

HUMEDAD DE EQUILIBRIO DE ARROZ PADDY, VARIEDAD ORO, A TEMPERATURAS DE 10°, 25° Y 40°C¹

Equilibrium moisture to rough rice, variety Oro, to 10°, 25°, and 40°C temperatures

Ricardo Muñoz C.² y Patricia Rebufel A.²

SUMMARY

At the La Platina Experiment Station (INIA) were obtained the equilibrium moistures at 10°, 25°, and 40°C temperatures for rough rice variety Oro using the static method of saturated salt solutions. The mean and maximum difference were determined between the experimental values and the estimated for the Henderson Modified and Chung - Pfof models. The experimental data were adjusted to the Henderson Modified model. The mean and maximum difference according to Henderson Modified model was 5.13 and 10.82 % and Chung - Pfof model were 5.56 and 12.77 %, respectively. The model Henderson Modified calculated was

$$H = 1/100 [\ln(1-HR)/(-2.712 \times 10^{-5} \times (T + 40.32191))]^{1/2.32574}$$

INTRODUCCION

Los granos son de naturaleza higroscópica, es decir ganan o pierden agua, según sus condiciones internas de humedad y las del ambiente que los rodea. El grano gana humedad (adsorción) cuando la presión parcial del vapor de agua en el aire circunscrito, es más alta que la presión parcial en el grano, en caso contrario, este pierde humedad ("desorción"). Cuando la presión de vapor de agua existente en el grano es igual a la presión de vapor de agua del aire que lo rodea, no existe transferencia de humedad y el grano alcanza la humedad de equilibrio, por tanto la humedad relativa que rodea al grano, es llamada humedad relativa de equilibrio o también denominada actividad de agua (Day y Nelson, 1965; Lasseran, 1978; Hall, 1980).

El contenido de humedad de equilibrio es importante en la aplicación y optimización de los procesos de secado y almacenaje de granos. En el secado determina el contenido de humedad mínimo al que puede llegar el grano, secado bajo condiciones específicas de humedad y temperatura del aire; y en almacenaje apoya los criterios para las tecnologías de conservación de granos (Henderson y Perry, 1976; Lasseran, 1978; Brooker, Baker-Arkema y Hall, 1978; Hall, 1980).

La relación cuantitativa existente entre la humedad de equilibrio de los granos y la humedad relativa del aire que le rodea a temperatura constante, se expresa en una isoterma de equilibrio que puede ser obtenida en desorción o adsorción (Escardino, Font y Monton, 1978; Rossi y otros, 1981).

A nivel nacional no existe antecedentes sobre valores experimentales de humedad de equilibrio en granos sometidos a condiciones ambientales específicas; en consecuencia, se desconoce si los modelos señalados en la literatura, para predecir la humedad de equilibrio de productos agrícolas, representan adecuadamente los valores de los granos locales. Esto es importante puesto que, desviaciones del comportamiento real en la estimaciones de la humedad de equilibrio, puede afectar la aplicación y optimización de las tecnologías de postproducción de granos, ya que la calidad de los granos almacenados, generalmente es preservada por ajustes de la actividad de agua, a límites bajo los cuales se inhibe la actividad de agentes causantes de deterioro (Pollio, Resnik y Chirife, 1987). Numerosas publicaciones científicas citadas por Resnik (1989) han demostrado que el crecimiento de hongos en granos almacenados, no depende del contenido absoluto de agua, sino de la disponibilidad biológica de la misma. Se señala que si las condiciones de almacenaje son óptimas, un correcto almacenamiento se lograría a valores de actividad de agua, de 0,65, señalado como límite

¹Recepción de originales: 19 de abril de 1990.

²Estación Experimental La Platina (INIA), Casilla 439, Correo 3. Santiago, Chile.

de estabilidad microbiológica, o, lo que es lo mismo, a una humedad relativa de equilibrio de 65% (Lasseran, 1978; Resnik, 1989).

El presente trabajo planteó los siguientes objetivos:

- Determinar experimentalmente la humedad de equilibrio en fase desortiva para arroz paddy, variedad Oro, a temperaturas de 10°, 25° y 40°C.
- Comparar los valores experimentales de humedad de equilibrio con los estimados al aplicar los modelos Henderson modificado y Chung - Pfof (ASAE, 1983).
- Ajustar los datos experimentales al modelo Henderson modificado.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo se desarrolló en el Laboratorio de Postcosecha de la Estación Experimental La Platina, perteneciente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

Para determinar la humedad de equilibrio del arroz paddy, se utilizó el método estático de soluciones salinas saturadas (Hall, 1980). Se emplearon tres cámaras con temperaturas controladas a 10°, 25° y 40°C y cinco niveles de humedad relativa por cada temperatura. Las soluciones salinas saturadas de cloruro de mercurio hexahidratado ($MgCl_2 + 6H_2O$), carbonato de potasio (K_2CO_3), bromuro de sodio (NaBr), cloruro de sodio (NaCl) y cloruro de potasio (KCl), proporcionaron los niveles de humedad relativa, que según el nivel de temperatura y tipo de solución, varió de 32,1 a 88,4%, de acuerdo a valores señalados por Wink (1946), Wink y Sears (1950), Wexler y Hasegawa (1954), Rockland (1960), Hall (1957) y Hall (1980).

Se seleccionó granos enteros y sanos de arroz paddy, variedad Oro (grano corto) provenientes de cosecha con contenido de humedad adecuado para obtener el equilibrio en desorción. Luego los granos se colocaron en el sistema estático en triplicado, correspondiente a cada nivel de temperatura y de humedad relativa. En forma periódica se pesaron los granos en una balanza analítica hasta llegar a peso constante, según lo señalado por Rossi y Roa (1980). Finalmente los granos se retiraron para determinar el contenido de humedad mediante el método del horno (100°C, 72 hr).

Se calculó el promedio de los datos experimentales de humedad de equilibrio, para cada condición de

temperatura y humedad relativa, los que se compararon en base materia seca, con los estimados por los modelos Henderson modificado (1) y Chung - Pfof (2).

$$H = 1/100 [\ln(1-HR)] / -1,9187 \times 10^{-5} \times (T + 51,161)]^{1/2,4451} \quad (1)$$

$$H = 0,29394 - 0,046015 \times \ln[-(T + 35,703) \times \ln(HR)] \quad (2)$$

donde:

H = Humedad de equilibrio en decimal, base materia seca.

T = Temperatura, °C.

HR = Humedad relativa en decimal.

La comparación se realizó mediante la diferencia media y máxima entre los valores experimentales y estimados, de acuerdo a la siguiente expresión (Rossi y otros, 1981):

$$D = |H_e - H_m| / H_e \times 100 \quad (3)$$

donde:

D = Diferencia absoluta, %

H_e = Humedad de equilibrio experimental, %

H_m = Humedad de equilibrio estimada según modelo, %

Las isoterms de equilibrio se obtuvieron ajustando los datos experimentales al modelo Henderson modificado a través del procedimiento computacional de regresión no lineal (NLIN) del sistema SAS (1988). Posteriormente, se comparó la humedad de equilibrio experimental con la estimada por el modelo señalado. Esta comparación se basó en el cálculo de error máximo y medio relativo, de acuerdo al criterio empleado por Rossi y otros (1981) (ecuación 3).

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se observa que las menores diferencias medias y máximas calculadas para cada temperatura, las registró el modelo Henderson modificado. Las diferencias entre los valores experimentales y los estimados, variaron en forma inversa con la temperatura.

Las isoterms de equilibrio generadas, con los datos experimentales, ajustados al modelo Henderson modificado (4), proporcionaron un error relativo medio y máximo de 2,43 y 5,39%,

CUADRO 1. Diferencia media y máxima (%) para cada temperatura entre la humedad de equilibrio experimental y la estimada por los modelos Henderson modificado y Chung - Pfof para arroz paddy, variedad Oro

TABLE 1. Mean and maximum difference (%) by each temperature between experimental equilibrium moisture and estimated by Henderson Modified and Chung - Pfof models for rough, rice variety Oro

Diferencia	Modelos	Temperaturas °C			
		10	25	40	Total
Media	Henderson modificado	7,32	4,98	3,08	5,13
	Chung - Pfof	7,77	5,88	3,03	5,56
Máxima	Henderson modificado	10,82	8,46	5,94	10,82
	Chung - Pfof	12,77	9,84	5,56	12,77

respectivamente. Estos valores son menores a los señalados por Rossi y Roa (1980) citado por Rossi y otros (1981), los cuales son del orden de 3 a 4% y de 10 a 12 % para error relativo medio y máximo, respectivamente. Sin embargo, estos indicadores de precisión del modelo, para estimar la humedad de equilibrio, están por sobre lo señalado por Rossi y Roa (1980) al utilizar los datos experimentales de Rodríguez - Arias (1956), para maíz, obteniendo un error medio de 0,39% y un máximo de 1,24%.

$$H = 1/100 [\ln(1-HR)/-2,712 \times 10^{-5} \times (T + 40,32191)]^{1/2,32574} \quad (4)$$

Si se considera temperaturas factibles de encontrar en condiciones de almacenamiento de 10° y 25°C, el valor de la humedad de equilibrio de arroz paddy, variedad Oro, estimada cuando la humedad relativa

es de 65% (límite de estabilidad microbiológica), según modelo Henderson modificado (4), es de 17,42 y 15,57% base materia seca, respectivamente (Figura 1).

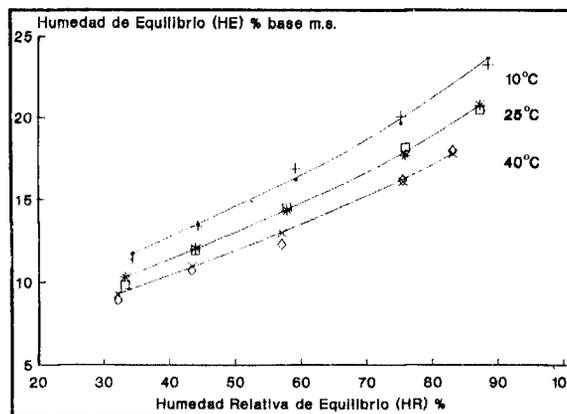


FIGURA 1. Isoformas de equilibrio de desorción determinada por el modelo Henderson modificado para arroz paddy, variedad Oro a temperaturas de 10, 25 y 40°C.

FIGURE 1. Desorption equilibrium isotherms for rough paddy variety Oro to 10, 25 and 40°C temperatures determined by Henderson modified model.

CONCLUSIONES

- Las diferencias relativas medias y máximas entre los valores experimentales y los estimados por los modelos Henderson modificado y Chung - Pfof, variaron en forma inversa con la temperatura. Las menores diferencias las registró el modelo Henderson modificado.
- Los valores experimentales de humedad de equilibrio obtenidos en desorción se ajustaron satisfactoriamente al modelo Henderson modificado siguiente:

$$H = 1/100 [\ln(1-HR)/-2,712 \times 10^{-5} \times (T + 40,32191)]^{1/2,32574}$$

RESUMEN

En la Estación Experimental La Platina (INIA) se determinaron las humedades de equilibrio para arroz paddy, variedad Oro, mediante el método estático de soluciones salinas saturadas a temperaturas de 10°, 25° y 40°C. Se calculó las diferencias medias y máximas entre los valores experimentales y los estimados por los modelos Henderson modificado y Chung - Pfof. Los valores experimentales de la humedad de equilibrio se ajustaron al modelo Henderson modificado.

La diferencia media y máxima, según modelo Henderson modificado, fue de 5,13 y 10,82% y, para el modelo Chung - Pfof, fue de 5,56 y 12,77%, respectivamente. El modelo Henderson modificado calculado fue:

$$H = 1/100 [\ln(1-HR)/-2,712 \times 10^{-5} \times (T + 40,32191)]^{1/2,32574}$$

LITERATURA CITADA

- ASAE-AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. 1983. *Agricultural Engineers Yearbook of Standards*. American Society of Agricultural Engineer ASAE. 318 p.
- BROOKER, D.B., BAKKER - ARKEMA, F.W., and HALL, C.W. 1978. *Drying cereal grains*. Second printing. The Avi Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. EUA. 265 p.
- DAY, D.L. and NELSON, G.L. 1965. Desorption isotherms for wheat. *Transactions of the ASAE* 8:293-297.
- ESCARDINO, A., FONT, R. y MONTON, J. 1978. Deseccación de granos de leguminosas. I Determinación de las humedades de equilibrio de granos de habas y guisantes. *Rev. Agroquim. Tecnol. Alim.* 18(4): 499 - 505.
- HALL, C.W. 1980. *Drying and storage of agricultural crops*. The Avi Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut, EUA. 381 p.
- HALL, C.W. 1957. *Drying farm crops*. The Avi Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut, EUA.
- HENDERSON, S.M. and PERRY, R.L. 1976. *Agricultural process engineering*. Third Edition. The Avi Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut, EUA. 442 p.
- LASSERAN, J. CL. 1978. Principios gerais de secagem. *Revista Brasileira de Armazenamento* 3 (3): 17-46.
- POLLIO, M.L., RESNIK, S.L., and CHIRIFE, J. 1987. Water sorption isotherms of soybean varieties grown in Argentina. *International Journal of Food Science and Technology* 22: 335-338.
- RESNIK, SILVIA 1989. Factores que inciden en la aparición de micotoxinas desde la producción primaria hasta el almacenamiento. En: Programa de Postcosecha, Estación Experimental La Platina, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Jornada Nacional sobre Micotoxinas y Micotoxicosis. Serie La Platina Nº 13, Santiago, 19-21 de abril. p.: 25-40.
- ROCKLAND, L.B. 1960. Saturated salt solutions for static control of relative humidity between 5° and 40°C. *Analytical Chemistry* 32 (10): 1.375-1.376.
- ROSSI, S.J. and ROA, G. 1980. Secagem e armazenamento de produtos agropecuários com uso de energia solar e ar natural. Secretaria da Indústria, Ciência e Tecnologia, Academia de Ciência do Estado de Sao Paulo. Publicacao ACIEP Nº 22. 295 p.
- ROSSI, S.J., FIOREZE, R., DE SOUZA C., V.M. y RAMALHO DE FARIAS, H. 1981. Curvas de teor de umidade de equilibrio e calor latente de vaporizacao para castanhas de caju e raspas de mandioca. *Revista Brasileira de Armazenamento* 6 (2):5-10.
- SAS-STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. 1988. *SAS/STAT User's Guide, Release 6.03 Edition*. Copyright by SAS Institute Inc., Cary, NC. EUA. Chapter 23.
- WEXLER, A. and HASEGAWA, S. 1954. Relative humidity - temperature relationships of some saturated salt solutions in the temperature range 0° to 50°C. *Journal of Research of the National Bureau of Standards* 53(1): 19- 26.
- WINK, W. A. 1946. Determining the moisture equilibrium curves of hygroscopic materials. *Industrial and Engineering Chemistry* 18 (4): 251-252.
- WINK, W.A. and SEARS, G.R. 1950. Instrumentation studies LVII. Equilibrium relative humidities above saturated salt solutions at various temperatures. *TAPPI* 33 (9): 96 -99.