

Calidad industrial del trigo harinero en función del número de riegos*

Industrial quality of wheat flour according to the number of irrigations

Elíel Martínez Cruz¹, Eduardo Espitia Rangel^{1§}, Héctor Eduardo Villaseñor Mir¹, René Hortelano Santa Rosa¹, Erica Muñiz Reyes¹ y Adriana Zamudio Colunga¹

¹Campo Experimental Valle de México- INIFAP. Carretera km 13.5, Los Reyes-Texcoco, Coatlínchan, Texcoco, Estado de México. CP. 56250. (martinez.eliel@inifap.gob.mx; villaseñor.hector@inifap.gob.mx; hortelano.rene@inifap.gob.mx; muñiz.eric@inifap.gob.mx; adrizamco@hotmail.com. [§]Autor para correspondencia: espitia.eduardo@inifap.gob.mx.

Resumen

En 2013 la producción del trigo en México dependió 4% del agua de riego; sin embargo, existe menor disponibilidad de éste recurso. Por lo que usualmente los programas de mejoramiento genético en las zonas de riego evalúan el rendimiento de grano y el uso del agua, pero falta conocer el efecto de este factor sobre la calidad industrial. Por lo que el objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad industrial del trigo harinero en función del número de riegos. Se utilizaron diez variedades comerciales y se aplicaron riegos a los 0-35, 0-35-70, 0-35-70-105 y 0-35-70-105-125 días. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con dos repeticiones con arreglo en parcelas divididas. La unidad experimental fue de cuatro surcos de 3 m y una separación de 30 cm. Las variables evaluadas fueron peso hectolítrico, dureza del grano, contenido de proteína en harina, tiempo de amasado, fuerza de la masa, relación tenacidad/extensibilidad y volumen de pan. Mediante tres riegos se obtuvieron los mayores contenidos de proteína en harina, fuerza de la masa y volumen de pan y disminuyeron con cuatro y cinco. De manera general mediante dos, tres y cuatro riegos los genotipos presentaron volúmenes de pan mayores a 800 mL, por su fuerza de la masa superior a $350 \cdot 10^{-4}$ J y valores de

Abstract

In 2013 wheat production in México depended on 4% of irrigation water; however, there is less availability of this resource. As a result, genetic improvement programs in irrigation areas usually evaluate grain yield and water use, but the effect of this factor on industrial quality is missing. Therefore, the objective of this research was to evaluate the industrial quality of wheat flour according to the number of irrigations. Ten commercial varieties were used and irrigations were applied at 0-35, 0-35-70, 0-35-70-105 and 0-35-70-105-125 days. The experimental design was of complete random blocks with two replicates with treatment arrangement in split plots. The experimental unit was four furrows of 3 m and a separation of 30 cm. The evaluated variables were hectoliter weight, grain hardness, protein content in flour, kneading time, mass strength, tenacity/extensibility ratio and bread volume. By means of three irrigations the highest protein content in flour, strength of the dough and bread volume were obtained and decreased with four and five. Generally, by two, three and four irrigations the genotypes presented bread volumes greater than 800 mL, due to their mass strength greater than $350 \cdot 10^{-4}$ J and tenacity/extensibility values lower than 1.2, while with five

* Recibido: agosto de 2017
Aceptado: noviembre de 2017

tenacidad/extensibilidad menores a 1.2, mientras con cinco riegos la mayoría de los genotipos mostraron volúmenes de pan menores a 800 mL debido al menor contenido de proteína y fuerza de la masa. Lo anterior indica que, mediante el número de riegos, la fecha de aplicación y variedades es posible modificar la calidad industrial del trigo harinero.

Palabras clave: calidad panadera, número de riegos, trigo harinero.

Introducción

En el 2013 en México, se sembraron 683 044 ha de trigo harinero (*Triticum aestivum* L. y trigo macarronero (*T. durum* L.) y se cosecharon 3 357 306 t, lo anterior se produjo en 94.4% en condiciones de riego durante el ciclo otoño-invierno 2013-2014. En este ciclo, en Guanajuato se sembró 100% de su superficie bajo riego que fue de 42 213 ha y aportó 60 250 t, colocándose en el tercer lugar de la superficie sembrada y el sexto lugar en la producción nacional. Así mismo este cultivo ocupó el segundo lugar en área sembrada en el estado (SIAP, 2015). De acuerdo con Bolaños *et al.* (2001) de doce cultivos analizados, el trigo se ubicó en tercer lugar con mayor gasto en lámina de riego con 0.97 m por ciclo agrícola, superado por la fresa y la alfalfa con 1.45 y 1.1 m, respectivamente. La lámina de riego es superior a los promedios del garbanzo, tomate, jitomate, cebolla, brócoli, esparrago, maíz, ejote y frijol.

Lo anterior indica la dependencia de la producción nacional de trigo respecto del agua de riego y explica parcialmente, por qué México gasta más de 80% de su volumen de agua en la agricultura. En 2010 en Guanajuato de 4 134 hm³ año⁻¹ consumidos, 83.1% de agua se destinó para la agricultura y 66.5% provino de mantos acuíferos (CONAGUA, 2010). De tal manera que en Celaya, Guanajuato, en 2004 existían 2 000 pozos con una profundidad de extracción de 80 a 100 m, que suministraban 593*10⁶ m³ de agua al año. Mientras que para 2009 se incrementaron a 2, 887 y se extrajeron 600*10⁶ m³ a una profundidad superior a 110 m (Huizar *et al.*, 2011). Lo anterior contribuyó que desde 2005 Guanajuato se haya declarado con un grado de presión media-fuerte (el grado de presión sobre el recurso hídrico es definido como el volumen total de agua concesionado entre la disponibilidad natural) sobre este recurso (CONAGUA, 2010). Con base a lo anterior y de acuerdo con Geerts y Raes (2009), bajo estas condiciones de deficiencia de agua de riego, deberán de mantenerse los rendimientos y la calidad antropocéntrica de los cultivos.

irrigations the majority of the genotypes showed bread volumes lower than 800 mL due to their lower protein content and mass strength. The above indicates that by managing the number of irrigations, the date of application and varieties it is possible to modify the industrial quality of wheat flour.

Keywords: baking quality, number of irrigations, wheat flour.

Introduction

In 2013 in México, 683 044 ha of wheat wheat (*Triticum aestivum* L. and wheat macaroni (*T. durum* L.) were harvested and harvested 3 357 306 t, the previous occurrence was 94.4% under irrigation conditions during the In the same cycle, in Guanajuato, 100% of its surface under irrigation was planted, which was 42 213 ha and contributed 60 250 t, placing it in the third place of the planted area and the sixth place in the national production. Also this crop occupied the second place in area planted in the state (SIAP, 2015). According to Bolaños *et al.* (2001) of twelve crops analyzed, wheat ranked third with the highest expenditure on its irrigation sheet with 0.97 m per crop cycle, surpassed by strawberry and alfalfa with 1.45 and 1.1 m, respectively. Its irrigation blade is superior to the average of the chickpea, tomato, tomato, onion, broccoli, asparagus, corn, beans and beans.

This indicates the dependence of national wheat production on irrigation water and partially explains why Mexico spends more than 80% of its volume of water in agriculture. In 2010 in Guanajuato of the 4 134 hm³ year⁻¹ consumed, 83.1% of water was destined for agriculture and 66.5% came from the aquifers (CONAGUA, 2010). So that in the municipality of Celaya, Guanajuato, in 2004 there were 2 000 wells with a depth of extraction of 80 to 100 m, which supplied 593*10⁶ m³ of water per year. While for 2009 they increased to 2 887 and 600*10⁶ m³ were extracted at a depth greater than 110 m (Huizar *et al.*, 2011). This has contributed to the fact that Guanajuato has been declared as having medium-strong pressure since 2005 (the degree of pressure on the water resource is defined as the total volume of water granted between natural availability) on this resource (CONAGUA, 2010). Based on the above and according to Geerts and Raes (2009), under these conditions of irrigation water deficiency, the yields and the anthropocentric quality of the crops must be maintained.

En este contexto, Estados Unidos de Norteamérica principal exportador de trigo harinero a México, basa su producción en condiciones de temporal, lo que reduce sus costos de producción. Adicionalmente, el trigo duro rojo de invierno del cual se importan anualmente más de un millón de toneladas (CANIMOLT, 2013), se caracteriza por ser de buena calidad panadera por presentar contenido de proteína de 12.6%, peso hectolítrico de 79.4 kg hL⁻¹, fuerza de la masa de 350*10⁻⁴J, relación tenacidad-extensibilidad de 1.2 y volúmenes de pan de 842 mL (Maghirang *et al.*, 2006).

De tal manera que la producción de trigo harinero de riego producido en México, debe competir, en precio y calidad industrial, con el trigo importado. Con base en lo anterior, es necesario evaluar la cantidad de agua en este cultivo asociada con las características de calidad industrial (Solís *et al.*, 2014). Dado que en los programas de mejoramiento en México para las zonas de riego usualmente se evalúa el rendimiento de grano y el uso del agua de riego; sin embargo, falta caracterizar su calidad industrial en relación con este factor. Por lo que el objetivo de la presente investigación fue determinar el comportamiento de las características de calidad industrial de variedades comerciales de trigo harinero en relación con la aplicación del número de riegos.

Materiales y métodos

Material genético y evaluación en campo

La siembra y cosecha se realizó en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Celaya, Guanajuato. Ubicado a los 20° 32' latitud norte y 100° 48' longitud oeste a 1 752 msnm, con una precipitación de 578 mm y 19.8 °C de temperatura medias anuales. Se utilizaron las variedades de trigo harinero: Zacatecas VT-74, Pavón F76, Gálvez M87, Temporalera M87, Batán F96, Romoga F96, Náhuatl F2000, Rebeca F2000, Tlaxcala F2000 y Juchi F2000. Los genotipos se sembraron en la primer semana de diciembre. Se aplicaron riegos a 0-35 (sequía en embuche), 0-35-70 (sequía en floración), 0-35-70-105 (sequía en llenado de grano) y 0-35-70-105-125 (sin sequía) días.

El número cero indica el riego de siembra y los números siguientes los días a los cuales se aplicaron los riegos de auxilio. El diseño experimental fue bloques completos al azar con dos repeticiones con arreglo de tratamientos en

In this context, the United States of America, the main exporter of wheat flour to México, bases its production under temporary conditions, which reduces its production costs. In addition, the winter red durum wheat of which more than one million tonnes (CANIMOLT, 2013) are imported annually, is characterized as being of good quality bakery for presenting protein content of 12.6%, hectolitic weight of 79.4 kg hL⁻¹, mass strength of 350*10⁻⁴J, tensile-extensibility ratio of 1.2 and pan volumes of 842 mL (Maghirang *et al.*, 2006).

Thus, the production of irrigated wheat flour produced in Mexico must compete, in price and industrial quality, with imported wheat. Based on the above, it is necessary to evaluate the amount of water in this crop associated with the industrial quality characteristics (Solís *et al.*, 2014). Since breeding programs in Mexico for irrigation areas usually evaluate grain yield and irrigation water use; however, there is a need to characterize their industrial quality in relation to this factor. Therefore, the objective of the present investigation was to determine the behavior of industrial quality characteristics of commercial varieties of wheat flour in relation to the application of the number of irrigations.

Materials and methods

Genetic material and field evaluation

The sowing and harvesting took place at the Bajío Experimental Field (CEBAJ) of the National Institute of Agricultural and Livestock Forestry Research (INIFAP), in Celaya, Guanajuato. Located at 20° 32' north latitude and 100° 48' longitude west at 1 752 meters above sea level, with a precipitation of 578 mm and 19.8 °C annual mean temperature. Wheat flour varieties were used: Zacatecas VT-74, Pavón F76, Gálvez M87, Temporalera M87, Batán F96, Romoga F96, Náhuatl F2000, Rebeca F2000, Tlaxcala F2000 and Juchi F2000. Genotypes were sown during the first week of december. Irrigation was applied at 0-35 (drought on inlet), 0-35-70 (flowering drought), 0-35-70-105 (drought in grain filling) and 0-35-70-105-125 (without drought) days.

The number zero indicates the irrigation of sowing and the following numbers on the days to which the irrigation was applied. The experimental design was randomized complete blocks with two replicates with treatment arrangement in

parcelas divididas; la unidad experimental fue de cuatro surcos de 3 m de longitud con una separación de 30 cm, la densidad de siembra fue de 120 kg ha⁻¹, se aplicó la dosis de fertilización 240-60-00, la mitad del N y todo el P₂O₅ con la siembra y el resto del N con el primer riego de auxilio. Como fuente de fertilización se utilizó urea (CO(NH₂)₂) con 46% de N y superfosfato de calcio triple (Ca(H₂PO₄)₂) con 46% de P₂O₅ (Ledesma *et al.*, 2012). El control de las malezas de hoja angosta se realizó con Topik 24EC[®] y las de hoja ancha con Esteron 47[®], treinta días después de la siembra. En la etapa de embuche se aplicó Folicur[®] para controlar la incidencia de enfermedades. La cosecha se realizó con una mini-combinada cuando la humedad del grano fue menor a 13%.

Variables evaluadas en laboratorio

Los análisis de calidad industrial se realizaron en el Laboratorio de Farinología del Campo Experimental Valle de México del INIFAP. En una muestra limpia de 500 g se determinó el peso hectolítrico (kg hL⁻¹) de grano en una balanza volumétrica (Seedburo Equipment CO., Chicago, IL.). La dureza de grano (%) se calculó mediante el índice de perlado en 20 g de grano, el cual indica la facilidad de eliminar parcialmente sus capas externas, utilizando un procedimiento de abrasión estandarizado. Los valores obtenidos menores a 47% se clasifican como granos de endospermo suave. Mediante un molino Brabender (Quadrumat Senior, C.W. Brabender OHG, Alemania) y con un cernido a través de una malla de 129 µm de diámetro se obtuvo la harina refinada.

El contenido de proteína en harina se midió con el analizador NIR infralyzer 300 (método 39-10; AACC, 2005). La variable tiempo de amasado se determinó en el mixógrafo de Swanson (National Mfg., EE.UU) en 10 g de harina refinada con el método 54-40A de la AACC (AACC, 2005). La fuerza (W) y la relación de tenacidad/extensibilidad (PL) de la masa, se calcularon del alveograma el cual se obtuvo de 60 g de harina refinada utilizando el Alveógrafo de Chopin (Tripette & Renaud, Francia) usando el método 54-30A de la AACC (2005). Las masas se clasificaron con base en su W y PL. Por su W, valores mayores de 300*10⁻⁴ J se agruparon en masas fuertes, de 200*10⁻⁴ J a 300*10⁻⁴ J medias fuertes; menores de 200*10⁻⁴ J en débiles. Por su PL en masas balanceadas (PL= 1.1), extensibles (PL< 1) y tenaces (PL> 1.2). El volumen de pan (mL) se realizó mediante el método de masa directa (método 10-09, AACC, 2005) a partir de 100 g de harina refinada y se determinó en un volutómetro por desplazamiento de semillas de colza (*Brassica campestris* L.).

split plots; the experimental unit was four furrows of 3 m in length with a separation of 30 cm, the seed density was 120 kg ha⁻¹, the fertilization rate 240-60-00, half of the N and the whole P₂O₅ with the sowing and the rest of the N with the first irrigation of aid. As fertilizer source, urea (CO(NH₂)₂) was used with 46% N and triple calcium superphosphate (Ca(H₂PO₄)₂) with 46% P₂O₅ (Ledesma *et al.*, 2012). Control of narrow-leaf weeds was performed with Topik 24EC[®] and broad-leafed weeds with Esteron 47[®], thirty days after sowing. Folicur[®] was applied at the embedding stage to control the incidence of diseases. Harvesting was done with a mini-combine when grain moisture was less than 13%.

Variables evaluated in laboratory

The industrial quality analyzes were carried out in the Laboratory of Farinology of the Valley of Mexico Experimental Field of INIFAP. In a clean sample of 500 g the hectolitic weight (kg hL⁻¹) of grain was determined on a volumetric balance (Seedburo Equipment CO., Chicago, IL.). The grain hardness (%) was calculated by the pearl index in 20 g of grain, which indicates the ease of partially removing its outer layers, using a standardized abrasion procedure. Values less than 47% are classified as soft endosperm grains. Using a Brabender mill (Quadrumat Senior, C.W. Brabender OHG, Germany) and making a sifting through a mesh of 129 µm in diameter the refined flour was obtained.

The protein content in flour was measured with the NIR analyzer infralyzer 300 (method 39-10; AACC, 2005). The variable kneading time was determined in the Swanson mixograph (National Mfg., USA) in 10 g of flour refined with the AACC method 54-40A (AACC, 2005). The strength (W) and the tenacity/extensibility ratio (PL) of the mass were calculated from the alveogram which was obtained from 60 g refined flour using the Chopin Alveograph (Tripette & Renaud, France) using method 54-30A of the AACC (2005). The masses were classified based on their W and PL. For their W, values greater than 300*10⁻⁴ J were grouped into strong masses, from 200*10⁻⁴ J to 300*10⁻⁴ J strong averages; less than 200*10⁻⁴ J in weak. For their PL in balanced masses (PL= 1.1), extensible (PL< 1) and tenacious (PL> 1.2). The volume of bread (mL) was made by the direct mass method (method 10-09, AACC, 2005) from 100 g of refined flour and was determined in a volumetric by displacement of rapeseed (*Brassica campestris* L.).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza utilizando el programa GLM del SAS (SAS Institute, 2002) y se realizó la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ≤ 0.05 para identificar las diferencias entre calendarios de riego y variedades.

Resultados y discusión

Se encontraron diferencias significativas entre calendarios de riego y genotipos para todas las variables de calidad industrial analizadas, lo que concuerda con lo reportado por Huang *et al.* (2004), Ghanbari (2010), Seleiman *et al.* (2011) y Weiwei *et al.* (2015). Para la interacción genotipo por calendario de riego se encontraron diferencias en la mayoría de los parámetros probados excepto para dureza de grano (Cuadro 1).

Statistical analysis

A variance analysis was performed using GLM of SAS program (SAS Institute, 2002) and the means comparison was performed using the test Tukey ≤ 0.05 to identify differences between irrigation schedules and varieties

Results and discussion

Significant differences were found between irrigation schedules and genotypes for all industrial quality variables analyzed, which agrees with that reported by Huang *et al.* (2004), Ghanbari (2010), Seleiman *et al.* (2011) and Weiwei *et al.* (2015). For genotype interaction by irrigation timing differences were found in most of the parameters tested except for grain hardness (Table 1).

Cuadro 1. Cuadrados medios de rendimiento de grano y variables de calidad industrial de trigos harineros bajo diferentes calendarios de riego.

Table 1. Mean squares grain yield and industrial quality variables bread wheat under different irrigation schedules.

| FV | gl | PHL | DG | PH | TAM | W | PL | VP |
|----------------|----|--------|---------|--------|-------|------------|--------|--------------------|
| Calendario (C) | 3 | 13.1** | 169.5** | 27.4** | 1.7** | 339780.7** | 0.3** | 99137.7** |
| Repetición | 1 | 0.44 | 0.6 | 0.09 | 0.13 | 3892.05 | 0.02 | 5*10 ⁻³ |
| Genotipo (G) | 9 | 5.5** | 243.6** | 2.9** | 2.3** | 33602.3** | 0.4** | 5054.1** |
| G*C | 27 | 0.9* | 4.3 ns | 0.3** | 0.18* | 8362.5** | 0.07** | 5913.5** |
| Error | 36 | 0.4 | 2.8 | 0.1 | 0.09 | 2593.4 | 0.03 | 1010.8 |
| CV | | 0.8 | 4.1 | 3.2 | 8.4 | 9.7 | 21.2 | 3.7 |

*, **= significativas con $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$; Gen= genotipo; FV= fuente de variación; gl= grados de libertad; PHL= peso hectolítrico; DG= dureza de grano; PH= proteína en harina; TAM= tiempo de amasado; W= fuerza de la masa; PL= relación tenacidad/extensibilidad; VP= volumen de pan; CV= coeficiente de variación.

El contenido de proteína en harina, fuerza de la masa y volumen de pan exhibieron sus valores mayores cuando se aplicó el calendario de dos riegos de auxilio, y disminuyeron con los de tres y cuatro (Cuadro 2).

El incremento de proteína y la fuerza de la masa, de acuerdo a lo señalado por Konopka *et al.* (2007) y Flumignan *et al.* (2013), en asociación con buena extensibilidad, por su $PL < 1$, propició volúmenes de pan mayores a 900 mL (Cuadro 2). Esto apoya a lo indicado por Aslani *et al.* (2006) y Chang *et al.* (2009) quienes encontraron que los volúmenes altos de pan son favorecidos por la extensibilidad mayor de la masa. Mediante la utilización de tres riegos de auxilio fue

The protein content in flour, bread strength and volume of bread showed their highest values when the schedule of two irrigations were applied, and decreased with those of three and four (Table 2).

The increase of protein and the force of the mass, according to the indicated by Konopka *et al.* (2007) and Flumignan *et al.* (2013), in association with good extensibility, by $PL < 1$, caused volumes of bread larger than 900 mL (Table 2). This supports what Aslani *et al.* (2006) and Chang *et al.* (2009) who found that the high volumes of bread are favored by the greater extensibility of the mass. By using three rescue irrigations it was possible to obtain strong

posible obtener características de masa fuerte con excelente extensibilidad, por su W mayor a 300×10^{-4} J y PL=0.7, lo cual produjo volúmenes de pan superiores a 800 mL, apropiados para la industria de la panificación (Cuadro 2).

mass characteristics with excellent extensibility, with W greater than 300×10^{-4} J and PL= 0.7, which produced bread volumes above 800 mL, suitable for industry of breadmaking (Table 2).

Cuadro 2. Comparación de medias de variables de calidad industrial de trigo harinero por calendario de riego.
Table 2. Comparison of means of industrial quality variables of wheat flour by irrigation schedule.

| Calendarios de riego | PHL (kg hL ⁻¹) | DG (%) | PH (%) | TAM (min) | W (10-4 J) | PL (0.1-6) | VP (mL) |
|----------------------|----------------------------|--------|--------|-----------|------------|------------|---------|
| 0-35 | 79.2 b [†] | 43.6 a | 10.2 c | 4 a | 497.6 b | 1 a | 812.8 c |
| 0-35-70 | 78.6 c | 41.6 b | 12.5 a | 3.5 b | 701.4 a | 0.8 b | 943.5 a |
| 0-35-70-105 | 79.4 b | 37.6 c | 11.3 b | 3.6 b | 507.7 b | 0.7 c | 869.5 b |
| 0-35-70-105-125 | 80.5 a | 37.9 c | 10 c | 3.3 c | 387.8 c | 0.8 b | 779.2 d |
| DSH | 0.5 | 1.4 | 0.3 | 0.2 | 43.3 | 0.1 | 18 |

[†]= Valores medios con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes. PHL= peso hectolítico; DG= dureza de grano; PH= proteína en harina; TAM= tiempo de amasado; W= fuerza de la masa; PL= relación tenacidad/extensibilidad; VP= volumen de pan; CV= coeficiente de variación. DSH= diferencia significativa honesta.

Adicionalmente se asoció con pesos hectolítricos superiores a 75 kg hL⁻¹, lo que favorecerá el rendimiento harinero en la industria molinera, lo cual concuerda con Baasandorj *et al.* (2015) quienes indicaron que granos con pesos hectolítricos altos favorecen la extracción de la harina. La aplicación del calendario de cuatro riegos de auxilio produjo los valores más altos en peso hectolítico; sin embargo, se asoció con los valores más bajos de proteína, tiempo de amasado, fuerza de la masa y volumen de pan, mientras que con un solo riego de auxilio, las características de calidad industrial presentaron valores aceptables para la industria nacional (Cuadro 2).

El mejor volumen de pan se obtuvo con el calendario de 0-35-70; es decir, cuando se tuvo sequía durante la floración, esto coincide con el mayor contenido de proteína en la harina y con la mayor fuerza. El calendario de riego 0-35-70-105, cuando la sequía se presentó en llenado de grano se obtuvo el segundo mejor volumen de pan, coincidiendo esto con el segundo mejor contenido de proteína y fuerza de la masa. El tercer valor de volumen de pan se obtuvo cuando la sequía se presentó en el estado de embuche con el calendario 0-35 y el menor volumen de pan se obtuvo sin sequía con el calendario 0-35-70-105-125 asociándose con los valores más bajos de proteína en la harina y fuerza de la masa. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Konopka *et al.* (2007) y Flumignan *et al.* (2013). Al igual que lo encontrado en este estudio Kimball *et al.* (2001) quienes reportaron que la calidad disminuye cuando el trigo crece en condiciones sin estrés.

In addition, it was associated with hectoliter weights greater than 75 kg hL⁻¹, which will favor flour yield in the milling industry, which is in agreement with Baasandorj *et al.* (2015) who indicated that grains with high hectoliters weights favor the extraction of flour. The application of the four-irrigation schedule yielded the highest values in hectoliter weight; however, it was associated with the lowest values of protein, kneading time, mass strength and bread volume, while a with an only irrigation of aid, the industrial quality characteristics presented acceptable values for the national industry (Table 2).

The best bread volume was obtained with the 0-35-70 calendar; that is, when there was drought during flowering, this coincides with the higher protein content in the flour and with the greatest strength. The irrigation schedule 0-35-70-105, when the drought was presented in grain filling the second best bread volume was obtained, coinciding with the second best protein content and mass strength. The third value of bread volume was obtained when the drought was presented in the state of embouchure with the calendar 0-35 and the smaller volume of bread was obtained without drought with the calendar 0-35-70-105-125 associating with the lower values of protein in the flour and strength of the dough. These results are consistent with those reported by Konopka *et al.* (2007) and Flumignan *et al.* (2013). As found in this study Kimball *et al.* (2001) who reported that quality decreases when wheat grows in stress-free conditions.

Con excepción de la variedad Gálvez M87, que mostró grano suave, todas las variedades se caracterizaron por presentar grano duro por sus valores menores a 47%, (Cuadro 3), que es apropiado para mejorar la calidad panadera de acuerdo con Barrera *et al.* (2007), dado que existe una cantidad de almidón dañado durante la molienda, lo que provoca mayor absorción de agua y facilita la acción de las enzimas, lo cual incrementa la producción de gas durante la fermentación. Todas las variedades originaron masas que se clasificaron como fuertes por su $W > 300 \times 10^{-4} \text{ J}$, lo cual se debe en parte a la calidad de sus alelos de proteínas presentes en la harina que favorecen la fuerza del gluten (Espitia *et al.*, 2008).

Con base en su PL, la mayoría de las variedades se agruparon como extensibles por sus valores menores a 1.1. Las excepciones fueron Tlaxcala F2000 y Rebeca F2000, que se clasificaron como balanceadas y tenaces por su PL= 1 y mayor de 1.2, respectivamente (Cuadro 3). Por lo que la mayoría de los genotipos combinaron masas fuertes y extensibles, que favorecen el volumen de pan.

With the exception of the variety Galvez M87, which showed soft grain, all varieties were characterized by hard grain at values lower than 47%, (Table 3), which is appropriate to improve the baking quality according to what is reported by Barrera *et al.* (2007), since there is an amount of starch damaged during grinding, which causes greater absorption of water and facilitates the action of the enzymes, which increases the production of gas during fermentation. All varieties gave rise to masses that were classified as strong by their $W > 300 \times 10^{-4} \text{ J}$, which is due in part to the quality of their protein alleles present in the flour that favor the gluten strength (Espitia *et al.*, 2008).

Based on their PL, most of the varieties were grouped as extensible for their values lower than 1.1. The exceptions were Tlaxcala F2000 and Rebeca F2000, which were classified as balanced and tenacious by their PL= 1 and greater than 1.2, respectively (Table 3). Therefore, most of the genotypes combined strong and extensible masses, which consequently favor the bread volume.

Cuadro 3. Comparación de medias de variables de calidad industrial de variedades de trigo harinero bajo condiciones de diferentes calendarios de riego.

Table 3. Comparison of means of industrial quality variables of wheat wheat varieties under different irrigation schedule conditions.

| Variedades | PHL (kg hL ⁻¹) | DG (%) | PH (%) | TAM (min) | W (10 ⁻⁴ J) | PL (0.1-6) | VP (mL) |
|-----------------|-------------------------------|-----------|-----------|--------------|---------------------------|---------------|------------|
| Temporalera M87 | 79.5 b | 39.1 cb | 11.6 ba | 3.4 b | 536.6 bc | 0.7 cbd | 883.1 a |
| Náhuatl F2000 | 79.1 cb | 38.6 cb | 11.4 ba | 4.1 a | 651.2 a | 0.72 cd | 880.6 a |
| Pavón F76 | 79.5 b | 39 cb | 11.2 bac | 3.1 cb | 513.1 bcd | 0.8 cbd | 873.7 a |
| Zacatecas VT74 | 79.8 ba | 39.2 cb | 11.2 bac | 3.3 b | 510.8 bcd | 0.86 cbd | 869.1 a |
| Romoga F96 | 79.6 b | 37.2 c | 11 bc | 3.4 b | 464.5 cd | 0.73 cd | 869.1 a |
| Juchi F2000 | 80.9 a | 36.5 c | 11.1 bac | 3.5 b | 455.2 cd | 0.6 d | 859.1 a |
| Gálvez M87 | 78.2 c | 55.5 a | 9.5 d | 3.5 b | 498.3 bcd | 0.56 d | 850 ba |
| Tlaxcala F2000 | 79.9 ba | 38 c | 11.6 a | 4.4 a | 576.2 ba | 1 b | 838.1 ba |
| Batán F96 | 78 c | 41.1 b | 10.7 c | 2.8 c | 446.7 d | 0.9 cb | 828.7 ba |
| Rebeca F2000 | 80.0 ba | 37.7 c | 10.7 c | 4.3 a | 583.5 ba | 1.4 a | 800.6 b |
| DSH | 1.0 | 2.8 | 0.5 | 0.5 | 85.7 | 0.3 | 7.2 |

Valores medios con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes. PHL= peso hectolítrico; DG= dureza de grano; PH= proteína en harina; TAM= tiempo de amasado; W= fuerza de la masa; PL= relación tenacidad/extensibilidad; VP= volumen de pan; CV= coeficiente de variación. DSH= diferencia significativa honesta.

La variedad Temporalera M87 presentó el segundo lugar de proteína en harina refinada asociada con masa fuerte y extensible, lo cual se reflejó en su volumen de pan

The variety Temporalera M87 presented the second place of protein in refined flour associated with strong and extensible dough, which was reflected in its bulk bread.

mayor. Esto se corroboró con las correlaciones positivas del volumen de pan con proteína en harina y fuerza de la masa (Cuadro 4). Por otro lado, el volumen de pan se correlacionó negativamente con el PL, lo cual indica que las masas deben presentar mayor extensibilidad; es decir, valores bajos de PL asociado a valores altos de proteína y fuerza de la masa lo cual ya había sido señalado por Sánchez *et al.* (2015).

This was corroborated by the positive correlations of bread volume with protein in flour and mass strength (Table 4). On the other hand, the bread volume was negatively correlated with the PL, which indicates that the masses must have greater extensibility; that is, low PL values associated with high protein values and mass strength, which had already been pointed out by Sánchez *et al.* (2015).

Cuadro 4. Correlaciones de Pearson entre variables de calidad industrial de variedades de trigo harinero bajo diferentes calendarios de riego.

Table 4. Pearson correlations between industrial quality variables of wheat wheat varieties under different irrigation schedules.

| Características | DG (%) | PH (%) | W (10 ⁻⁴ J) | PL (0.1-6) | TAM (min) | VP (mL) |
|----------------------------------------|---------|----------|------------------------|------------|-----------|----------|
| Peso hectolítrico (PHL) | -0.54** | -0.16 ns | -0.44** | 0.03 ns | -0.004 ns | -0.38** |
| Dureza de grano (DG) | | -0.32** | 0.09 ns | -0.15 ns | -0.01 ns | 0.06 ns |
| Proteína en harina (PH) | | | 0.65** | -0.34* | -0.06 ns | 0.71** |
| Fuerza de la masa (W) | | | | 0.05 ns | 0.38** | 0.65** |
| Relación tenacidad/extensibilidad (PL) | | | | | 0.44** | -0.33** |
| Tiempo de amasado (TAM) | | | | | | -0.01 ns |

VP= volumen de pan; *, **= significativas con $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$; ns= no significativo.

Dichas correlaciones se corroboran en los calendarios uno y dos de riego, dado que el volumen de pan se correlacionó positivamente con el contenido de proteína en harina, y negativamente con la relación tenacidad/extensibilidad; mientras que la condición de dos riegos se relacionó positivamente con tiempo de amasado. Por otro lado, la dureza de grano se correlacionó negativamente con el porcentaje de proteína en harina en todos los regímenes de riego; sin embargo, dado que valores altos de esta variable son indicativos de granos suaves, se concluye que granos suaves se asocian con menor porcentaje de proteína en harina (Cuadro 5), es evidente que la asociación del volumen de pan varía a través de los calendarios de riego, debido al incremento en la expresión de algunos caracteres y la disminución en otros.

These correlations are corroborated in schedules one and two of irrigation, as the bread volume correlated positively with protein content in flour, and negatively with the tenacity/extensibility ratio; while in the condition of two irrigations was positively related to kneading time. On the other hand, the grain hardness was negatively correlated with the percentage of protein in flour in all the irrigation regimes; however, since high values of this variable are indicative of soft grains, it is concluded that soft grains are associated with a lower percentage of protein in flour (Table 5), it is evident that the association of bread volume varies through the calendars of irrigation, due to the increase in the expression of some characters and the decrease in others.

La variedad Rebeca F2000 se asoció al mayor peso hectolítrico; sin embargo, su volumen de pan fue el menor. Lo anterior se explica por su $PL > 1.2$, el cual es característico de masas tenaces, las cuales presentan poca extensibilidad de la masa, lo que consecuentemente disminuye el volumen de pan de acuerdo a lo señalado por Sánchez *et al.* (2015).

The variety Rebeca F2000 was associated to the greater weight hectolitic; however, their bread volume was the smallest. This is explained by its $PL > 1.2$, which is characteristic of tenacious masses, which have little extensibility of the mass, which consequently decreases the volume of bread according to Sánchez *et al.* (2015).

Cuadro 5. Correlaciones de Pearson por calendario de riego entre variables de calidad industrial de variedades de trigo harinero.**Table 5. Pearson correlations by irrigation timing between industrial quality variables of wheat wheat varieties.**

| Propiedades | Calendario de riego | DG (%) | PH (%) | W (10-4 J) | PL (0.1-6) | TAM (min) | VP (mL) |
|-------------|---------------------|----------|---------|------------|------------|-----------|----------|
| PHL | 0-35 | -0.33 ns | 0.22 ns | 0.22 ns | 0.2 ns | 0.15 ns | 0.27 ns |
| | 0-35-70 | -0.59 ns | 0.43 ns | -0.01 ns | -0.07 ns | 0.26 ns | 0.37 ns |
| | 0-35-70-105 | -0.77 ns | 0.5* | -0.51* | 0.21 ns | 0.16 ns | -0.53* |
| | 0-35-70-105-125 | -0.34 ns | 0.49** | 0.09 ns | -0.15 ns | 0.06 ns | 0.08 ns |
| DG | 0-35 | | -0.46** | -0.33 ns | -0.43 ns | -0.14 ns | 0.09 ns |
| | 0-35-70 | | -0.8* | -0.27 ns | -0.19 ns | -0.38 ns | -0.49** |
| | 0-35-70-105 | | -0.77* | 0.26 ns | -0.34 ns | -0.11 ns | 0.33 ns |
| | 0-35-70-105-125 | | -0.67* | 0.1 ns | -0.29 ns | -0.03 ns | 0.16 ns |
| PH | 0-35 | | | 0.66* | -0.18 ns | -0.22 ns | 0.5** |
| | 0-35-70 | | | 0.34 ns | 0.44** | 0.51** | 0.5** |
| | 0-35-70-105 | | | -0.17 ns | -0.05 ns | 0.01 ns | 0.17 ns |
| | 0-35-70-105-125 | | | 0.27 ns | -0.03 ns | 0.23 ns | 0.23 ns |
| W | 0-35 | | | | 0.06 ns | 0.37 ns | 0.22 ns |
| | 0-35-70 | | | | 0.01 ns | 0.73* | 0.35 ns |
| | 0-35-70-105 | | | | 0.43** | 0.49** | 0.1 ns |
| | 0-35-70-105-125 | | | | 0.36 ns | 0.74* | 0.22 ns |
| PL | 0-35 | | | | | 0.6* | -0.63** |
| | 0-35-70 | | | | | 0.15 ns | -0.08 ns |
| | 0-35-70-105 | | | | | 0.37 ns | -0.49* |
| | 0-35-70-105-125 | | | | | 0.43 ns | -0.36 ns |
| TAM | 0-35 | | | | | | -0.41 ns |
| | 0-35-70 | | | | | | 0.51** |
| | 0-35-70-105 | | | | | | -0.42 ns |
| | 0-35-70-105-125 | | | | | | 0.05 ns |

*, **= significativas con $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$; ns= no significativo; PHL= peso hectolítrico; DG= dureza de grano; PH= proteína en harina; TAM= tiempo de amasado; W= fuerza de la masa; PL= relación tenacidad/extensibilidad; VP= volumen de pan.

Mediante la aplicación del calendario de tres riegos las variedades Romoga F96, Náhuatl F2000, Juchi F2000, Rebeca F2000, Tlaxcala F2000 y Batán F96 presentaron volúmenes de pan >900 ml (Figura 1d). Lo anterior se debe a que combinaron contenidos de proteína mayores a 12% (Figura 1a), fuerza de la masa superior a $550 \cdot 10^{-4}$ J (Figura 1b) y valores de tenacidad/extensibilidad menor 1.1 (Figura 1c), lo cual indica masas balanceadas que asociadas con alta fuerza de la masa favorecen la calidad panadera, lo cual concuerda con lo indicado por Verheyen *et al.* (2015).

By applying the three irrigation schedule, the varieties Romoga F96, Náhuatl F2000, Juchi F2000, Rebeca F2000, Tlaxcala F2000 and Batán F96 presented bread volumes greater than 900 ml (Figure 1d). This is due to the fact that they combined protein contents greater than 12% (Figure 1a), mass strength greater than $550 \cdot 10^{-4}$ J (Figure 1b) and toughness/ extensibility values lower than 1.1 (Figure 1c), which indicates balanced masses that associate with high mass strength favor the baking quality, which agrees with the one indicated by Verheyen *et al.* (2015).

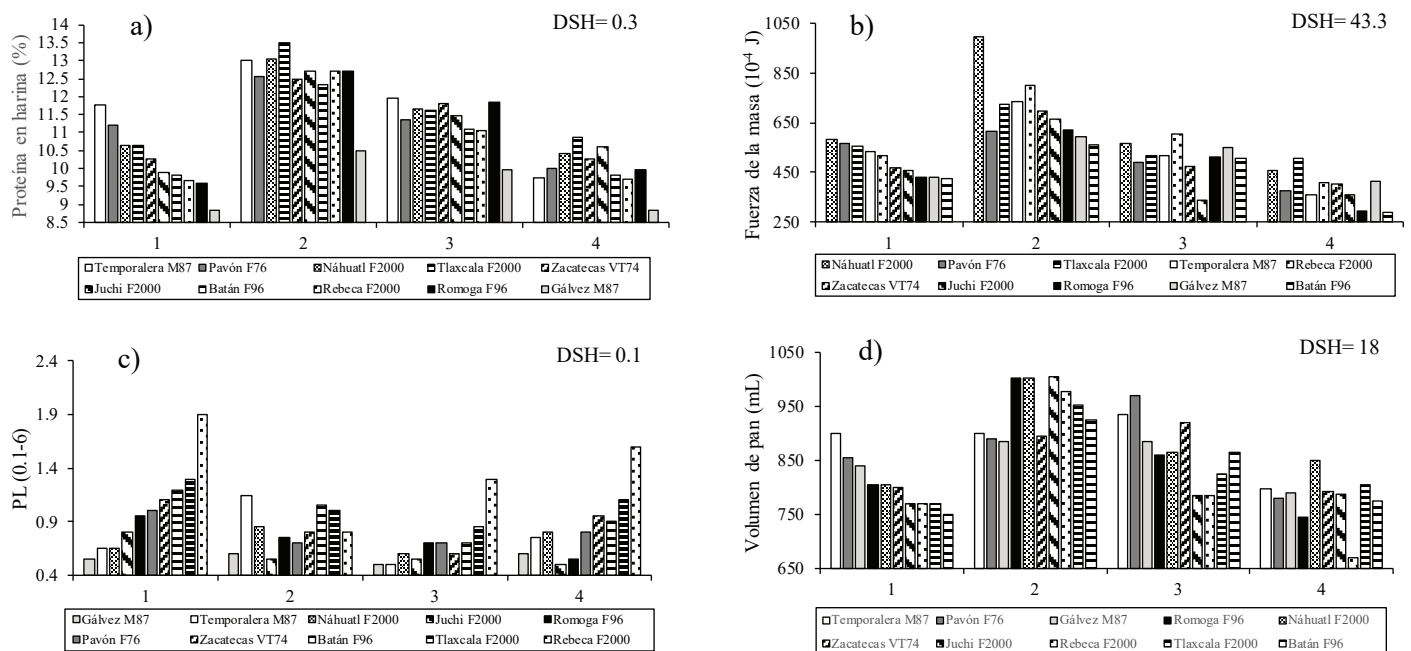


Figura 1. Comportamiento de proteína en harina (a), fuerza de la masa (b), relación tenacidad/extensibilidad PL (c) y volumen de pan (d) de variedades de trigo harinero por calendarios de riego. 1: 0-35, 2: 0-35-70, 3: 0-35-70-105 y 4: 0-35-70-105-125. DSH= diferencia significativa honesta.

Figure 1. Performance of protein flour (a), force the mass (b), regarding tenacity/extensibility PL (c) and bread volume (d) of bread wheat varieties by irrigation schedules. 1: 0-35, 2: 0-35-70, 3: 0-35-70-105 and 4: 0-35-70-105-125. DSH= significant honest difference.

Por otro lado, con la aplicación de cuatro riegos la mayoría de los genotipos presentaron valores superiores a 800 ml de volumen de pan con excepción de Rebeca F2000 y Juchi F2000, lo cual en el caso de Rebeca F2000 se explica por su PL mayor a 1.2, que indica masas tenaces lo cual demerita el volumen de pan. Mediante la aplicación de cinco riegos la mayoría de los genotipos disminuyeron su volumen de pan con valores menores a 800 ml, sin embargo, los genotipos Náhuatl F2000 y Tlaxcala F2000 superaron dicho valor, por lo que se asociaron con volúmenes de pan aceptables, ambos genotipos presentaron fuerza de la masa mayor a 450×10^{-4} J y valores menores a 1.2 de PL.

Con la aplicación del calendario uno de riego los genotipos Temporalera M87, Pavón F76, Gálvez M87, Romoga F96, Náhuatl F2000 y Zacatecas VT74 presentaron volúmenes de pan mayores a 800 ml, dado que combinaron fuerza de la masa superior a 350×10^{-4} J y PL menor a 1.2; comportamiento contrario mostraron Rebeca F2000, Tlaxcala F2000 y Batán F96, que por su PL mayor a 1.2 se asociaron con masas tenaces, lo que disminuyó su volumen de pan, lo cual está de acuerdo con lo encontrado por Martínez *et al.* (2010). Por lo que, dado que la calidad panadera medida como volumen de

On the other hand, with the application of four irrigations the majority of the genotypes presented values superior to 800 ml of volume of bread with the exception of Rebeca F2000 and Juchi F2000, which in the case of Rebeca F2000 is explained by its greater PL to 1.2, which indicates tenacious masses which demerits the volume of bread. By applying five irrigations, most of the genotypes decreased their bread volume with values lower than 800 ml. However, the Náhuatl F2000 and Tlaxcala F2000 genotypes exceeded this value and were therefore associated with acceptable bread volumes, both genotypes presented strength of the mass greater than 450×10^{-4} J and values smaller than 1.2 of PL.

With the application of the one irrigation calendar the genotypes Temporalera M87, Pavan F76, Gálvez M87, Romoga F96, Náhuatl F2000 and Zacatecas VT74 presented bread volumes greater than 800 ml, since they combined mass strength higher than 350×10^{-4} J and PL less than 1.2; contrary behavior showed Rebeca F2000, Tlaxcala F2000 and Batán F96, which by their PL greater than 1.2 were associated with tenacious masses, which decreased their bread volume, which is in agreement with what was found by Martínez *et al.* (2010). Therefore, since the bread

pan está en función de la cantidad de proteína en la harina, fuerza, extensibilidad y tenacidad de la masa, mediante la aplicación de diferentes calendarios de riego fue posible modificar dichas variables dependiendo del genotipo.

Conclusiones

La calidad panadera es afectada por el número de riegos, la fecha o etapa fenológica de su aplicación y las características de la masa de cada variedad utilizada en la producción de trigo harinero. Por lo que mediante la aplicación de tres riegos se favoreció la concentración de proteína en el grano lo cual asociado con masa fuerte y extensible presentó los volúmenes mayores de pan y la con la aplicación de cinco riegos se presentaron los porcentajes menores de proteína en harina, así como de fuerza de la masa y consecuentemente disminuyeron el volumen de pan. Por lo que, mediante el manejo del número de riegos, fecha de aplicación y de variedades, es posible modificar la calidad industrial.

Literatura citada

- AACC (American Association of Cereal Chemists). 2005. Approved Methods of the AACC. 10th (Ed.). American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA.
- Aslani, F.; Mehrvar, M. R.; Nazeri, A. and Juraimi A. S. 2006. Investigation of wheat grain quality characteristics under water deficit condition during post-anthesis stage. *ARPN. J. Agric. Biol. Sci.* 8(2):273-278.
- Baasandorj, T.; Ohm, J. B.; Manthey, F. and Simsek, S. 2015. Effect of kernel size and mill type on protein, milling yield, and baking quality of hard red spring wheat. *Cereal Chem.* 92(1):81-87.
- Barrera, G. N.; Pérez, G. T.; Ribotta, P. D. and León, A. E. 2007. Influence of damaged starch on cookie and bread-making quality. *Eur. Food Res. Technol.* 225:1-7.
- Bolaños, G. M.; Palacios, V. E.; Scott, C. y Exebio, G. A. 2001. Estimación del volumen de agua usado en una zona de riego mediante una imagen de satélite e información complementaria. *Agrociencia.* 35(6):589-597.
- CANIMOLT. 2013. Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo. Reporte estadístico a 2013. <http://www.canimolt.org/revista-canimolt>.
- Chang, X. Z.; Ming-Rong, H.; Zhen-Lin, W.; Yue-Fua, W. and Qi, L. 2009. Effects of different water availability at post-anthesis stage on grain nutrition and quality in strong-gluten winter wheat. *Comptes Rendus Biol.* 332:759-764.
- CONAGUA. 2010. Comisión nacional del agua. Estadísticas del agua en México. Edición 2010. <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/noticias/eam2010.pdf>.

quality measured as bread volume is a function of the amount of protein in the flour, strength, extensibility and tenacity of the dough, through the application of different irrigation schedules it was possible to modify these variables depending on the genotype.

Conclusions

The baking quality is affected by the number of irrigations, the date or phenological stage of its application and the characteristics of the mass of each variety used in the production of wheat flour. As a result of the application of three irrigations favored the protein concentration in the grain which associated with strong and extensible mass presented the largest volumes of bread and the application of five irrigations showed the lower percentages of protein in flour, as well as mass strength and consequently decreased bread volume. Therefore, by managing the number of irrigations, date of application and varieties, it is possible to modify the industrial quality.

End of the English version



- Espitia, R. E.; Martínez, C. E.; Peña, B. R. J.; Villaseñor, M. H. E. y Huerta, E. J. 2008. Polimorfismo de gluteninas de alto peso molecular y su relación con trigos harineros para temporal. *Agric. Téc. Méx.* 34(1): 57-67.
- Flumignan, D. L.; Lena, B. P.; Faria, R. T.; Scholz, M. B. D. S. and Medina, C. D. C. 2013. Influence of irrigation on wheat crop. *Engenharia Agric.* 33(1):75-88.
- Geerts, S. and Raes, D. 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agric. Water Manag.* 96(9):1275-1284.
- Ghanbari, M. A. 2010. The effect of complementary irrigation in different growth stages on yield, qualitative and quantitative indices of the two wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in Mazandaran. *Inter. Scholarly Sci. Res. Innov.* 4(5):97-101.
- Huang, M.; Gallichand, J. and Zhong, L. 2004. Water-yield relationships and optimal water management for winter wheat in the Loess Plateau of China. *Irrigation Sci.* 23(2):47-54.
- Huizar, Á. R.; Mitre, S. L. M.; Marín, C. S.; Trujillo, C. J. and Martínez, R. J. 2011. Subsidence in Celaya, Guanajuato, Central México: implications for groundwater extraction and the neotectonic regime. *Geofísica Inter.* 50(3):255-270.
- Kimball, B. A. C. F.; Morris, P. J.; Pinter, Jr. G. W.; Wall, D. J.; Hunsaker, F. J.; Adamsen, R. L.; LaMorte, S. W.; Leavitt, T. L.; Thompson, A. D. and Matthias, T. and Brooks, J. 2001. Elevated CO₂, drought and soil nitrogen effects on wheat grain quality. *New Phytologist* 150(2):295-303.

- Konopka, I.; Tańska, M.; Pszczółkowska, A.; Fordoński, G.; Kozirok, W. and Olszewski, J. 2007. The effect of water stress on wheat kernel size, color and protein composition. *Polish J. Natural Sci.* 22(2):157-171.
- Ledesma, R. L.; Solís, M. E.; Suaste, F. M. P.; Rodríguez, C. J. F. y Cruz, G. M. L. D. 2012. Análisis GGE BIPLLOT del rendimiento de trigo (*Triticum* spp.) con riego normal y restringido en el Bajío, México. 2012. *Agrociencia.* 46(2):119-131.
- Maghirang, E. B.; Lookhart, G. L.; Bean, S. R.; Pierce, R. O.; Xie, F.; Caley, M. S.; Wilson, J. D.; Seabourn, B. W.; Ram, M. S.; Park, S. H.; Chung, O. K. and Dowell, F. E. 2006. Comparison of quality characteristics and breadmaking functionality of hard red winter and hard red spring wheat. *Cereal Chem.* 83(5):520-528.
- Martínez, C. E.; Espitia, R. E.; Villaseñor, M. H. E.; Molina, G. J. D.; Benítez, R. I.; Santacruz, V. A. y Peña, B. R. J. 2010. Diferencias reológicas de la masa de trigo en líneas recombinantes. II. Relación con combinaciones de los Loci Glu-1 y Glu-3. *Agrociencia.* 44(6):631-641.
- SAS Institute. 2002. SAS/STAT User's Guide, Software versión 9.0. Cary, N. C., USA. 4424 p.
- Sánchez, G. M.; Álvaro, F.; Peremarti, A.; Martín-Sánchez, J. A. and Royo, C. 2015. Changes in bread-making quality attributes of bread wheat varieties cultivated in Spain during the 20th century. *Eur. J. Agron.* 63(2):79-88.
- Seleiman, M.; Abdel-aal, S.; Ibrahim, M. and Zahran, G. 2011. Productivity, grain and dough quality of bread wheat grown with different water regimes. *J. Agro Crop Sci.* 2:11-17.
- SIAP. 2015. Servicio de información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. www.siap.gob.mx.
- Solís, M. E.; Huerta, E. J.; Villaseñor, M. H. E.; Pérez, H. P.; Ramírez, R. A.; Ledesma, R. L. y De la Cruz, G. M. D. L. 2014. Luminaria F2012, nueva variedad de trigo harinero para riego restringido en El Bajío. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5:325-330.
- Verheyen, C.; Albrecht, A.; Elgeti, D.; Jekle, M. and Becker, T. 2015. Impact of gas formation kinetics on dough development and bread quality. *Food Research International.* 76(3): 860-866.
- Weiwei, M.; Yu, Z.; Zhang, Y.; Shi, Y. and Wang, D. 2015. Effects of supplemental irrigation on water consumption characteristics and grain yield in different wheat cultivars. *Chilean J. Agric. Res.* 75(2):216-223.