

ISOTERMAS DE EQUILIBRIO DE SEMILLAS MAIZ (*Zea Mays L*)

Susana Calderón, Nélide Fraga, Eduardo Hernández, María del Carmen Alonso y María Figueroa

Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT), Cuba
[email:scalderon@inifat.co.cu](mailto:scalderon@inifat.co.cu)

RESUMEN

La determinación de la actividad del agua en las semillas es indispensable en su proceso de secado y almacenamiento, ya que, con la humedad aumenta el ataque de hongos y microorganismos. Ésta relación juega un papel importante para la elección de las condiciones más adecuadas de temperatura para su almacenamiento y secado, siendo un aspecto muy importante la humedad de equilibrio. Las semillas son higroscópicas y absorben o liberan humedad, dependiendo del ambiente donde se les coloque y su contenido de humedad final se estabiliza cuando éstas se exponen a un ambiente específico por un periodo determinado, lo cual se conoce como "humedad de equilibrio". Esta depende del tipo de semillas, de la temperatura y la humedad relativa (HR) del aire circundante. Si el contenido de humedad de la semilla es alto, mayor que el de la humedad de equilibrio para un ambiente dado, la semilla liberará humedad al ambiente, si por el contrario es menor, entonces absorberá humedad del aire. Se utilizaron soluciones salinas saturadas que proporcionaron diferentes humedades relativas (HR), lo que nos permitió determinar la humedad de equilibrio de variedades de maíz (*Zea Mays L*) a diferentes humedades relativas del aire a 30°C, se construyeron las curvas de adsorción y desorción de las mismas. Las curvas experimentales fueron ajustadas con los modelos de Henderson y Chung-Pfost.

Palabras claves: isotermas de equilibrio, humedad de equilibrio, modelos matemáticos

ABSTRACT

The knowledge of relation between seed water content and the air relative humidity value is necessary to study seed's sorption and desorption kinetics. These relations try out and important roll to selection of better conditions of temperature for dry and store. The seeds are hygroscopic, absorber and free humidity to depend on environment where they are. Its final humidity it's stabilized when this seeds are exposed front to specific environment for determined time. In this test salts solutions were used and witch different relative humidity values (HR), such as permit to determine the equilibrium humidity of species. In this paper we determine the equilibrium humidity to different corn varieties (*Zea maiz L*) at different air relative humidity values to 30°C. The experimental shapes were adjusted with the models of Chung-Pfost and Henderson.

Key words: equilibrium isotherm, equilibrium humidity, mathematics models

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las relaciones de equilibrio de la semilla en el sistema sólidos-agua-aire es muy necesario para poder interpretar los mecanismos cinéticos que contribuyen a la adsorción y desadsorción de agua en los granos. Esta relación juega un importante papel en la elección de la humedad y las condiciones de temperatura más adecuadas para el almacenamiento y secado de las semillas (Roberts y Ellis, 1989).

La humedad relativa se puede mantener constante en el interior de recipientes herméticamente cerrados, con soluciones salinas saturadas. En estas condiciones los granos se secarán o absorberán agua hasta lograr el contenido de humedad de equilibrio con la humedad relativa del aire circundante. Esta humedad relativa es donde el contenido de humedad del grano es estable.

Para obtener un almacenamiento eficiente los granos deben tener un bajo contenido de humedad, ya que los granos húmedos constituyen un medio ideal para el desarrollo de microorganismos insectos y ácaros.

En el presente trabajo se determinaron las curvas de equilibrio de granos de maíz (*Zea mays L*) a diferentes humedades relativas del aire a 30°C, los resultados obtenidos se correlacionaron con las ecuaciones propuestas en la bibliografía para las isotermas de adsorción.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron semillas de maíz (*Zea mays L*) de las variedades Francisco mejorado, Gibara. Sanjuanero, procedentes del banco de germoplasma del INIFAT.

El equilibrio higroscópico fue obtenido a la temperatura de 30°C. Las isotermas de adsorción y desadsorción se construyeron colocando las semillas en desecadoras con soluciones salinas saturadas a 30°C (Vertucci y Ross, 1990). (Tabla1).

Tabla 1.- Solución salina (Porcientos que aportan)

Solución salina	% de humedad
Cloruro de magnesio hexahidratado	32
Nitrito de potasio	50
Nitrito de sodio	63
Acetato de sodio anhidro	71
Cloruro de potasio	86
Hidrogeno fosfato de amonio	92
Agua	100

La humedad relativa de cada tratamiento se logró mantener constante conservando herméticamente cerrado los recipientes. Fueron utilizados aproximadamente 200g de muestra para cada prueba. Las mismas se realizaron por triplicado, calculándose las medias Durante los procesos de desadsorción y adsorción las muestras fueron pesadas cada 24h, hasta lograr un peso constante considerando que las muestras habían alcanzado el equilibrio higroscópico. Para el ajuste de las isotermas se utilizaron los modelos de Henderson modificada y Chung-Pfost (Fortes y Okos, 1981).

Modelos para el ajuste de las isotermas

$$\text{Henderson modificada } H_E = \frac{1}{100} \left[\frac{\ln(1-\phi)}{-C_1(T+C_2)} \right]^{1/C_3} \quad (1)$$

$$\text{Chung-Pfost } H_e = d_1 - d_2 (\ln(T+d_3) \ln\phi) \quad (2)$$

Donde:

H_e contenido de humedad de equilibrio

Φ humedad relativa se expresa en decimal

Tabla 2.- Parámetros de la ecuación de Henderson modificada y de Chung-Pfost para el maíz (Marques J.A. y Masal O., 1991)

Parámetros de la ecuación de Henderson modificada para el maíz			Parámetros de la ecuación de Chung-Pfost para el maíz		
C_1	C_2	C_3	d_1	d_2	d_3
8,6541	49,810	1,8634	0,33872	0,058970	30,205

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores medios de adsorción y desadsorción se graficaron contra el tiempo obteniéndose las isotermas de adsorción y desadsorción, las cuales se muestran en las figuras 1,2 3 (cv Francisco Mejorado, cv Gibara y cv Sanjuanero). Todos los cultivares alcanzaron la humedad de equilibrio con un 71% de humedad relativa del aire. Las semillas no se deterioraron con la presencia de hongos al alcanzar las 192 horas en las humedades relativas de 92% y 100% como las semillas de sorgo y soya (Calderón et al., 2000) y las semillas de garbanzo (Calderón et al., 2006).

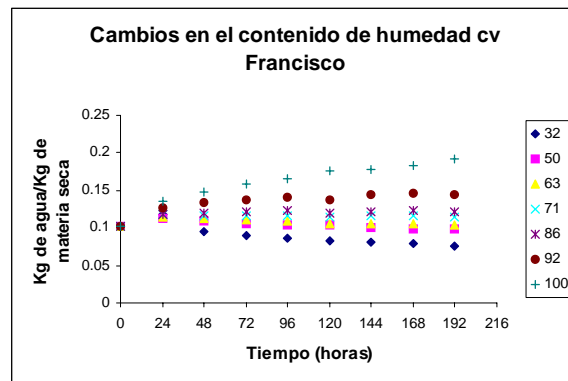


Fig.1 Cambios en el contenido de humedad cv Francisco Mejorado.

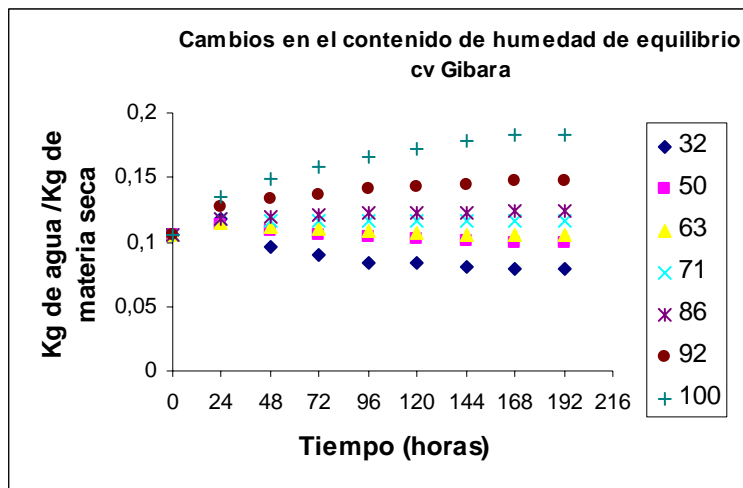


Fig 2 Cambios en el contenido de humedad cv Gibara

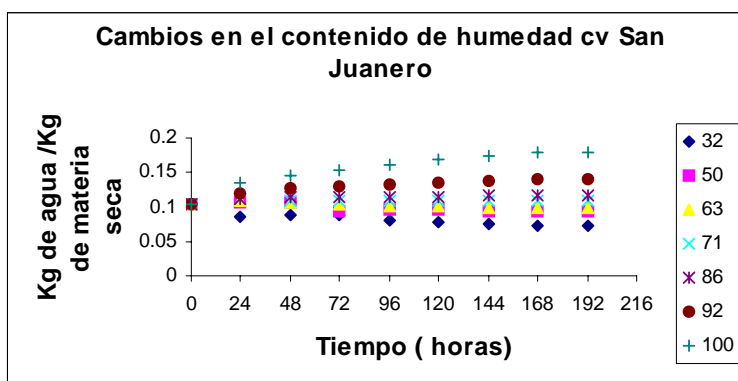


Fig 3 Cambios en el contenido de humedad cv Sanjuanero

Las humedades de equilibrio obtenidas se presentan en la tabla 3. Para todos los cultivares la humedad varía desde aproximadamente 7,0% hasta 20,0 %. Los valores obtenidos para los parámetros c y d en las variedades con ambos modelos se muestran en las tablas 4 y 5, los cuales varían en dependencia de la variedad. Las curvas construidas fueron ajustadas con ambos modelos matemáticos. Los valores de R^2 obtenidos en el ajuste realizado con la ecuación de Chung-Pfost resultaron superiores que los R^2 obtenidos con la ecuación de Henderson modificada.

Tabla 3.- Humedades de equilibrio de las variedades (Francisco Mejorado, Gibara y Sanjuanero)

Variedades	32%	50%	63%	71%	86%	92%	100%
Francisco Mejorado	7.5	9.8	10.3	11.4	12.2	14.5	19.2
Gibara	7.9	9.9	10.5	11.6	12.4	14.6	18.3
Sanjuanero	7.3	9.3	10.9	10.9	11.7	13.9	18.0

Los valores obtenidos para c y d se muestran en las tablas 4 y 5

Tabla 4.- Parámetros de la ecuación de Henderson modificada para las variedades de maíz (Francisco mejorado, Gibara y San Juanero)

Variedades	C ₁	C ₂	C ₃	R ²
Francisco Mejorado	8,6541	45,810	1,8834	0,9778
Gibara	8,6541	46,312	1,8134	0,9677
Sanjuanero	8,6541	47,321	1,9143	0,9879

Tabla 5 Parámetros de la ecuación de Chung-Pfost para las variedades de maíz (Francisco mejorado, Gibara y Sanjuanero)

Variedades	d ₁	d ₂	d ₃	R ²
Francisco Mejorado	0,33872	0,058965	30,203	0,9901
Gibara	0,33872	0,057901	29,879	0,9688
Sanjuanero	0,33872	0,058968	30,204	0,9979

En las figuras 4,5 y 6 se muestran las isotermas de equilibrio de las variedades estudiadas (cv Francisco Mejorado, cv Gibara, cv Sanjuanero) obtenidas respecto a ambos modelos matemáticos (Chung Pfost – Henderson). Las mismas muestran la apariencia sigmoidal característica de este tipo de isoterma (Vertucci y Ross, 1990)

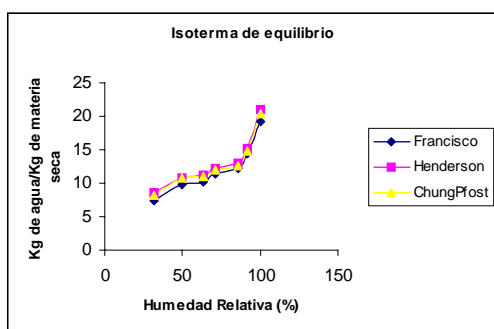


Fig. 4 Isoterma de equilibrio cv Francisco Mejorado

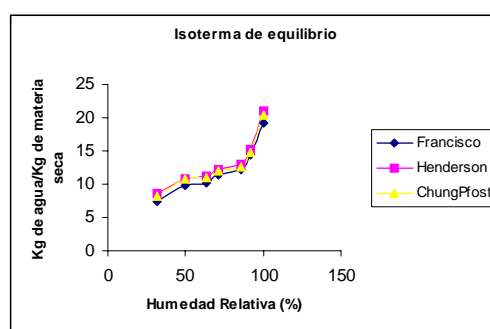


Fig. 5 Isoterma de equilibrio cv Gibara

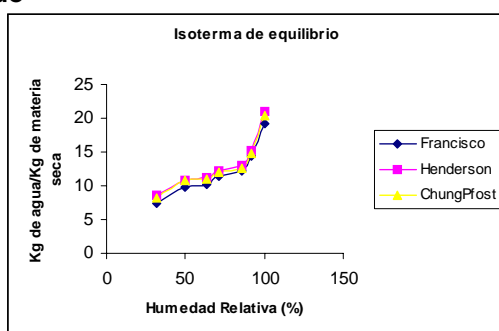


Fig. 6 Isoterma de equilibrio cv Sanjuanero

CONCLUSIONES

- 1 Se obtuvieron las isotermas de equilibrio para los diferentes cultivares de maíz (Francisco Mejorado, Gibara y Sanjuanero).
- 2 Se obtuvo el mejor ajuste matemático con la ecuación de Chung –Pfost.

REFERENCIAS

- Calderón, S, Cañet Félix, Leonor Pérez Ensayos de equilibrio higroscópico de soya, sorgo y frijol Tecnología de cosecha, beneficio y almacenamiento de granos básicos, 2000.
- Calderón, S, ShagaroskyT, Hernandez, E, Veja, M Isotermas de equilibrio de garbanzo Memórias del evento "35 aniversario Il Liliana Dimitrova 959-7111-39-x.", 2006.
- Ellis, RH. , Hong, T.D. and Roberts, E.H. A comparison of the low –moisture-content limit to logarithmic relation between seed moisture and longevity. Annals of Botany 61; 405-408.1989.
- Fortes y Okos M R Drying Theorie their basis and limitations as applied to food and grains in: Advances in drying A.J. Publishing Corporation 1980, 301 pp.
- Marques JA y Masal O, 1991 Principio de secado de granos psicometría higroscopia. Serie: Tecnología Poscosecha: 8 Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe 72 pp.
- Vertucci, C. W. and Roos, EE. (1993): Theoretical basis of protocols for seed storage. Plant Physiology 94; 1019-1023