

EFFECTO DE TEMPERATURA DE SECADO POR LECHO FLUIDIZADO EN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y DE PANIFICACIÓN EN DOS VARIEDADES DE TRIGO

EFFECT OF DRYING TEMPERATURE BY FLUIDIZED BED ON THE PHYSICOCHEMICAL AND BREADMAKING PROPERTIES OF TWO WHEAT VARIETIES

Lilia Vázquez Chávez^{1*}, Alfredo Salazar Zazueta⁴, Isabel Guerrero Legarreta¹, Mario Vizcarra Mendoza² y Alberto Castillo Morales³

¹Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. ²Departamento Biotecnología, ³Ingeniería de Procesos y ⁴Matemáticas. Av Michoacán y La Purísima Col. Vicentina 09340. México D.F. Fax 01(55) 580-44712. Correo electrónico: lvch@xanum.uam.mx. ⁴Laboratorio de Farinología, INIFAP, Chapingo, México. Tel. 01(595) 95-21500 Ext. 5170.

*Autor responsable

RESUMEN

Se evaluó el efecto de temperatura de secado por lecho fluidizado en las propiedades fisicoquímicas y de panificación de dos variedades de trigos, Oasis F89 y Salamanca S75. Se rehumedecieron lotes de 1 kg de trigos a 18 % de humedad y se secaron a temperaturas de 40, 60, 80 y 100°C por lecho fluidizado durante una hora, con aire de 0.008 kg H₂O kg⁻¹ y una velocidad superficial de 1.52 m s⁻¹. Después del secado, los trigos tuvieron humedades entre 9 y 13 %, dependiendo de la temperatura. A las harinas obtenidas se les midió contenido de proteína, de cenizas y de gluten, así como farinogramas, extensogramas y volumen de pan. Los resultados indicaron que el incremento en la temperatura de secado produjo decrementos significativos ($P \leq 0.05$) en las características evaluadas de las dos variedades de trigo, excepto por los incrementos registrados en el volumen de pan (4 %) y el tiempo óptimo de desarrollo (10 %), a las temperaturas de 40 y 80°C, respectivamente. El efecto de temperatura de secado fue mayor para el contenido de gluten en ambas variedades de trigo, lo que afectó las propiedades fisicoquímicas de las harinas. La variedad Oasis F89 mostró un menor efecto térmico en tales características, que la variedad Salamanca S75.

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., efecto térmico, características de granos y harinas, propiedades reológicas.

SUMMARY

The effect of drying temperature by fluidized bed on the quality characteristics of two wheat varieties, Oasis F89 and Salamanca S75, was evaluated. Batches of 1 kilogram of each variety at 18 % of moisture content, were dried at 40, 60, 80 and 100°C in a fluidized bed. The drying process was carried out during 1 h at 0.008 kg H₂O kg⁻¹ air, and 1.52 m s⁻¹ surface velocity. After drying was completed, the wheat batches had humidities between 9 and 13 %, depending on the drying temperature. The flour obtained was analyzed for protein, ashes and gluten content. Other tests carried out were farinograms, extensograms and loaf volume. Increasing the drying temperature produced a significant decrease ($P \leq 0.05$) in all studied characteristics, with the exception of the increases registered in loaf volume (4%) and development optimum time (10 %) at 40 and 80°C, respectively. The effect of drying temperature was mainly on gluten content for both

varieties. This, in turn, affected the flour physicochemical properties, in a lesser extent in the cultivar Oasis F89 than in Salamanca S75.

Index words: *Triticum aestivum* L., thermal effect, characteristics of grains and flour, rheological properties.

INTRODUCCIÓN

En las principales zonas productoras mexicanas del Norte, del Bajío y del altiplano, las cosechas de trigo se secan naturalmente en el campo y se trillan generalmente con humedades entre 11 y 14 % (Contreras *et al.*, 1993). No obstante, en épocas con clima lluvioso la humedad del grano puede subir a 18 % y en condiciones de un mal manejo poscosecha puede llegar hasta 40 % (Kirleis *et al.*, 1982; Pomeranz, 1988). Por ello es importante secar los granos con aire seco y caliente, para asegurar su conservación durante el almacenamiento (Ghaly y Taylor, 1982; Giner y Calvelo, 1987; Bruce, 1992). Durante el proceso de secado uno de los factores más importante que debe controlarse para mantener la calidad del grano es la temperatura, ya que las proteínas del gluten pueden sufrir cambios en sus propiedades fisicoquímicas y de panificación (Lupano y Añón, 1987). Booth *et al.* (1980), Tosi *et al.* (1982) y Preston *et al.* (1989) estudiaron el efecto de temperatura de secado sobre la calidad industrial de trigos americanos y canadienses, y observaron que las propiedades fisicoquímicas y de panificación fueron dañadas por temperaturas mayores a 58°C.

Por su parte, Brooker *et al.* (1975) recomendaron que la temperatura no supere los 55°C si el grano ha de utilizarse para panificación. Posteriormente, Tosi *et al.* (1986) propusieron que para secar granos con humedades que oscilan entre 18 y 37 % las temperaturas sean entre 49 y 53°C

para trigo destinado a semilla, y de 49.6 a 58°C para grano destinado a panificación, respectivamente. Generalmente los equipos de secado utilizan aire caliente que fluye a través de las capas de granos. En estos casos el control de temperatura es difícil, porque se generan gradientes de humedad y temperatura en las diferentes zonas del secador, que frecuentemente afectan el comportamiento industrial del trigo, sin alterar el aspecto visual del grano (Bakker-Arkema *et al.*, 1978; Lupano y Añón, 1986). En contraste, el secado por lecho fluidizado ha sido reconocido como un proceso rápido y seguro, ya que mezcla el grano más eficientemente y es posible aplicar aire seco a temperaturas relativamente altas sin provocar sobrecalentamiento, como ocurre en los secadores tradicionales, lo que evita que la calidad del trigo se dañe (Giner y Calvelo, 1987).

Ghaly y Sutherland (1984) señalaron que, además de la temperatura de secado, otros factores tales como la variedad del grano, deben ser estudiados. En México las variedades de trigo se clasifican con base en sus características de textura (dureza), contenido de proteína y fuerza del gluten (calidad de proteína), así como por su diferente comportamiento en molinería y tipos de panificación necesarios para su comercialización (Irizar, 1990). Por esta razón la industria molinera en el país tiene grandes problemas para abastecer a la industria de la panificación, ya que ésta con frecuencia utiliza diferentes variedades de trigo para elaborar harinas multipropósito en productos de panificación. Es importante entonces conocer el efecto del tratamiento térmico en variedades de trigo con diferente tipo de gluten en uso comercial por la industria molinera y de la panificación.

Por otro lado, los métodos aplicados para determinar la calidad industrial del trigo han sido usados también para evaluar las propiedades fisicoquímicas de las masas y de panificación del trigo que fue sometido a tratamiento térmico de secado (McDermott 1971; Hook 1980; Tosi *et al.*, 1986). Con base en esta información, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la temperatura de secado por lecho fluidizado en las propiedades fisicoquímicas y de panificación en dos variedades de trigos: Oasis F89 de grano duro y gluten fuerte y Salamanca S75 de grano suave y gluten débil, mediante aplicación de aire seco y caliente a temperaturas de 40, 60, 80 y 100°C, con una hora de secado en todos los casos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron muestras de trigo (*Triticum aestivum*) obtenidas de cosechas del ciclo agrícola otoño-invierno 1996-97. La variedad Oasis F89 de endospermo duro y gluten fuerte provino del Valle del Fuerte, Sinaloa y la variedad de textura suave y gluten débil Salamanca S75 se cosechó

en la región de El Bajío, Guanajuato. Se tomaron cinco muestras parciales de 10 kg, representativas de un lote, de cada variedad de trigo, para completar una muestra total de 50 kg del grano de un camión de transporte. Los trigos muestreados no habían sido sometidos a tratamiento térmico de secado con aire caliente. Las muestras se homogeneizaron y se dividieron hasta obtener muestras representativas de 1 kg (ANDSA, 1978). Ambas variedades de trigo presentaron humedad inicial menor de 14 %. La limpieza del trigo se llevó a cabo por cribado manual para separar basura, piedras y grano mal formado.

Antes de aplicar el tratamiento térmico, cada variedad de trigo, por separado, se homogeneizó a una humedad de 18 % mediante adición de una cantidad calculada de agua y dejando en reposo 24 horas. Posteriormente, el secado del trigo se realizó con aire seco calentado por un sistema de resistencias eléctricas a diferentes temperaturas (40, 60, 80 y 100°C), usando un secador de lecho fluidizado a nivel de laboratorio. El secador consistió en un tubo de acrílico de 0.1 m de diámetro por 0.6 m de longitud, con la parte superior abierta a la atmósfera y un distribuidor de placa perforada en la parte inferior. Como medio fluidizante se usó aire con un contenido de humedad absoluta de 0.008 kg H₂O kg⁻¹ de aire seco. Inicialmente se fijó el gasto de aire a una atmósfera de presión con un flujo de aire de 0.0119 m³ s⁻¹ y una velocidad superficial de 1.52 m s⁻¹. Para verificar la temperatura de aire a la entrada y en el centro del secador se usaron termopares conectados a registradores de temperatura (Blue Metric, Electric Comp; Illinois, EE.UU.). Las variedades de trigo utilizadas presentaron velocidades mínimas de fluidización (Umf) de 1.2 m s⁻¹ y una fracción de vacío del lecho (ϵ) de 0.4 (adimensional) (Vizcarra *et al.*, 1998).

Una vez establecido el sistema, el secador se cargó con un kilogramo de muestra de trigo húmedo (18 %) que se dejó secar por una hora, en cada temperatura. Después del secado, los granos alcanzaron las siguientes humedades: 13 % en 40°C, 12 % en 60°C, 10 % en 80°C y 9 % en 100°C. Como controles se usaron granos que no fueron humedecidos ni sometidos a tratamiento térmico de secado con aire caliente.

Características fisicoquímicas en granos y harinas

Los análisis realizados a los granos de trigo de cada variedad, fueron: peso hectolítrico por el método 84-10 de la American Association of Cereal Chemistry (AACC, 1983), medido con una balanza (Cobos, modelo BOE6-5-59; EE.UU.); porcentaje del índice dureza del grano, mediante una perladora de cebada (tipo Strong Scott modelo 17810; EE.UU.) la cual mide la cantidad de material desprendido de una muestra de 20 g por acción abrasiva

durante un minuto. El peso de mil granos se calculó a partir del peso de 250 granos. La harina se obtuvo rehumedeciendo por separado tanto los trigos secados como los trigos usados como controles, de acuerdo con el método 26-20 (AACC, 1983), y moliendo los granos en un molino de laboratorio (Brabender Quadrumat Sr; Düisburg, Alemania). A cada una de las harinas obtenidas, a partir de los trigos sometidos a tratamiento térmico, se les evaluó el porcentaje de humedad, de cenizas y de proteína total (Kjeldahl, N X 5.7), por los métodos 44-15, 08-01 y 46-10 de la AACC (1983), respectivamente. El contenido de gluten seco (método 38-20; AACC, 1983), se determinó con un lavador automático (Glutomatic 2100, Estocolmo, Suecia).

Características reológicas de las masas (obtenidas a partir de las harinas de trigo) y calidad del pan

Con un microfarinógrafo de Brabender (Brabender Instruments; Düisburg, Alemania) se determinaron a las masas de trigo los siguientes parámetros: tiempo óptimo de desarrollo, índice de tolerancia al mezclado y estabilidad (método 54-21; AACC, 1983). La extensibilidad, la resistencia a la extensión y la fuerza de la masa se evaluaron por el método 54-10 de la AACC (1983), mediante un microextensógrafo de Brabender (Brabender Instruments; Düisburg, Alemania). Estos parámetros se registraron después de un reposo de la masa de trigo de 45 min. Posteriormente se elaboró pan por el método directo de panificación (método 10-10; AACC, 1983) y se midió el volumen de la hogaza por desplazamiento de semillas. Cada determinación se hizo por triplicado y se tomó su promedio como valor para el análisis experimental. Finalmente, el pan obtenido fue evaluado por 15 jueces entrenados usando una escala para determinar la calidad del pan, en cuanto a su apariencia externa e interna y textura del grano (excelente, muy buena, buena, regular, pobre y muy pobre) en cuanto a color de miga y corteza (crema, amarillo crema, amarillo, café y, café oscuro) (Salazar y Rodríguez, 1981).

Análisis estadístico

Se llevó a cabo usando un diseño completamente al azar con arreglo factorial, con dos repeticiones por tratamiento. De las muestras iniciales de ambas variedades de trigo, se tomaron al azar 10 unidades experimentales de un kilogramo cada una, correspondientes a dos controles (uno para cada variedad, Oasis y Salamanca) y ocho para las combinaciones de dos variedades y cuatro temperaturas (40, 60, 80 y 100°C), las cuales se secaron, hasta alcanzar humedades finales del grano menores de 14 %. Las variables de respuesta medidas fueron las determinaciones hechas al grano y harinas, según se describe en la sección

anterior. A los resultados obtenidos se les realizó análisis de varianza, y comparación múltiple de medias (prueba de Tukey) usando un paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System, SAS Institute, 1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características fisicoquímicas en granos y harinas

Las medias del peso hectolítrico y del peso de mil granos resultaron significativamente mayores ($P \leq 0.05$) para la variedad Oasis que para la variedad Salamanca, mientras que la media de dureza (%) fue significativamente menor en la variedad Oasis de textura dura que en la variedad Salamanca de textura suave (Cuadro 1). Al respecto, Pomeranz (1988) indicó que los criterios físicos intrínsecos de calidad del grano dependen de la densidad, la humedad, uniformidad de los granos y son característicos de cada variedad. El peso hectolítrico y la dureza son considerados por el molinero como características importantes, por su relación con el porcentaje de extracción de harina para productos panificables, y se utilizan generalmente a nivel mundial en la comercialización del trigo para determinar su precio y uso industrial.

Tales características no fueron afectadas por el incremento de temperatura (Cuadro 2), de manera que no indican el grado del daño por temperatura causado al trigo, lo que coincide con los resultados reportados por Kirsleis *et al.* (1982) y Tosi *et al.* (1986). Por su parte, Finney *et al.* (1962) detectaron sólo una disminución de los valores del peso hectolítrico al subir la temperaturas de secado a más de 100°C, debido a cambios en la densidad del grano. Fellow (1994) también señaló que las características físicas de los granos pueden ser modificadas por la humedad y las condiciones de secado industrial, al provocar contracción o expansión del mismo. En cambio, Tosi *et al.* (1982), al realizar el secado de trigo cosechado con alto contenido de humedad y trigo manualmente humedecido, mostraron que no hubo diferencia significativa en la calidad panadera de las harinas debido al tipo de humedecimiento del grano.

Los contenidos de proteína y de cenizas de las harinas obtenidas a partir de los trigos secados y sus controles, presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) sólo entre variedades, indicando así que el tratamiento térmico tampoco afectó el contenido total de nitrógeno protéico ni el de minerales (cenizas) en las harinas, resultados que coinciden con los de Kirsleis *et al.* (1982). Ambas variedades tuvieron porcentajes de proteína bajos y muy cercanos entre sí, 8.5 % para la variedad Salamanca y 9.5 % para la Oasis (Cuadro 1). Según Kent (1987) y Pomeranz (1988), el contenido de proteína de diferentes variedades

Cuadro 1. Medias de las características fisicoquímicas en los granos y harinas de dos variedades de trigo.

Características químicas y físicas de los granos y harinas de las variedades de trigo.							
Fuente de variación	Granos			Harina			
	¹ PHL	Peso	³ ID	⁴ Prot	⁵ Glu	⁶ C	⁷ H
	(kg/hl)	(g)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Variedad							
Oasis	77.69a	41.28a	41.98b	9.07a	7.6a	0.54a	11.3a
Salamanca	76.50b	40.10b	58.38 ^a	8.04b	5.0b	0.49a	11.2a

¹peso hectolítrico; ²peso de 1000 granos; ³índice de dureza; ⁴proteína (N x 5.7); ⁵gluten; ⁶cenizas; ⁷humedad. Medias con la misma letra no son diferentes estadísticamente (Tukey, 0.05).

Cuadro 2. Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades fisicoquímicas de los granos y de las harinas, en dos variedades de trigo.

Fuente de variación	Granos			Harinas			
	¹ PHL (kg/hl)	² Peso (g)	³ ID (%)	⁴ Prot (%)	⁵ Glu (%)	⁶ C (%)	⁷ H (%)
Var. Oasis							
Control S/T	81.25a	41.6ab	40.0d	9.5a	9.9a	0.53a	12.0a
40°C	75.90d	42.0a	44.8a	9.4a	9.6a	0.54a	12.5b
60°C	76.97c	41.7ab	43.8b	9.0a	8.9b	0.59a	11.5c
80°C	77.61b	41.5ab	41.3c	9.4a	6.0c	0.57a	10.5d
100°C	76.84c	40.07b	35.0e	9.3a	4.0d	0.58a	9.5e
Salamanca							
Control S/T	79.17a	40.59ab	58.0d	8.5a	7.2a	0.49a	12.5a
40°C	75.48c	41.60a	60.0b	8.2a	7.4a	0.48a	12.0a
60°C	76.56b	41.11ab	63.3a	8.5a	6.8b	0.47a	11.5b
80°C	76.40b	40.50ab	59.0c	8.4a	4.0c	0.47a	10.5c
100°C	75.33c	39.57b	57.0e	8.3a	0.0d	0.48a	10.0d

var = variedad; S/T = sin tratamiento; ¹peso hectolítrico; ²peso de 1000 granos; ³índice de dureza; ⁴proteína (Nx5.7); ⁵gluten; ⁶cenizas; ⁷humedad. Medias con la misma letra no son diferentes estadísticamente (Tukey, 0.05).

de trigo depende tanto de factores genéticos como del ambiente en el que se cultivan.

En ambas variedades el porcentaje de gluten disminuyó ($P \leq 0.05$) conforme aumentó la temperatura de secado, debido a la desnaturalización térmica de sus proteínas (Cuadro 2). Específicamente, el trigo de la variedad Salamanca secado a 100°C presentó gluten con aspecto y textura desintegrada, efecto que no fue posible medir. Esta misma variedad mostró gluten con más expansión en comparación con el gluten del trigo Oasis, debido a las características de la propia variedad de trigo. Similarmente, Lupano y Añón (1987), Pomeranz (1991) y Weegels *et al.* (1994), señalaron modificaciones en las propiedades funcionales del gluten como consecuencia de las altas temperaturas de secado. Los promedios del contenido de humedad en las harinas, solamente presentaron diferencias significativas entre temperaturas ($P \leq 0.05$).

Características reológicas en masas (obtenidas a partir de las harinas de trigo) y calidad del pan

La estabilidad de las masas, medida con el farinógrafo de Brabender, aumentó ($P \leq 0.05$) con los incrementos en la temperatura de secado, mientras que el índice de tolerancia al mezclado disminuyó de valor en las dos variedades de trigo. El tiempo de desarrollo también disminuyó con el

incremento de temperatura, excepto a 80°C, temperatura a la que este parámetro se elevó por arriba del testigo o control (Cuadro 3). Weegels *et al.* (1994) también lograron determinar adecuadamente, con este mismo equipo, las características de mezclado de las masas del trigo previamente sometido a tratamiento térmico. En cambio, Ghaly *et al.* (1973) consideran que los parámetros farinográficos no fueron buenos indicadores del tratamiento térmico del trigo.

El análisis realizado a las masas de trigo con el extensógrafo de Brabender mostró además que la resistencia a la extensión (tenacidad) aumentó, y la extensibilidad de las masas disminuyó, conforme la temperatura de secado se incrementó (Cuadro 4). Cuando el tratamiento térmico del trigo fue más drástico (100°C) se registraron extensogramas con valores de resistencia a la extensión altos (1000 U.B.), característicos de gluten muy tenaz. Al respecto, Schofield *et al.* (1983), Jeanjean *et al.* (1980) y Weegels *et al.* (1994) indicaron que la desnaturalización térmica del gluten produce pérdida estructural de sus proteínas, lo que ocasiona entrecruzamiento de sus enlaces disulfuro y la formación de nuevos agregados protéicos que hacen a la masa de trigo más tenaz.

La fuerza de la masa, determinada por el área de los extensogramas, para granos de trigo secados a 40 y 60°C,

fue estadísticamente mayor que la fuerza respectiva de los trigos control, en ambas variedades (Cuadro 4). En cambio, los granos secados a 80 y 100 °C presentaron masas con menor fuerza, más tenaces y poca elasticidad. Jeanjean *et al.* (1980), Kent (1987), He *et al.* (1991) y Weegels *et al.* (1994) reportaron que el trigo con bajo contenido de proteína y gluten de poca fuerza sometido a proceso térmico de secado, mejoró ligeramente sus características de panificación al aumentar la fuerza de la masa debido a leves modificaciones de las proteínas del gluten. En este estudio, el calentamiento del trigo a altas temperaturas produjo gluten muy tenaz, es decir, menos elástico y extensible.

Los valores medios del volumen del pan presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) tanto entre variedades como entre temperaturas, y disminuyeron con el aumento de temperatura en ambas variedades de trigo. Como era de esperarse, estos valores fueron menores en la variedad

Salamanca de trigo suave y gluten débil que en la variedad Oasis de trigo duro y gluten fuerte (Cuadro 3).

Los panes elaborados con las harinas de los trigos secados a 40 °C para ambas variedades, tuvieron volúmenes ligeramente mayores que el control, con incrementos de 4 % aproximadamente, mientras que con secado a 80 y 100 °C, los volúmenes del pan fueron significativamente menores (Cuadro 4).

Estos resultados coinciden con los de Kent (1987), quien observó un ligero aumento del volumen del pan en trigos secados a temperaturas menores de 60 °C, con respecto al control; ello como consecuencia tanto de las modificaciones que sufren las proteínas del gluten, así como por la inactivación de enzimas proteolíticas, que ocurre entre 55 y 60 °C. Los panes obtenidos con ambas variedades de trigos secados a 40 y 60 °C, en comparación con los controles respectivos, presentaron buena apariencia tanto externa como interna y corteza amarilla.

Cuadro 3. Valores promedio de los parámetros reológicos de las masas y volumen del pan en dos variedades de trigo.

Fuente de variación	Farinógrafo			Extensógrafo			Pan
	¹ TD (min)	² ITM (UB)	³ E (min)	⁴ Ext (cm)	⁵ RE (UB)	⁶ a (cm ²)	⁷ V (cm ³)
Variedad							
Oasis	1.51 ^a	73.60a	3.49 ^a	10.96h	761.43a	156.4a	645a
Salamanca	1.34b	51.00b	2.39b	13.25 ^a	649.46b	110.5b	536b

¹tiempo de desarrollo; ²índice de tolerancia al mezclado; ³estabilidad; ⁴extensibilidad; ⁵resistencia a la extensión; ⁶área bajo la curva; ⁷UB = unidades Brabender; volumen pan. Medias con la misma letra no son diferentes estadísticamente (Tukey, 0.05).

Cuadro 4. Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades reológicas de las masas y volumen del pan en dos variedades de trigo.

Fuente de variación	Farinógrafo			Extensógrafo			Pan
	¹ TD (min)	² TM (UB)	³ E (min)	⁴ Ext (cm)	⁵ Re (UB)	⁶ A (cm ²)	⁷ V (cm ³)
Oasis							
Control S/T	1.72b	110a	2.78c	13.0b	595e	168c	675b
40°C	1.47c	70c	2.59d	15.6a	636d	186a	700a
60°C	1.30d	98b	2.88c	11.4c	700c	170b	680b
80°C	1.90a	40c	3.98b	10.2d	876b	138d	625c
100°C	1.18e	50d	5.25a	4.6c	1000a	118e	545d
Salamanca							
Control S/T	1.48b	70a	1.20d	17.0b	400e	123c	600b
40°C	1.30c	50c	1.90c	19.3a	520d	140a	620a
60°C	1.20d	65b	1.40d	14.3c	600c	130b	600b
80°C	1.62a	30e	3.45b	11.4d	725b	95.5d	560c
100°C	1.14e	40d	4.05a	4.2e	1000a	64.0e	300d

var = variedad; S/T = sin tratamiento; ¹tiempo de desarrollo; ²índice de tolerancia al mezclado; ³estabilidad; ⁴extensibilidad; ⁵resistencia a la extensión; ⁶área bajo la curva; UB = unidades Brabender; ⁷volumen de pan. Medias con la misma letra no son diferentes estadísticamente (Tukey, 0.05).

Las características internas y externas de los panes fueron más pobres conforme la temperatura de secado aumentó. El pan elaborado con trigo secado a 80°C presentó textura interna con alveolos compactos y de coloración oscura, mientras que la costra de la hogaza perdió color. El pan obtenido con el trigo secado a 100°C presentó una superficie agrietada, con aspecto interno y externo muy pobre, y baja calidad en cuanto a textura y color de la miga. Galy y Sutherland (1984), He *et al.* (1991) y Guerrieri *et al.* (1996) indicaron que existe una mayor fuerza de agregación de las proteínas desnaturalizadas en trigos de gluten fuerte con mayor contenido de proteína, al mostrar más tolerancia al efecto térmico, que los trigos suaves con gluten débil y menor porcentaje de proteína.

CONCLUSIONES

Las temperaturas de secado estudiadas no afectaron las características fisicoquímicas de los granos. En las harinas el porcentaje de gluten disminuyó en las dos variedades de trigo conforme aumentó la temperatura de secado.

Las harinas de los granos de ambas variedades de trigos secados a 40 y 60 °C proporcionaron masas ligeramente más fuertes y elásticas que la de las harinas control, además de tener un mayor volumen del pan.

Las harinas de gluten débil con menor porcentaje de proteína extraídas de la variedad Salamanca S75, sufrieron un deterioro mayor en las características fisicoquímicas y de panificación que las de los testigos y que las harinas de gluten fuerte y con mayor porcentaje de proteína de la variedad Oasis F89, con las temperaturas de secado evaluadas.

BIBLIOGRAFÍA

- American Association of Cereal Chemists (AACC). 1983. Approved Methods of the AACC. Vol 1 y 2. St. Paul Minnesota, E.U.A.
- Almacenes Nacionales de Depósito, S. A. (ANDSA). 1978. Departamento de Almacenes y Conservación. Laboratorio Central. Manual de Procedimientos de Muestreo y Análisis de Granos. México. pp:10-20.
- Bakker-Arkema, F. W., R. C. Brook, and E. L. Lerew. 1978. Cereal Grain Drying. Ch. 1. In: Advances of Cereal Science and Technology, Vol II. Y. Pomeranz (ed.). Amer. Assoc. Cer. Chemi. St Paul, MN. pp:5.
- Booth, R. M., R. C. Bottomley, S. J. Ellis, G. Malloch, J. D. Schofield, and M. F. Timms. 1980. The effect of heat on gluten physico-chemical properties and baking quality. Ann. Technol. Agric. 29:399-408.
- Brooker, D., F. Bakker-Arkema, and C. Hall. 1975. Drying Cereal Grain. 2ª ed. The AVI Co., Inc. Westport, Conn. U.S.A. pp:51-53.
- Bruce, M. D. 1992. A model of the effect of heated-air drying on bread quality of wheat. J. Agric. Engineering Res. 52:53-76.
- Contreras, R. M., J. V. Zárate, H. C. Santoyo, y R. B. Pérez. 1993. Perspectivas de la Producción de Trigo en la Región del Sur de Sonora Frente al Tratado Trilateral de Libre Comercio. Universidad Autónoma Chapingo. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial (CIESTAAM). Dirección de Centros Regionales Universitarios. pp:24-25.
- Fellow, P. 1994. Tecnología del Proceso de los Alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp:290-316.
- Finney, F. K., D. M. Shogren, R. C. Hoseney C. L. Bolte, and E. G. Heyne. 1962. Chemical, physical, and baking properties of preripe wheat dried at varying temperatures. Agron. J. 54:244-247.
- Ghaly, T. F., A. R. Edward, and S. J. Ratcliffe. 1973. Heat-induced damage in wheat as a consequence of spouted bed drying. J. Agric. Engineering Res. 18:95-106.
- Ghaly, T. F. and P. A. Taylor. 1982. Quality effects of heat treatment of two wheat varieties. J. Agric. Engineering Res. 27:227-234.
- Ghaly, T. F. and W. J. Sutherland. 1984. Heat damage to grain and seeds. J. Agric. Engineering Res. 30:337-345.
- Giner, S. A. and A. Calvelo. 1987. Modelling of wheat drying in fluidized beds. J. Food Sci. 52:1358-1363.
- Guerrieri, N., E. Alberti, V. Lavelli, and P. Cerletti. 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. H. Feng, and R. C. Hoseney. 1991. Differences between flours in the rate wheat proteins solubility. Cereal Chemistry 68(6):641-664.
- Hook, C. W. 1980. Dye-binding capacity as a sensitive index for the thermal denaturation of wheat protein. A test for heat damaged wheat. J. Sci. Food Agric. 31:67-81.
- Irizar, G. M. 1990. Caracterización de variedades de trigo (*Triticum aestivum*) y cebada (*Hordeum vulgare*) por electroforesis de sus prolaminas. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillos. México. 105 p.
- Jeanjean, F. M., R. Damidaux, and P. Feillet. 1980. Effect of heat treatment on protein solubility and viscoelastic properties of wheat gluten. Cereal Chemistry 57:325-331.
- Kent, L. N. 1987. Tecnología de los Cereales. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España pp:69-83.
- Kirleis, W. A., T. L. Housley, A. M. Emam, F. L. Patterson, and M. R. Okos. 1982. Effect of preripe harvest and artificial drying on the milling and baking quality of soft red winter wheat. Crop Sci. 22:871-876.
- Lupano, E. C. and C. M. Añón. 1986. Denaturation of wheat germ proteins during drying. Cereal Chemistry 63:259-262.
- Lupano, E. C. and C. M. Añón. 1987. Denaturation of wheat endosperm proteins during drying. Cereal Chemistry 64:437-442.
- McDermott, E. E. 1971. The turbidity test as a measure of thermal denaturation of proteins in wheat. J. Sci. Food Agric. 22:69-72.
- Pomeranz, Y. 1988. Wheat Chemistry and Technology Vol I y II. American Association of Cereal Chemistry. St. Paul Minnesota, E.U.A. pp:131-134, 166-172.
- Pomeranz, Y. 1991. Proteins: general. In: Functional Properties of Food Components. Pomeranz, Y. (ed.). Academic Press. San Diego, CA. E.U.A. pp:147-189.
- Preston, R. K., B. C. Morgan, R. H. Kilborn, and K. H. Tipples. 1989. Assessment of heat damage in Canadian hard red spring wheat. Sci. Technol. Can. Food J. 22:63-69.
- Salazar, Z. A. y B. F. Rodríguez. 1981. Calidad industrial del trigo, métodos químicos y reológicos usados en el laboratorio de farinología. Publicación especial No. 37. Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste (CIANO). pp:20-30.
- S.A.S. 1990. SAS User's Guide: Statistics. 6.04. Cary, NC.
- Schofield, D. J., R. C. Bottomley, F. M. Timms, and R. Booth. 1983. The effect of heat on wheat gluten and the involvement of sulphide interchange reactions. J. Cer. Sci. 1:241-253.

- Tosi, E., E. Ré, O. Catalano, y A. Cazzoli. 1982. Secado de trigo por lecho fluidizado. *La Alimentación Latinoamericana* 16(133):61-80.
- Tosi, E., E. Ré, L. Tapiz, S. Macías, y M. Ferreghini. 1986. Secado de trigo en secaderos de flujo cruzado. Propiedades que modifican en el grano y en la harina. *Rev. Agroquímica y Tecnol. Alimentos* 26:139-147.
- Vizcarra, M. M., A. E. Recio, L. Vázquez, y R. M. Ruiz. 1998. Efecto del contenido de humedad y la temperatura en la determinación de la difusividad del agua durante el secado de trigo en lecho fluidizado. *Tecnología Ciencia Educación. Instituto Mexicano de Ingeniería Química* 13(1-2):11-19.
- Weegels, L. P., A. J. Verhoek, A. G. de Groot, and R. J. Hamer. 1994. Effects on gluten of heating at different moisture contents. 1. Changes in functional properties. *J. Cer. Sci.* 19:31-38.