



SECADO POR LECHO FLUIDIZADO DEL TRIGO Y SU CALIDAD

FLUIDIZED BED DRYING OF WHEAT AND ITS QUALITY

L. Vázquez-Chávez¹ y M. Vizcarra-Mendoza^{2*}

¹ Departamento de Biotecnología Área Alimentos,

² Departamento de IPH, Área de Ingeniería Química, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.
Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina, CP 09360, México, D.F.

Recibido 25 de Noviembre 2006; Aceptado 7 de Mayo 2008

Resumen

Dos variedades de trigo, una de textura dura y gluten fuerte y otra, de textura suave y gluten débil, se secaron en un secador de lecho fluidizado. Inicialmente la humedad de ambas variedades de trigo se ajustó a 15 y 20% bh y los granos se secaron a 40, 60, 70, 80 y 100 °C hasta alcanzar una humedad final entre 11 y 9%. A los granos antes y después del secado se les determinó peso hectolítrico y dureza y a las harinas, proteína soluble en NaCl. Las masas de trigo se analizaron con el mixógrafo de Swason, y se midió el volumen del pan. Los resultados indicaron que la temperatura de secado fue el parámetro que mostró mayor efecto significativo sobre la calidad del trigo. En general ambas variedades de trigo secadas a 40, 60 y 70 °C reportaron características de calidad similares a las obtenidas con los granos de referencia respectivos. En cambio las temperaturas extremas de 80 y 100 °C afectaron significativamente la calidad del trigo. De acuerdo a los resultados de secado obtenidos se puede observar que los trigos de textura dura y gluten fuerte fueron más resistentes al tratamiento térmico del secado.

Palabras clave: calidad, lecho fluidizado, secado, trigo.

Abstract

Two varieties of wheat, one of hard texture and strong gluten and other of soft texture and weak gluten were dried in a fluidized bed drier. At the beginning, the moisture of both varieties of wheat were adjusted to 15 and 20% db and the grains were dried at 40, 60, 70, 80 and 100 °C until they reached a final moisture between 11 and 9%. The grains obtained after and before the dried were determined for their hectolitre weight and hardness, and the flours for protein soluble in NaCl. The wheat masses were analyzed with the Swanson mixograph and the bread volume was measured. The results indicated that the dried temperature was the parameter that showed a significant effect in the quality of wheat. In general, both varieties of wheat dried at 40, 60 and 70 °C reported similar characteristics of quality those obtained with the respective reference. Otherwise extreme temperatures of 80 and 100 °C affected significantly the quality of the wheat. In association with the results obtained we can observe that the wheat with hard texture and strong gluten were more resistant to the heat treatment of dried.

Keywords: quality, fluidized bed, drying, wheat.

1. Introducción

El proceso de secado de los granos depende en gran medida del tipo de secador siendo los más utilizados aquellos donde el aire caliente fluye a través de las capas estacionarias de granos. En estos casos, en la medida que estos lechos sean más profundos, el control de temperatura se hace más difícil, generándose así gradientes de humedad y temperatura en las diferentes zonas del secador, que pueden afectar la calidad del grano (Preston y col., 1989; Fortes y Romero, 2004). Una alternativa interesante es el secado en lecho fluidizado, ya que permite un tratamiento térmico rápido y homogéneo con aire caliente, debido al mezclado de los sólidos

fluidizados, eliminando el sobrecalentamiento de los mismos (Tosi y col., 1982; Abu-Hamdeh y Othman 2004) y en consecuencia evitando que la calidad del trigo se dañe (Giner y Calvelo, 1987). El secado es un proceso que disminuye la humedad de los granos y contribuye a conservarlos. No obstante, cuando el secado se lleva a cabo sin control adecuado de la temperatura, la calidad del trigo puede perderse la mayoría de las veces, sin alteración visual del grano. Diversos investigadores han señalado que el daño térmico del trigo está directamente relacionado con la desnaturalización térmica de las proteínas, principalmente las del gluten (Giner y col., 1991). Para evaluar la calidad del grano que fue sometido a tratamiento térmico durante el secado, es importante

* Autora para la correspondencia. E-mail: mgvm@xanum.uam.mx.
Tel.: 58044648-222

seleccionar las pruebas que detecten adecuadamente los cambios físicos y químicos que sufre el trigo. Ghaly y Taylor (1982) y Vázquez y col. (2001) estudiaron el secado de diferentes variedades de trigo señalando la importancia tanto de la textura del grano como de las propiedades del gluten. En esta investigación, se trabajó con dos variedades comerciales de trigo (Oasis de textura dura y gluten fuerte y Salamanca de textura y gluten suave), con diferentes contenidos de humedad inicial y diversos tiempos y temperaturas de secado.

El objetivo de este trabajo fue estudiar la calidad de dos variedades de trigo que fueron secadas en lecho fluidizado a diferentes temperaturas, hasta que los granos alcanzaron la humedad de equilibrio..

2. Metodología

2.1. Materiales y Métodos

Se trabajó con dos variedades de trigo (*Triticum aestivum*) de uso comercial. La variedad Salamanca S75, que es un trigo de textura suave y de gluten débil, de la región del Bajío, Guanajuato y la otra, denominada Oasis F89, que es un trigo de textura dura y de gluten fuerte, de la región del Valle del Fuerte Sinaloa. Debido a que las muestras de trigo tenían un contenido promedio de humedad entre el 9 y 10% (base húmeda), se aumentó el contenido de humedad a 15 y 20%. Al trigo colocado en un recipiente, se le agregó la cantidad de agua necesaria por unidad de masa seca de trigo, de acuerdo a un balance de masa y se dejó reposar durante 24 horas, con agitación aproximadamente cada 8 hrs para homogenizar la muestra. Se usó como referencia, trigo de ambas variedades que no fue sometido a proceso de secado previo.

2.2. Cinética de secado

Se usó un equipo secador de lecho fluidizado a nivel de planta piloto (Fig. 1). Inicialmente al equipo vacío, se le hizo pasar una corriente de aire con un mínimo de humedad (contenido de humedad absoluta de 0.008 kg de H₂O/kg de aire seco) fijando el gasto volumétrico a 1 atm de presión en 0,01214 m³/s que corresponde a una velocidad superficial de fluidización de 1.54 m/s, equivalente a 1.2U_{mf}, manteniéndose constante durante todo el tiempo que dura cada corrida y se midió la temperatura de bulbo seco y húmedo, para así determinar las condiciones de humedad del aire de entrada. Durante el experimento, la temperatura de entrada de aire se mantuvo constante por medio de un controlador de temperatura regulado por un sistema automático digital Chromalox (mod. 3910 11208, USA), con rango de 0-500°C y para termopares tipo J. Ya con el secador cargado con 1 kg de muestra de trigo, la temperatura del lecho se midió por medio de

termopares, conectados a un registrador (Blue M., Electric. Cop. Illinois, USA) y se midieron continuamente, la temperatura de entrada, la temperatura en el centro del lecho y la temperatura de bulbo seco y húmedo a la salida del secador. Cada corrida, para cada variedad, humedad y temperatura, se realizó por duplicado. Durante el proceso de secado se tomaron muestras por triplicado de entre 1 y 2 gr en frascos puestos previamente a peso constante, a partir del tiempo cero y durante cada 10 min hasta alcanzar una humedad final del 9%. La humedad de los granos se calculó en base seca midiendo la pérdida de humedad de los granos por diferencia de peso.

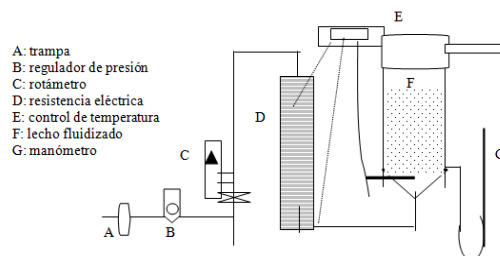


Fig. 1. Equipo experimental de secado en lecho fluidizado.

2.3. Determinaciones de calidad del grano y sus harinas

El porcentaje de humedad del grano se determinó en una estufa a 130 °C (método 44-19 AACC, 2000). El peso por unidad de volumen o peso hectolítrico (kg/hl) se determinó con una balanza de precisión (Cobos modelo, BOE 65-59, E.U.A) por el método 55-10 (AACC, 2000). El índice de dureza del grano se reportó en porcentaje y se determinó con un perlador de cebada (tipo Scott Strong modelo 1710, USA) se midió la cantidad de material desprendido de una muestra de 20 gr durante un minuto (método 55-20 AACC, 2000) los trigos suaves durante el perlado pierden más peso en tanto que los duros pierden menos peso. La pérdida de solubilidad de las proteínas en solución salina (miligramos por mililitro) se determinó usando el reactivo colorido azul de Coomassie G-250 (Bradford, 1976). El tratamiento de las muestras se llevó a cabo según Every (1987) y se leyó la absorbancia en un espectómetro (Spectronic Génesis, 5 EUA) a 595 nm. Con el mixógrafo de Swanson (National Manufacturing Co., Lincoln, Nebraska, USA), se determinó a las harinas obtenidas con los diferentes trigos, el tiempo óptimo de amasado por medio de una curva mixográfica, medido en minutos (método 54-40 AACC, 2000). Finalmente se elaboró pan por el método directo de panificación 10-10 (AACC, 2000), se midió el volumen de la hogaza en centímetros cúbicos, por medio de desplazamiento de semillas. Se determinaron las características internas

y externas del pan usando una escala hedónica, teniendo como referencia trigo que no fue sometido a proceso de secado. Se realizó un análisis de varianza (Montgomery, 1991).

3. Resultados.

3.1. Cinética de secado

Las figs. 2 y 3 muestran las curvas de secado obtenidas para las diferentes variedades de trigo. Como era de esperarse, el aumento en la temperatura del aire, favorece las condiciones de secado, es decir, con el aumento de este parámetro aumenta la evaporación de agua favoreciendo que la pérdida de humedad sea más intensa y rápida a las temperaturas de 80 y 100 °C. Las curvas de secado de los granos muestran que la mayor influencia sobre la evaporación del agua en el grano, la tienen tanto la temperatura del medio de secado, como la humedad inicial del grano que se modifica continuamente durante el proceso, incidiendo en el deterioro del mismo (Vizcarra y col., 1998). Del análisis de estas curvas de secado, se deduce que el proceso de secado es controlado por mecanismos internos de transferencia de masa, que corresponden al periodo de velocidad decreciente de secado (Geankoplis, 1995). Si no se tiene un buen control de la temperatura de secado, el deterioro ocasionado a los granos puede ser muy importante, ya que la cantidad de humedad que se elimina disminuye constantemente, lo que se traduce en tiempos largos de secado (para alcanzar el contenido final de humedad deseado) (Mendoza y col., 1985) y sobrecalentamiento de la superficie externa de los mismos. Como lo ha indicado Bruce (1992), en este período la velocidad de transferencia de masa depende esencialmente de la temperatura de aire y de las características del grano, sin que la afecte el flujo externo de aire. Los resultados obtenidos mostraron respuestas de secado para cada variedad de trigo, influenciada por la estructura del grano con dureza (textura) y contenido de proteína diferentes. Según Fellow (1994) las características estructurales de los granos, así como sus constituyentes (principalmente proteínas y almidones) determinan la proporción de agua ligada al grano e influye en el secado. El tamaño del grano así como sus constituyentes tales como proteínas y almidones, que aumentan la proporción de agua ligada, pueden influir en la velocidad de secado prolongando esta fase (Ghaly y Sutherland, 1984). Cuando el secado inicial del trigo es rápido, el agua en la superficie del grano se evapora más rápidamente que el que se desplaza del centro del producto hacia la superficie originando contracción de la capa superficial que opone resistencia al posterior paso de vapor. Si la deshidratación es rápida se forma inmediatamente una capa seca y rígida en la superficie del alimento

que fija el volumen del material (Brooker y col. 1975).

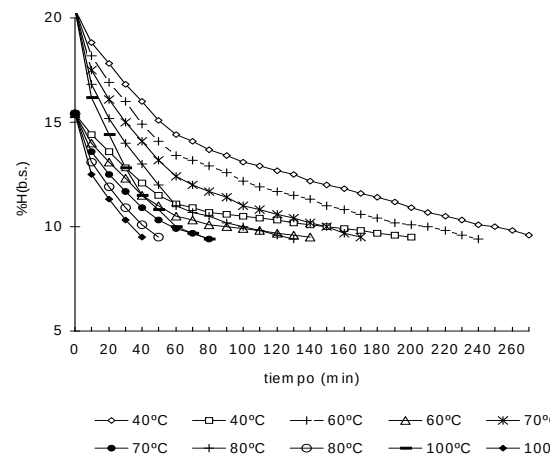


Fig. 2. Trigo variedad Oasis 20% y 15% humedad inicial.

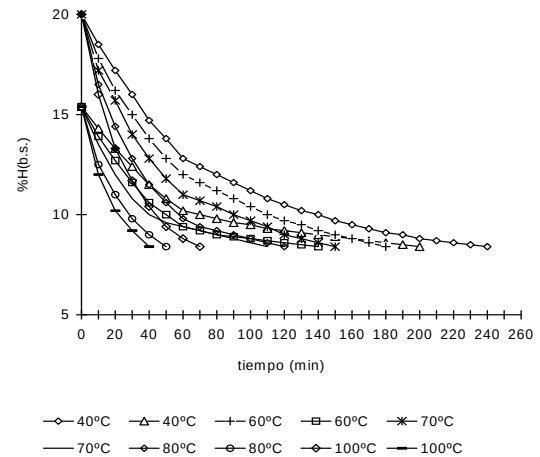


Fig. 3. Trigo variedad Salamanca 20% y 15% humedad inicial.

La deshidratación posterior de las partes profundas va acompañada de desgarramientos y vacío interno obteniéndose productos que conservan su forma original pero con estructura interna porosa. Esta contracción es más acusada cuando la deshidratación es lenta y se produce a pesar de la resistencia estructural de los tejidos (Fellow, 1994). Las capas externas del endospermo, particularmente aquellas células debajo de la capa aleurona parece ser la zona que controla la velocidad de eliminación de agua. El endospermo compacto sin espacios aéreos parece retrasar la eliminación de agua. Se ha determinado que los pequeños capilares dentro del grano retienen el agua muy fuertemente por la zona del surco (Kent, 1987). De las curvas obtenidas se puede decir que la disminución de humedad para la variedad de trigo Oasis de textura dura y gluten fuerte con mayor contenido de proteína fue ligeramente más lenta alcanzando humedades de secado ligeramente

mayores que la variedad de trigo suave (Salamanca) de textura suave y gluten débil de un menor contenido de proteína que alcanzó humedades de secado menores. El grano suave Salamanca con una estructura menos compacta de su endospermo que la variedad de trigo Oasis así como con menor contenido de proteína pudo haber influido en una disminución ligeramente más rápida de su humedad coincidiendo con lo reportado por Ghaly y Taylor (1982).

3.2. Determinaciones de calidad del grano y sus harinas.

Debido a las características intrínsecas de cada variedad (Tabla 1) los valores del peso hectolítrico correspondientes a los trigos de textura dura (variedad Oasis de gluten fuerte) fueron mayores que los obtenidos para los trigos de textura suave (variedad Salamanca de gluten débil). Contrariamente los valores del índice de dureza para los trigos de la variedad Oasis fueron menores que los valores para los trigos de la variedad Salamanca. Pomeranz (1988) señaló que entre más densos los granos tienen mejor probabilidad de soportar el tratamiento térmico de secado. Aunque los resultados tanto del peso hectolítrico como del índice de dureza para ambas variedades de trigo reportaron cambios con respecto al trigo de referencia, no indican el grado de daño causado al grano, ya que no muestran aumento o disminución, directa con el tratamiento térmico, coincidiendo con los resultados obtenidos por Finney y col. (1962) y Tosi y col. (1982). Por otro lado Kirleis y col., (1982) indicaron que un mal proceso de secado, puede producir un elevado gradiente de humedad entre el contenido en agua de la superficie y el interior del grano, provocando la expansión y contracción del grano, haciendo que el material se deforme y cambie su estructura, modificando tanto el peso hectolítrico como la dureza del grano, lo cual puede ser minimizado aplicando un eficiente control de la temperatura de secado.

En general como puede observarse en la tabla 2 los valores tanto de la proteína soluble, como del tiempo de mezclado y del volumen del pan, para la variedad de trigo duro Oasis, con mayor contenido de proteína total (10%), y con gluten más resistente al tratamiento térmico resultaron ligeramente mayores que los obtenidos para la variedad de trigo suave Salamanca, con menor contenido de proteína total (8%) y menos resistentes al tratamiento térmico. Galy y Sutherland (1984), He y col. (1991) y Guerrieri y col. (1996) mostraron que existe una mayor fuerza de agregación de las proteínas desnaturalizadas en trigos de gluten fuerte con mayor contenido de proteína mostrando más tolerancia al efecto térmico que los trigos suaves con gluten débil y menor porcentaje de proteína total. Específicamente los resultados obtenidos para la proteína soluble en cloruro de sodio (medidos en

miligramos por mililitro), de ambas variedades de trigo fueron disminuyendo directamente con el incremento de la temperatura de secado. Jeanjean y col. (1980) y Singh y MacRitchie (2004) encontraron que durante el tratamiento térmico del trigo, pueden generar reacciones moleculares de desdoblamiento de la proteína, resultado de la formación de agregados proteínicos formados durante el secado drástico del trigo que se desarrollan a través de la formación de enlaces covalentes, provocado la insolubilización de las proteínas en diferentes solventes. Con respecto al tiempo de mezclado (en minutos) medido con el mixógrafo de Swanson para ambas variedades de trigo los resultados indican (tabla2) que este valor fue aumentando conforme aumento la temperatura de secado de acuerdo a lo reportado por Tosi y col. (2000). El tiempo de mezclado resultó, con valores ligeramente mayores para la variedad Oasis de gluten fuerte con mayor tolerancia al mezclado que para la variedad Salamanca de gluten débil y menos resistente al mezclado. Finey y col. (1962) y Preston y col. (1989) encontraron para trigos Canadienses que el gluten del trigo sometido a un proceso drástico de secado se hace más duro y tenaz provocando que el tiempo de mezclado de las masas aumente, en relación con el aumento de temperatura. Jeanjean y col., (1980) señalaron que la mayor desnaturalización térmica de las proteínas del trigo provoca cambios en las características viscoelásticas de la masa. Weegels y col. (1994) propusieron que las modificaciones en las propiedades físicas de las masas de trigos, sometidas a tratamiento térmico se deben principalmente a que, tanto las albúminas, como las globulinas y las gliadinas, al desnaturalizarse pueden interactuar entre sí o con fracciones de glutenina, uniéndose o agregándose por enlaces hidrofóbicos así como por enlaces disulfuro, producidos principalmente durante el desdoblamiento de las proteínas del gluten. Por lo tanto las proteínas, al modificarse forman nuevos complejos proteicos de alto peso molecular que influyen en el comportamiento reológico de las masas. Finalmente se observa que los panes elaborados con ambas variedades de trigos, mostraron disminución del volumen del pan en relación directa con el aumento de temperatura. Como muestra la Tabla 2 los volúmenes de los panes elaborados con trigos secados a temperaturas de 40, 60 y 70 °C para ambas variedades resultaron ser muy cercanos a los panes elaborados con los trigos de referencia correspondientes, presentando buen aspecto exterior, buena capacidad fermentativa y una miga adecuada. En contraste las propiedades de los panes elaborados con trigos de ambas variedades, sometidos a tratamiento drástico de secado 80°C y 100°C, muestran mayor detrimento del pan tanto en apariencia interna como externa en comparación con el pan de referencia. Internamente la textura del grano fue gruesa, con miga deficiente. Externamente la corteza desgarrada, agrietada y muy compacta, señalando disminución de la capacidad de

fermentación de las harinas. Lupano y Añón (1987), señalaron que las altas temperatura causan la desnaturalización térmica de las proteínas del trigo especialmente la glutenina y promueve la reducción de la calidad panadera de la harina de trigo. En general los valores de solubilidad, tiempo de mezclado y volumen del pan, que resultaron más cercanos a los trigos de referencia correspondientes fueron los granos secados a 40, 60 y 70°C, indicando que fueron menos afectados por el tratamiento térmico. En cambio los trigos secados a altas temperaturas, 80 y 100°C en comparación con los

trigos de referencia mostraron más alteraciones debidas al proceso térmico. El análisis estadístico, señaló que tanto la variedad, como la temperatura de secado, mostraron efecto significativo ($p < 0.05$) sobre todas las determinaciones físicas, químicas, reológicas y de panificación, realizadas a los trigos que fueron sometidos a tratamiento térmico. En cambio la humedad inicial del grano no presento efecto significativo sobre ninguna de las determinaciones efectuadas.

Tabla 1. Pruebas físicas de calidad de dos variedades de trigo con diferentes contenidos de humedad secados por lecho fluidizado.

		Oasis				Salamanca			
		15% b.s.		20% b.s.		15% b.s.		20% b.s.	
T (°C)	t (min)	Ph* (kg/hl)	Id** (%)	Ph* (kg/h)	Id** (%)	Ph* (kg/hl)	Id** (%)	Ph* (kg/hl)	Id** (%)
Referencia		82.7 ^a	40.0 ^d	82.5 ^a	39.8 ^d	78.7 ^a	54.0 ^a	78.3 ^a	54.0 ^a
40	140	78.3 ^c	43.3 ^a	78.0 ^c	42.3 ^a	77.4 ^b	53.9 ^b	76.0 ^c	53.7 ^b
60	90	78.7 ^c	43.0 ^a	79.0 ^b	42.0 ^a	77.9 ^b	53.9 ^b	76.9 ^c	53.8 ^d
70	60	78.9 ^c	42.6 ^b	78.7 ^c	40.3 ^c	77.9 ^b	53.9 ^b	76.7 ^c	53.3 ^d
80	30	77.5 ^d	40.5 ^d	79.5 ^b	39.5 ^d	76.3 ^c	52.0 ^c	75.3 ^d	52.3 ^c
100	20	76.0 ^e	37.0 ^f	76.6 ^e	38.7 ^e	76.8 ^c	52.9 ^c	75.9 ^d	51.0 ^e

T= temperatura en grados centígrados, t = tiempo en minutos, Ph* = peso hectolítrico en kilogramos/hectolitro
Id**= índice de dureza en porcentaje, Referencia = trigo sin tratamiento térmico. Medias con mismo índice no son diferentes estadísticamente $p < 0.05$.

Tabla 2. Pruebas químicas, reológicas y de panificación de dos variedades de trigos con diferentes contenidos de humedad secados por lecho fluidizado

Variedad Oasis							
		15% b.s.			20%h b.s.		
T (°C)	t (min)	Prot. sol* (mg/ml)	Tm** (min)	Vol*** (cm ³)	Prot. sol* (mg/ml)	Tm** (min)	Vol*** (cm ³)
Referencia		0.250 ^a	3.5 ^c	665 ^b	0.249 ^a	3.5 ^c	665 ^b
40	140	0.249 ^b	3.4 ^c	675 ^a	0.247 ^a	3.3 ^c	673 ^a
60	90	0.247 ^b	3.4 ^c	674 ^a	0.246 ^a	3.4 ^c	672 ^a
70	60	0.248 ^b	3.5 ^c	675 ^a	0.247 ^a	3.4 ^c	672 ^a
80	30	0.177 ^e	5.3 ^b	570 ^d	0.171 ^d	5.2 ^b	568 ^e
100	20	0.156 ^g	6.0 ^a	510 ^d	0.152 ^f	6.0 ^a	509 ^e
Variedad Salamanca							
		15% b.s.			20% b.s.		
T (°C)	t (min)	Prot. sol* (mg/ml)	Tm** (min)	Vol*** (cm ³)	Prot. sol* (mg/ml)	Tm** (min)	Vol*** (cm ³)
Referencia		0.178 ^a	2.4 ^c	603 ^b	0.179 ^a	2.3 ^c	604 ^b
40	140	0.176 ^a	2.4 ^c	620 ^a	0.178 ^a	2.3 ^c	619 ^a
60	90	0.177 ^a	2.3 ^c	623 ^a	0.178 ^a	2.2 ^c	622 ^a
70	60	0.177 ^a	2.4 ^c	625 ^a	0.176 ^a	2.3 ^c	625 ^a
80	30	0.163 ^b	3.4 ^b	566 ^d	0.164 ^b	3.3 ^b	560 ^d
100	20	0.141 ^d	4.4 ^a	479 ^f	0.144 ^d	4.3 ^a	474 ^f

T= temperatura en grados centígrados, t = tiempo en minutos, Prot. sol*= proteína soluble en mg/ ml
Tm**= tiempo de mezclado en minutos, Vol*** = volumen de pan en centímetros cúbicos, Referencia = trigo sin tratamiento térmico. Medias con mismo índice no son diferentes estadísticamente $p < 0.05$

Conclusiones.

Las cinéticas de secado de los trigos con diferentes contenidos de humedad inicial mostraron que, al aumentar la temperatura aumentó la evaporación del agua, alcanzando la variedad de trigo Salamanca, humedades finales ligeramente más bajas que la variedad de trigo Oasis, dependiendo principalmente de la estructura y composición del grano.

Durante el secado de trigo, se observó más claramente el período decreciente de secado siendo muy importante su control ya que normalmente esta etapa de secado es la de mayor duración en el secado de los granos.

El parámetro de secado de mayor significancia sobre la calidad del trigo lo tuvo la temperatura de secado y en menor grado la variedad, el tiempo, y la humedad inicial del grano.

Se confirman las observaciones de Guerrieri y col. (1996) indicando que trigos de gluten fuerte, con mayor contenido de proteína total, muestran más tolerancia al tratamiento térmico que los trigos suaves con gluten débil y menor porcentaje de proteína total

Las muestras de trigo sometidas a tratamiento térmico mostraron cambios detrimentales en relación directa con el aumento de temperatura, medidos principalmente por la determinación de proteína soluble, tiempo de mezclado de las masas y el volumen del pan.

La comparación de muestras de trigo, antes y después del secado por lecho fluidizado, indico claramente que el uso de temperaturas mayores de 70°C pueden alterar la calidad industrial del grano.

Referencias

- American Association of Cereal Chemists. (2000). *Approved Methods of the AACCC*, 10th ed. The Association: St. Paul Minnesota, EUA.
- Abu-Hamdeh, N.H. y Othman, A.M. (2004). An experimental study and mathematical simulation of wheat drying. *Drying Technology* 22(3), 491-506.
- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye-binding. *Analytical Biochemistry*. 72, 248-254.
- Brooker, D. B. Bakker-Arkema, F. W. y Hall C.W (1975). *Drying cereal grain*, pp 20, 51-54. The A.V.I. Publishing Company, Inc. Westport, Conn. U.S.A.
- Bruce, M.D. (1992). A model of the effect of heated-air drying on bread baking quality of wheat. *Journal of Agricultural Engineering Research* 52,53-76.
- Every, D. (1987). A simple four-minute protein-solubility test for heat damage wheat. *Journal Cereal Science* 6, 225-236.
- Fellow, P. (1994). *Tecnología del Procesamiento de los Alimentos*, pp 287-323. Editorial Acribia Zaragoza, España.
- Finney, K. F., Shogren, M. D., Hosney, R. C., Bolte, L. C. y Hoyne, E. G. (1962). Chemical, physical and baking properties of preripe wheat dried at varying temperatures. *Agronomy Journal* 54, 244-247.
- Fortes, M. y Romero, F.W. (2004) Second law analysis of drying; Modeling and simulation of fluidized bed grain drying. *Drying A*, 301-308.
- Geankoplis, J.Ch. (1995). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*, pp 435-492 Editorial CECSA, 2a edición, México, D.F.
- Ghaly, T.F. y Taylor, P.A. (1982). Quality effects of heat treatment of two wheat varieties. *Journal of Agricultural Engineering Research* 27, 227-234.
- Ghaly, T. F. y Sutherland J. W. (1984). Heat damage to grain and seed. *Journal of Agricultural Engineering Research* 30,337-341.
- Giner, A.S. y Calvelo A. (1987). Modelling of wheat drying in fluidized beds. *Journal of Food Science* 52(5), 1358-1363.
- Giner, S.A., Lupano, C.E. y Añón, M.C. (1991). A model for estimating loss of wheat seed viability during hot-air drying. *Cereal Chemistry* 68(1), 77-80.
- Guerrieri, N.E., Alberti, Lavelli, V. y Carletti, P. (1996). Effect of high temperature short-time treatment of wheat flour on gluten vitality and structure. *Cereal Chemistry* 73(3), 375-378.
- He, H.G. Feng H. and Hosney R.C: (1991). Differences between flours in the rate wheat proteins solubility. *Cereal Chemistry* 68(6), 641-664.
- Jeanjean, M. F. Damidaux R. y Feillet P. (1980). Effect of heat treatment on protein solubility and viscoelastic properties of wheat gluten. *Cereal Chemistry* 57(5), 325-331.
- Kent, L. N. (1987). *Tecnología de los Cereales*. pp:69-83. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España
- Kirleis, W. A., Housley L. T. Emam M. A. Patterson L. F. y Okos R.M. (1982). Effect of preripe harvest and artificial drying on the milling and Baking quality of soft red winter wheat. *Crop Science* 22, 871-876
- Lupano, E.C. y Añón, C.M. (1987). Denaturation of wheat endosperm proteins during drying. *Cereal Chemistry* 64(6), 437-442.
- Mendoza, A.M., Vernon, E.J. y Vizcarra, G.M. (1985). Determinación de curvas de secado de granos de maíz por fluidización. *Tecnología de Alimentos. (México)* 20(2), 20-26.
- Montgomery, D. C., (1991). *Diseño y análisis de experimentos*, pp 45-85. Grupo, Editorial Iberoamerica, México.
- Pomeranz, Y .(1988). *Wheat Chemistry and Technology*. Vol I and II. Third Ed.

- Y.Pomeranz. Am. Assoc. Cereal Chem., St. Paul. Minn., U.S.A.
- Preston, R.K., Morgan, C.B., Kilborn, H.R. y Tipples, H.K. (1989). Assessment of heat damage in Canadian hard red spring wheat. *Canadian Institute Food Science Technology Journal* 22(1), 63-69.
- Singh, H., y MacRitchie, F. (2004). Changes in proteins induced by heating gluten dispersions at high temperature. *Journal of Cereal Science* 39, 297-301.
- Tosi, E., Re, E., Catalano, O. y Cazzoli, A. (1982). Secado de trigo por lecho fluidizado. Influencia de las variables del proceso de secado en la calidad panadera de las harinas. *Alimentaria Latinoamericana* 16(133), 61-68.
- Tosi, E.A., RE E.D., Carbonel L. y Cuniberti M. (2000). Estimación de la calidad panadera por medio de un método espectrofotométrico rápido. *Cereal Chemistry* 77 (6), 699 – 701.
- Vázquez, Ch.L., Vizcarra, M.M., Salazar, Z.A., Castillo, A. y Guerrero, L.I. (2001). Effect of heat treatment on the industrial quality of two varieties of mexican wheat. *International Journal of Food Properties* 4(3), 419-430.
- Vizcarra, M.M., Recio, E.A., Vázquez, Ch.L. y Ruíz, M.R. (1998). Efecto del contenido de humedad y temperatura en la determinación de la difusividad del agua durante el secado de trigo en lecho fluidizado. Instituto Mexicano de Ingeniería Química. *Tecnología Ciencia Educación* 13(1-2), 11-19.
- Weegels, L.P., Verhock, A.J., Groot, A.M.G. y Hamer, J.R. (1994). Effects of gluten heating at different moisture contents. *Journal of Cereal Science* 19, 31-38.