), manteniendo significación y concordancia con la tendencia de α_b y M_e por influencia de la temperatura. Sin embargo a 92°C más que de remojo fue de precocción. Entre genotipos se observó que el tiempo requerido para alcanzar el límite físico de saturación de agua fue similar.

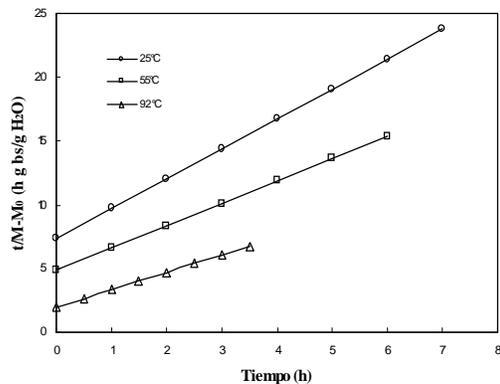


Figura 2. Modelación de Peleg para la absorción de humedad en maíz por efecto de la temperatura

Tabla 3. Estimación de M_e (g H₂O/g bs) y tiempo (h) en el límite físico de saturación de agua.

Factores	M_e	t
Temperatura. (°C)*		
25	0.56 a	13.9 c
55	0.70 b	12.1 b
92	0.86 c	5.8 a
Genotipos**		
INIAP-101	0.75 bcd	10.8 ab
INIAP-102	0.69 abcd	10.8 ab
INIAP-122	0.67 abcd	10.8 ab
INIAP-124	0.66 ab	10.8 ab
Zhubay	0.77 cd	10.3 a
Cuzco	0.78 de	10.8 ab
INIAP-176	0.60 a	10.8 ab
INIAP-H551	0.60 a	10.8 ab
Morocho	0.66 abc	11.0 b
Chulpi	0.88 e	9.5 a

* Promedio (n=30), ** Promedio (n=9), Letras diferentes dentro de la columna significan diferencias significativas (Tukey, p<0.05)

Correlación de K_1 y K_2 frente a α_b

El análisis por regresión simple de K_1 versus α_b mostró que el modelo recíproco-XY, Ec (6) describe la relación existente entre los dos parámetros, tanto para el factor temperatura como entre genotipos. Los estadísticos r y R^2 variaron de -0.93 a -0.99 y de 86.58 a 99.99%, respectivamente, siendo más altos los valores para la curva promedio del factor temperatura (Fig. 3). La relación entre K_1 y α_b fue estadísticamente significativa con valores de probabilidad inferiores a 0.01.

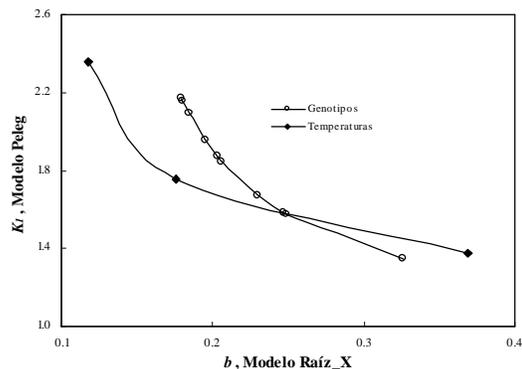


Figura 3. Correlación negativa entre K_1 y α_b o b .

Los modelos recíproco-Y, Ec (7) y recíproco-X, Ec. (8) se ajustaron mejor a la variabilidad de K_2 frente a α_b entre productos y por efecto de la temperatura, respectivamente (Fig. 4). Los estadísticos r y R^2 del modelo recíproco-Y fueron de 0.94 y 89.24%, respectivamente. En el modelo recíproco-X, r fue 0.99 y R^2 99.97%. En los dos modelos la relación entre variables fue significativa ($p < 0.01$).

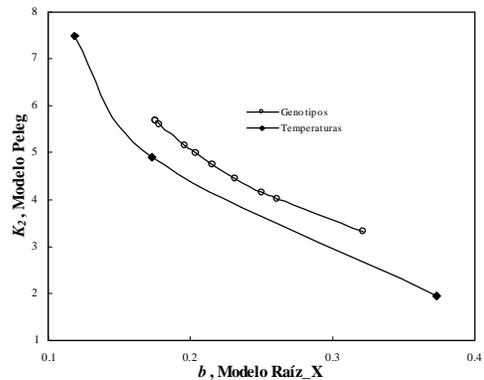


Figura 4. Correlación negativa entre K_2 y α_b o b

CONCLUSIONES

La pendiente α_b , la constante de relación inicial K_1 y a la capacidad de absorción K_2 describieron con bastante aproximación la cinética de absorción de agua en el grano de maíz. Principalmente a 25 y 55°C, la estimación de M_e y del tiempo requerido para el límite físico de saturación de agua fueron teóricamente aceptables. La tendencia fue creciente entre el efecto de la temperatura y los valores de α_b , $1/K_1$, $1/K_2$, M_e y tiempo. Entre genotipos, la especificidad de la matriz de endospermo influyó en la absorción de humedad. La relación de origen de K_1 , K_2 y α_b fue demostrada con las correlaciones de K_1 y K_2 , frente a α_b .

AGRADECIMIENTOS

Proyecto PROMSA del Ministerio de Agricultura y Ganadería, CORPOINIAP y Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, Quito, Ecuador.

REFERENCIAS.

- Bayram, M., Öner, M.D., & Kaya, A. (2004) J. Food Eng. 61:331-339.
- Bello, M.O., Tolaba, M.P., & Suarez, C. (2007) Food Sci. Tech. 40:313-318.
- Calderon D. (2003) Optimización del proceso de obtención de un snack en base a maíz tostado. Escuela Politécnica Nacional, Quito
- Caldwell, E.F., Fast, R.B., & Faubion, J. (2000) The cereal grain. In R.B. Fast, E.F. Caldwell (Eds.), Breakfast cereal and they are made (2nd ed. pp. 1-15). St. Paul, Minnesota.
- Charan, R. & Prasad, S. (1994) J. Food Sci. Tech. 33:384-388.
- Datta, A.K. (2007). J. Food Eng. 80: 80-95.
- Kawas M.L. & Moreira R.G. (2001) J. Food Sci. 66:300-306.
- Laria, J., Meza, E., & Peña, J.L. (2007). J. Food Eng. 78:288-295.
- Lara, N., & Lescano, G. (2004) RicoMaíz crocantiño. Plegable técnico científico No. 219, Estación Experimental Santa Catalina, Quito.
- Lara N. & Lescano G. (2007) Water absorption and kinetics of moisture diffusion by effect of temperature and maize genotypes variability, Manuscrito.
- Lara N. & Lescano G. (2005). Efecto del acondicionamiento (remojo) sobre la textura interna del grano de maíz, Manuscrito.
- Martínez-Bustos, F., Martínez-Flores, H.E., Sanmartín-Martínez, E., Sánchez-Sinencio, F., Chang, Y.K., Barrera- Arellano, D., & Rios, E. (2001) J. Sci. Food Agri. 81:1455-1462.
- Matz S.A. (1992) Snack food technology. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 133-184.
- Sabapathy, N.D. (2005) Heat and mass transfer during cooking of chickpea – measurement and computational simulation (158 p. Thesis of Master of Science). Saskatoon, Saskatchewan.
- Saguy, I.S., Marabi, A., & Wallach, R. (2005) Trend Food Sci. Tech. 16: 495-506.
- Sopade, P.A., Liang, S., Halley, P.J., Cichero, & Ward, L. (2007a) Euro. Food Research Tech. 224:555-560.
- Sopade, P.A., Xun, P.Y., Halley, P.J., & Hardin, M. (2007b). J. Food Eng. 78: 730-734.
- Stanley, A. (1993). Heat expanded whole kernel corn snack food. US Patent No. 077020.
- Terranova Ediciones (1995) Enciclopedia agrícola, Tomo II, Santa Fe de Bogota, pp. 110-114
- Turhan, M., Sayar, S., & Gunasekaran, S. (2002) J. Food Eng. 53:153-159.
- Verma, R.C., & Prasad, S. (1999) J. Food Eng. 39:395-400.