

COMPARACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO ENTRE SIETE HIBRIDOS DE MAIZ¹

Comparison of equilibrium moisture content among seven corn hybrids

Ricardo Muñoz C.² y Virginia Aguilar G.²

SUMMARY

The desorption and adsorption equilibrium moisture content were determined in seven corn hybrids (5 flint and 2 dent). The static method of saturated salt solutions was used at 25 °C and 75.3% of relative humidity, respectively. A randomized block design with sampling (7 x 3 x 2) was used. The Duncan Test was applied for mean comparison.

Significant differences were obtained among corn hybrids in each phase, adsorption and desorption. The minimum and maximum equilibrium moisture content data for seven corn hybrids to desorption were 17.45 and 18.26% dry basis and adsorption were 16.64 and 17.32% dry basis, respectively. A significant contrast test was obtained for equilibrium moisture data between the flint and dent corn hybrids.

Key words: corn, cob, hybrids, moisture, adsorption, desorption.

INTRODUCCION

Información sobre el contenido de humedad de equilibrio y de humedad relativa de equilibrio o actividad de agua, es necesaria en el diseño, operación y optimización de los sistemas de acondicionamiento y de almacenamiento de materiales higroscópicos (Brooker y otros, 1978; Lasseran, 1978; Hall, 1980; Rossi y Roa, 1980; Resnik, 1989).

Un material higroscópico, como lo es un grano, alcanza su humedad de equilibrio en adsorción o en desorción, éste es, ganando o perdiendo humedad del ambiente que lo rodea (Hall, 1980), es decir, alcanza el equilibrio cuando desde el punto de vista termodinámico, el cambio de energía libre del material es cero.

Cuando se determina la humedad de un grano que llegó al equilibrio, ganando humedad (adsorción), ésta es algo inferior a la del grano que alcanzó su equilibrio perdiendo humedad (desorción), este fenómeno es conocido como histéresis (Hall, 1980).

El contenido de humedad de equilibrio de un grano es dependiente de las condiciones de: temperatura y humedad del ambiente; especie y variedad; estado de madurez; y de la historia del grano (Brooker y otros, 1978; Neuber, 1980; Chen y Morey, 1989).

El presente estudio tuvo como objetivos:

- Determinar y comparar el contenido de humedad de equilibrio obtenido en desorción y en adsorción de siete híbridos de maíz a temperatura de 25 °C y humedad relativa de 75,3%.
- Contrastar la humedad de equilibrio de híbridos de maíces córneos y dentados en fase de adsorción y de desorción.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se desarrolló en el Laboratorio de Post-cosecha de la Estación Experimental La Platina, perteneciente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

Para determinar el contenido de humedad de equilibrio de los híbridos de maíz, se utilizó el método estático de soluciones salinas saturadas (Hall, 1980), a una temperatura de 25 °C. La solución salina saturada de NaCl proporcionó el nivel de humedad relativa de 75,3%, según lo señalado por Resnik y otros (1984).

¹Recepción de originales: 20 de diciembre de 1991.

Trabajo presentado en el XLII Congreso Anual de la Sociedad Agronómica de Chile (SACH), Chillán, Chile, 11 al 15 de noviembre de 1991.

Los autores agradecen a los Sres. Ingenieros Agrónomos Orlando Paratori B. y Rodrigo Sbarbaro H. y al Técnico Agrícola Claudio Villegas por la colaboración prestada, en la obtención de muestras de los híbridos de maíz usados en este estudio.

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

Se obtuvieron muestras de mazorcas de siete híbridos de maíz (Cuadro 1) provenientes de la cosecha 1989/90 de los ensayos del Programa de Maíz del INIA, manejados agrónomicamente, según lo indicado por Paratori, Sbarbaro y Villegas (1990).

CUADRO 1. Características de los híbridos de maíz usados en el estudio

TABLE 1. Characteristics of corn hybrids used in this essay

Híbridos	Tipo	
	Vegetativo	Grano
INIA-160	Tardío	Dentado amarillo
INIA - 150	Semi-tardío	Dentado amarillo
Prays 500	Tardío	Córneo naranja
Cargill 21002	Tardío	Córneo naranja
DK 4F 37	Tardío	Córneo naranja
Maizal 86	Semi-tardío	Córneo naranja
Px 75	Tardío	Córneo amarillo anaranjado

Se colectaron tres muestras de alrededor de 10 mazorcas por híbrido de maíz. Cada muestra provenía de una parcela experimental o repetición de los ensayos de maíz. Luego cada muestra se desgranó a mano, seleccionando los granos sanos y enteros; se dividió y subdividió sucesivamente hasta obtener dos submuestras de aproximadamente 10 gramos.

El diseño del experimento usado fue en bloques al azar, con muestreos (7 x 3 x 2); esto es 7 híbridos, 3 repeticiones o sistemas estáticos con la solución saturada, y 2 muestras por híbridos, obtenidas de acuerdo a lo indicado anteriormente, totalizando 21 unidades experimentales o 42 (21 x 2) contenedores de granos. El híbrido INIA-160 tuvo dos de sus unidades experimentales, solamente con una muestra cada una.

Luego, los contenedores de granos se colocaron en los sistemas estáticos correspondientes y se pesaron en forma periódica en una balanza analítica (0,0001 g). Finalmente, los granos de cada contenedor se dividieron en dos porciones. Una de éstas, se retiró para determinar el contenido de humedad mediante el método del horno (103 °C, 72 horas), obteniendo de esta forma el contenido de humedad de equilibrio logrado en desorción.

Las restantes porciones de grano de cada contenedor se colocaron por cuatro semanas en sistemas estáticos con $MgCl_2 \times 6H_2O$ que proporcionó una

humedad relativa de 33,2%, para lograr que los granos perdieran humedad. Luego fueron trasladados a los sistemas estáticos con 75,3% de humedad relativa (NaCl), procediendo a las operaciones de pesaje, al igual que en la fase anterior. Cuando las muestras no registraron aumentos de peso, éstas se retiraron y se sometieron al método del horno, para determinar el contenido de humedad de equilibrio logrado en adsorción.

Se realizó análisis de variancia y se compararon las medias de la humedad de equilibrio dentro de cada fase (adsorción y desorción) y entre éstas, de acuerdo a la Prueba de Duncan ($P \leq 0,05$). Se realizó una prueba de contraste entre híbridos córneos y dentados, según Prueba de F ($P \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSION

El Cuadro 2 presenta el análisis de variancia de bloques al azar con muestreo, para la media del contenido de humedad de equilibrio, obtenido en fase de adsorción y de desorción, en los siete híbridos de maíz. Como uno de los híbridos consideró distintos número de muestras por unidad experimental (error tipo III) se utilizó el cuadrado medio de híbrido x repetición, como término de error.

CUADRO 2. Análisis de variancia para la media del contenido de humedad de equilibrio obtenido en desorción y en adsorción para siete híbridos de maíz

TABLE 2. Analysis of variance for mean of desorption and adsorption of equilibrium moisture content of seven corn hybrids

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F
Híbridos (H)	6	2,82788	0,47131	4,60*
Repetición (R)	2	1,15475	0,57737	2,18
H x R	12	1,23031	0,10253	0,39
Error muestral	19	5,02091	0,26426	
Total	39	10,42231		

*Significativo a $P \leq 0,05$.

El Cuadro 3 presenta los valores medios del contenido de humedad de equilibrio de los híbridos de maíz, para las condiciones del ensayo. Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$), entre los híbridos de maíz dentro de cada fase, de adsorción y de desorción, respectivamente.

Se detectó un comportamiento de histéresis, dado a nivel de cada híbrido y por la diferencia entre las medias totales de cada fase (adsorción y desorción), de 0,9372% de contenido de humedad (base seca), que resultó estadísticamente significativa ($P \leq 0,05$). Los híbridos de maíz que determinaron el rango en que oscilaron los valores mínimos y máximos de histéresis fueron Px 75 y Prays 500, con 0,65 y 1,23% de contenido de humedad (base seca), respectivamente. Al respecto, Chen y Morey (1989), demostraron en maíz, que la mayor histéresis ocurrió para un rango de humedad relativa de 80 - 90% a 5 °C y de 70 - 80% para 25 °C y para 45 °C la histéresis solamente se presentó a valores de humedad relativa inferiores a 60%. Los mismos autores encontraron una diferencia mayor al 1% de humedad base seca, para un rango de humedad relativa entre 70 y 80%.

La prueba de contraste entre los valores de los híbridos córneos con dentados (Cuadro 3), resultó significativa ($P \leq 0,05$), tanto en la fase de desorción como de adsorción. Si las diferencias encontradas se mantuvieran constantes dentro del comportamiento isotérmico de relevancia en la aplicación de las tecnologías de postcosecha, significaría que híbridos dentados podrían escapar del riesgo de contaminación microbiológica (Lasseran, 1978; Resnik, 1989) a niveles de humedad del grano mayores que los híbridos córneos. Esta situación se debiera corroborar con la determinación de isoterms de equilibrio para distintos tipos de híbridos de maíz.

Como una forma de estimar un posible efecto de historia del grano, en particular, de la temporada agrícola, que en este caso pudiera haber interactuado con otros factores como el manejo agrónó-

mico, se comparó mediante una Prueba de t ($P \leq 0,05$) el valor medio de humedad de equilibrio (base seca) de 18,0997% ($n = 3$) para INIA-150, señalado por Muñoz (1988), con el valor medio de este estudio para el mismo híbrido de 18,1529% ($n = 3$), obtenido al promediar los valores de contenido de humedad de equilibrio de las muestras de cada repetición. La comparación, no señaló diferencias significativas, debido, probablemente, al bajo número de observaciones experimentales confrontadas. En este aspecto, algunos autores como Neuber (1980) y Chen y Morey (1989) han señalado significancia para el factor año de cosecha en una misma variedad. De hecho, estos últimos autores demostraron diferencias significativas en el comportamiento isotérmico de años diferentes para una misma variedad de maíz.

Es claro que la naturaleza del híbrido de maíz y el comportamiento de histéresis afecta significativamente los valores de humedad de equilibrio del grano, por lo que debería ser un aspecto a considerar en el desarrollo de recomendaciones del contenido de humedad del grano para almacenamiento seguro.

CONCLUSIONES

Se registraron diferencias significativas entre el contenido de humedad de equilibrio de los híbridos de maíz, cuando se compararon dentro y entre las fases de adsorción y desorción.

El contenido de humedad de equilibrio de híbridos de maíces córneos y dentados, en desorción y adsorción, es diferente estadísticamente.

CUADRO 3. Comparación del contenido de humedad de equilibrio en fase de desorción y de adsorción de siete híbridos de maíz a temperatura de 25 °C y humedad relativa de 75,3%

TABLE 3. Comparison of equilibrium moisture content in desorption and adsorption phases of seven corn hybrids at 25 °C and 75.3% of and relative humidity, respectively

Híbridos	Tipo ¹	N	Desorción	Adsorción	Media
INIA-160	DA ²	4	18,2558 a ³	17,2482 ab	17,7520 a
INIA-150	DA	6	18,1529 a	17,3196 a	17,7362 a
Prays 500	CN	6	17,9809 ab	16,7549 abc	17,3679 ab
Cargill 21002	CN	6	17,6423 ab	16,6974 bc	17,1698 b
DK 4F 37	CN	6	17,6254 ab	16,6407 c	17,1330 b
Maizal 86	CN	6	17,5750 b	16,6369 c	17,1244 b
Px 75	CNA	6	17,4490 b	16,7999 abc	17,1060 b
Promedio			17,7894 a ⁴	16,8522 b	

¹DA: Córneo amarillo anaranjado.

²Diferencias significativas entre híbridos córneos y dentados, según Prueba de contraste ($P \leq 0,05$).

³Promedios bajo la misma columna con letras iguales no difieren significativamente, de acuerdo a Prueba de Duncan ($P \leq 0,05$).

⁴Promedios en una misma línea con letras iguales no difieren significativamente, según Prueba de t ($P \leq 0,05$).

RESUMEN

Se determinó el contenido de humedad de equilibrio en fase de desorción y de adsorción en siete híbridos de maíz (5 córneos y 2 dentados). Se utilizó el método estático de soluciones salinas saturadas a temperatura de 25 °C y humedad relativa de 75,3%. Se realizó un diseño en bloques al azar con muestreos (7 x 3 x 2). Se utilizó la Prueba de Duncan para comparación de medias.

Los resultados señalaron diferencias significativas entre los híbridos dentro de cada fase (adsorción y

desorción) y entre éstas. Los valores promedios de contenido de humedad de equilibrio de los siete híbridos en desorción, oscilaron entre 17,45 y 18,26% base seco y en adsorción entre 16,64 y 17,32% base seco. Se encontró significancia estadística cuando se contrastó los valores de humedad de equilibrio de híbridos córneos con dentados.

Palabras claves: maíz, mazorca, híbridos, humedad, adsorción, desorción.

LITERATURA CITADA

- BROOKER, D.B., BAKKER - ARKEMA, F.W. and HALL, C.W. 1978. Drying cereal grains. Second printing. The Avi Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. USA. 265 p.
- CHEN, C. and MOREY, R. 1989. Equilibrium relativity humidity relationships for yellow-dent corn. *Transactions of the ASAE* 32(3): 999-1.006.
- HALL, C.W. 1980. Drying and storage of agricultural crops. The Avi Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut, USA. 381 p.
- LASSERAN, J.CL. 1978. Principios gerais de secagem. *Revista Brasileira de Armazenamento* 3(3): 17-46.
- MUÑOZ C., RICARDO. 1988. Humedad de equilibrio en maíz. En: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Granos almacenados. III Informe Anual. Santiago, Chile. p.: 2-9.*
- NEUBER, E.E. 1980. Critical considerations of moisture sorption isotherms for cereals. ASAE Paper Nº 80-3015. St Joseph, MI: ASAE. 18 p.
- PARATORI, O., SBARBARO, R., y VILLEGAS, C. 1990. Híbridos comerciales de maíz, temporada 1989-1990. *Investigación y Progreso Agropecuario IPA La Platina* 60: 9-11.
- ROSSI, S.J. y ROA, G. 1980. Secagen e armazenamento de productos agropecuarios con uso de energía solar e ar natural. Secretaria da Indústria, Ciencia e Tecnologia, Academia de Ciência do Estado de São Paulo. Publicação ACIEP Nº 22. 295 p.
- RESNIK, SILVIA. 1989. Factores que inciden en la aparición de micotoxinas desde la producción primaria hasta el almacenamiento. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile), Estación Experimental La Platina (Santiago). Serie La Platina Nº 13: 25-40.
- RESNIK, S.L., FAVETTO, G. CHIRIFE, J. and FERROFON-TAN, C. 1984. A world survey of water activity of selected saturated salt solutions used as standards at 25 °C. *Journal Food Science* 49: 510 - 513.

*La circulación y uso de este documento queda limitada a la Oficina de Planificación Agrícola y al Instituto de Investigaciones Agropecuarias.