

## **El efecto de las bajas temperaturas sobre la calidad industrial del trigo de temporal\***

### **The effect of low temperatures on rainfed industrial wheat quality**

**Eliel Martínez Cruz, Héctor E. Villaseñor Mir<sup>§</sup>, René Hortelano Santa Rosa, Patricia Pérez Herrera y Eduardo Espitia Rangel**

<sup>1</sup>Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Programa de Trigo. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, C. P. 56250. (martinez.eliel@inifap.gob.mx; hortelano.rene@inifap.gob.mx; perez.patricia@inifap.gob.mx; espitia.eduardo@inifap.gob.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: villaseñor.eduardo@inifap.gob.mx.

#### **Resumen**

La presencia de bajas temperaturas durante las etapas iniciales del llenado de grano en trigo harinero, producido bajo temporal en la región de los Valles Altos del centro de México, es atípica. Por lo que el objetivo de la presente investigación fue analizar el efecto de la helada sobre la calidad industrial de variedades de trigo harinero recomendadas para seco. Los genotipos se sembraron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con dos repeticiones en las localidades de Jilotepec, presencia helada y Chapingo, ausencia de helada, en el ciclo primavera-verano 2011. La parcela experimental consistió de 4 surcos de 3 m de longitud. En campo se midió los días a floración, mientras que la calidad industrial se evaluó con base en: peso hectolítrico, dureza de grano, proteína en harina, tiempo de amasado, estabilidad al amasado, volumen de pan y color de la miga. Debido a la presencia de la helada, durante la etapa de grano lechoso y masoso-suave, los genotipos tardíos redujeron su peso hectolítrico y el contenido de proteína, e incrementaron la dureza del grano, el tiempo y estabilidad al amasado, lo anterior se reflejó en bajos volúmenes de pan. Dicho comportamiento pudo deberse a la coincidencia de la helada con el inicio de la acumulación de proteína y almidón en el grano. Por otro lado el genotipo que se encontraba en grano masoso-duro mantuvo su calidad industrial en ambas

#### **Abstract**

The presence of low temperatures during the initial stages of grain filling in wheat flour produced in foster in the region of the high valleys of central Mexico, is atypical. So the aim of this research was to analyse the effect of frost on industrial quality bread wheat varieties recommended for rainfed. The genotypes were planted under an experimental design of randomized complete block with two replications in the towns of Jilotepec frost presence and Chapingo absence of frost in the spring-summer cycle 2011. The experimental plot consisted of four rows 3 m in length. Field was measured in days to flowering, while industrial quality was evaluated based on: test weight, grain hardness, protein in flour, kneading time, stability kneading bread volume and crumb colour. Due to the presence of frost during the stage of milky and doughy-soft grain, late genotypes hectolítrico reduced their weight and protein content, and increased grain hardness, time and stability to kneading, which was reflected low volume of bread. Such behaviour could be due to coincidence frost began with the accumulation of protein and starch in the grain. Furthermore the genotype that was in doughy-hard grain maintained its industrial quality at both locations. The presence of frost in the early stages of grain filling of wheat discourages physical grain quality of the dough and baked.

\* Recibido: octubre de 2014  
Aceptado: marzo de 2015

localidades. La presencia de heladas en las etapas iniciales de llenado del grano del trigo desfavorece la calidad física del grano, de la masa y de panadería.

**Palabras clave:** calidad industrial, helada, llenado de grano, trigo harinero.

## Introducción

La producción de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) bajo condiciones de temporal en México, en 2010, fue de 207, 372 t, lo cual representó cerca de 10% de la producción total nacional. Los estados de Tlaxcala y México aportaron 133, 138 y 23, 223 t, respectivamente, lo cual representó el 75% de ésta producción. Sin embargo, durante el ciclo primavera-verano de 2011 se produjeron tan solo 66 817 t de trigo de temporal, siendo el Estado de México el primer lugar con 21 647 t, mientras que Tlaxcala cosechó únicamente 12 295 t (SIAP, 2012). Uno de los factores abióticos limitantes para la producción de cultivos de maíz, frijol, cebada y trigo en estos estados es la presencia de heladas tempranas durante la última semana de septiembre que de acuerdo con el CENAPRED (2001) se han registrado temporadas con más de 100 días al año con heladas. No obstante, durante el ciclo agrícola primavera-verano de 2011, el 8 de septiembre se registró una temperatura mínima de 2.5 °C en el país, provocando heladas en los estados de Chihuahua, Durango, Tlaxcala, México, Puebla y Veracruz, por lo que, en los estados de Tlaxcala y México se presentaron temperaturas iguales o menores a 0 °C durante 3 días (8, 9 y 10 de septiembre), lo cual resultó en heladas atípicas (CONAGUA, 2011). Lo anterior provocó la pérdida de 90.8% de la producción de trigo harinero en Tlaxcala (SIAP, 2012).

De acuerdo con Rosenberg *et al.* (1983) las heladas suceden cuando la superficie del suelo y los cuerpos colocados sobre la misma, presentan temperaturas iguales o menores al punto de congelación del agua. Con base en lo anterior, el efecto de la helada sobre los cultivos depende de la especie, de la susceptibilidad del genotipo, de la etapa fenológica, del nivel mínimo de temperatura, del tiempo de exposición y del precondicionamiento de la planta (Preston *et al.*, 1991; Barrales *et al.*, 2002). Por otro lado existen daños provocados por enfriamiento, con temperaturas entre 0 y 10 °C, que causan un desbalance fisiológico que puede afectar el rendimiento. Con base en lo anterior, la etapa de floración o en las etapas iniciales de llenado como es la de grano acuoso, son los periodos de mayor susceptibilidad a la presencia de bajas temperaturas.

**Keywords:** bread wheat, frost, grain filling, industrial quality.

## Introduction

The production of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under rainfed conditions in Mexico in 2010 was 207 372 t, which represented about 10% of the total domestic production. The States of Tlaxcala and Mexico contributed 133, 138 and 23 223 t, respectively, which represented 75% of this production. However, during the spring-summer cycle of 2011 there were only 66 817 t rainfed wheat, being the State of Mexico in first place with 21 647 t, while Tlaxcala garnered only 12 295 t (SIAP, 2012). One abiotic limiting factors for the production of maize, beans, barley and wheat in these States is the presence of early frosts during the last week of September that according to the CENAPRED (2001) there have been seasons with more than 100 days per year with frost. However, during the spring-summer 2011 crop season, the September 8 a minimum temperature of 2.5 °C in the country was recorded, causing frost in the States of Chihuahua, Durango, Tlaxcala, Mexico, Puebla and Veracruz, so that in the States of Tlaxcala and Mexico, temperatures were equal or lower, presented at 0 °C for 3 days (8, 9 and 10 September), which resulted in atypical frosts (CONAGUA, 2011). This caused the loss of 90.8% of the production of bread wheat in Tlaxcala (SIAP, 2012).

According to Rosenberg *et al.* (1983) frosts occur when the soil surface and the bodies placed thereon, presented at or below the freezing point of water temperatures. Based on the above, the effect of frost on crops depends on the species, the susceptibility of the genotype, the phenological stage, the minimum temperature level, exposure time and pre-conditioning plant (Preston *et al.*, 1991; Barrales *et al.*, 2002). On the other hand, there are damages caused by cooling, with temperatures between 0 and 10 °C, causing a physiological imbalance that can affect performance. Based on the above, the flowering stage or in the early stages of filling as is the watery stage, are the periods of greatest susceptibility to the presence of low temperatures.

So that temperatures from 0 °C during flowering causing pollen sterility (Chakrabarti *et al.*, 2011) and egg preventing the formation of grain (Cromley *et al.*, 1998; Thakur *et al.*, 2010). Thakur *et al.* 2010; Chakrabarti *et al.*, 2011; Al-Issawi *et al.*, 2012). Also, according to Gusta and O'connor (1987)

De tal modo que temperaturas de 0 °C durante la floración provocan la esterilidad del polen (Chakrabarti *et al.*, 2011) y ovulo (Thakur *et al.*, 2010) evitando la formación de grano (Cromley *et al.*, 1998; Thakur *et al.*, 2010; Chakrabarti *et al.*, 2011; Al-Issawi *et al.*, 2012). Asimismo, de acuerdo con Gusta y O'connor (1987) en cereales existe un efecto negativo de la helada sobre el rendimiento y la germinación en etapas iniciales de grano masaso, mientras que a finales de dicha etapa dicho efecto se reduce.

Por otro lado valores de -2 °C durante la etapa de grano masaso provoca arrugamiento de este y consecuentemente disminuye el rendimiento harinero, incrementa el contenido de cenizas en la harina y obscurecimiento de la miga del pan (Dexter *et al.*, 1985), mientras que Labuschagne *et al.* (2009) encontraron que temperaturas de -5 °C, durante dicho período, disminuyeron el volumen de sedimentación y de pan. Mientras que, de acuerdo con Dexter *et al.* (1985), la presencia de la helada cercana a la madurez fisiológica del grano provoca menor daño observándose, arrugamiento en el salvado. El objetivo de esta investigación fue identificar el efecto de la helada sobre la calidad física del grano y de las características de amasado así como en la calidad panadera de variedades de trigo harinero recomendadas para su siembra bajo condiciones de temporal.

## Materiales y métodos

Se evaluaron nueve variedades de trigo harinero panificable recomendadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) para su siembra en temporal. Los genotipos se establecieron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con dos repeticiones en las localidades de Jilotepec y Chapingo, en el Estado de México. Las fechas de siembra fueron el 17 de Junio en Chapingo y 24 de Junio en Jilotepec. La parcela experimental consistió de 4 surcos de 3 m de longitud y una separación entre surcos de 30 cm. Jilotepec se localiza 19° 57' 29" latitud norte y 99° 31' 54" longitud oeste, con una altitud de 2 500 m con una precipitación media anual de 792.4 mm y una temperatura media en el año de 18.4 °C. Chapingo se sitúa a 19° 29' 05" de latitud norte y 98° 53' 11" de longitud oeste a 2 250 msnm con una precipitación y temperatura media anual de 618.3 mm y 16.4 °C, respectivamente (García, 1981).

En campo se evaluaron los días a floración, dicha variable se determinó cuando 50% de la población de la parcela experimental presentaba totalmente expuesta la espiga.

on cereals there is a negative effect of frost on yield and germination in early stages of "masaso" grain, while at the end of this stage this effect is reduced.

Moreover, values of -2 °C during the stage of grain "masaso" This causes wrinkling and consequently decreases the flour yield, increases the ash content in the flour and darkening of bread crumb (Dexter *et al.*, 1985), while Labuschagne *et al.* (2009) found that temperatures of -5 °C, during that period, decreased sedimentation volume and pan. While, according to Dexter *et al.* (1985), the presence of ice near the grain physiological maturity causes less damage observed, wrinkling in the bran. The objective of this research was to identify the effect of frost on physical grain quality and characteristics of kneading and baking quality in bread wheat varieties recommended for planting under rainfed conditions.

## Materials and methods

Nine varieties of bread wheat flour recommended by the National Research Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP) for planting in time were evaluated. The genotypes were established under an experimental design completely randomized with two replications in the towns of Jilotepec and Chapingo in the State of Mexico. Planting dates were on June 17 on Chapingo and June 24 on Jilotepec. The experimental plot consisted of four rows of 3 m length and spacing between rows of 30 cm. Jilotepec is located 19° 57' 29" north latitude and 99° 31' 54" W, with an elevation of 2 500 m with an average annual rainfall of 792.4 mm and an average temperature for the year of 18.4 °C. Chapingo is located at 19° 29' 05" north latitude and 98° 53' 11" west longitude to 2 250 m with an average annual rainfall and temperature of 618.3 mm and 16.4 °C, respectively (García, 1981).

Field days to flowering were evaluated, the variable is determined when 50% of the population of the experimental plot had fully exposed the pin. The physical grain quality characteristics kneading and baking quality were evaluated in the laboratory of wheat at the Experimental Field Valle de Mexico (CEVAMEX-INIFAP). The variables measured were test weight (PHL, kg hL<sup>-1</sup>), grain hardness (DG, %), protein flour (PH, %) kneading time (TAM, min), kneading stability (EAM, min) bread volume (VP mL) and crumb colour.

The test weight was determined in a sample of 500 ml in a volumetric grain balance (Seedburo Equipment CO., Chicago, IL.). Grain hardness was measured by determining

La calidad física del grano, las características de amasado y calidad panadera, se evaluaron en el laboratorio de Farinología del trigo del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX-INIFAP). Las variables medidas fueron peso hectolítrico (PHL, kg hL<sup>-1</sup>), dureza de grano (DG, %), proteína en harina (PH, %) tiempo de amasado (TAM, min), estabilidad al amasado (EAM, min), volumen de pan (VP, mL) y color de la miga.

El peso hectolítrico se determinó en una muestra de 500 ml de grano en una balanza volumétrica (Seedburo Equipment CO., Chicago, IL.). La dureza de grano se cuantificó mediante la determinación del índice de perlado en 20 g de grano, que indica la facilidad de eliminar parcialmente las capas externas del grano, utilizando un procedimiento de abrasión estandarizado. Valores de porcentaje bajos de índice de perlado indican mayor dureza de grano. La harina refinada se obtuvo con un molino Brabender (Quadrumat Senior, C.W. Brabender OHG, Alemania) la cual se cernió a través de una malla de diámetro 129µm. El contenido de proteína en harina (%) se midió con el analizador NIR (método 39-10; AACC, 2005). Las variables de tiempo y estabilidad al amasado se determinaron 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 medición de la variable 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. El volumen de pan (ml) se determinó mediante un volutómetro por desplazamiento de semillas de colza (*Brassica* sp.). También se evaluó el color de la miga donde: 10= crema, 9= amarillo crema, 8= amarillo, 7= café, 6= más oscuro).

Con las variables medidas se realizó un análisis de varianza general mediante un diseño de bloques completamente al azar con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2002) y se realizó la comparación de medias mediante la prueba de Tukey  $\leq 0.05$  para identificar las diferencias entre localidades y variedades. Adicionalmente se obtuvieron las correlaciones de Pearson.

## Resultados y discusión

Considerando la fecha de siembra del 24 de junio en Jilotepec y la presencia de heladas los días 8, 9 y 10 de septiembre de 2011, la helada se presentó a los 76 días después de la siembra y con base en lo señalado con Rogers y Quatrano (1983) se infiere que todos los genotipos se encontraban en

the rate of 20 g pearled grain, indicating the ease of partially remove the outer layers of the grain, using a standard abrasion procedure. Values lower percentage of index indicate greater hardness pearly grain. Refined flour was obtained in a Brabender (Senior Quadrumat CW Brabender OHG, Germany) mill which is sifted through a 129µm mesh diameter. Protein content in flour (%) was measured with the NIR analyzer (39-10 method; AACC, 2005). Variables kneading time and stability were determined in the Swanson mixograph (National Mfg., USA) in 10 g of refined flour with 54-40A AACC method (AACC, 2005). Variable measuring bread volume (ml) was performed by the method of direct mass (method 10-09, AACC, 2005) from 100 g of refined flour. The bread volume (ml) was determined by a shift volumetrer rapeseed (*Brassica* sp.). We also evaluated the crumb colour where: 10= cream, cream yellow= 9, 8= yellow, 7= coffee, 6= darker).

With the variables measured overall variance analysis was performed using a design of randomized complete block with SAS (SAS Institute, 2002) statistical package and comparison of means was performed using the Tukey test  $\leq 0.05$  to identify differences between localities and varieties. Additionally Pearson correlations were obtained.

## Results and discussion

Considering the planting date of June 24 in Jilotepec and the presence of frost on 8, 9 and 10 September 2011, frost was presented at 76 days after sowing and based on the above with Rogers and Quatrano (1983) inferred that all genotypes were in the period after accusing grain which lasts approximately 7 days. Based on the steps suggested during the grain filling by Rogers and Quatrano (1983) genotypes were grouped into: milky, doughy-soft and doughy-hard (Table 1).

Based on the above, early varieties considered as Galvez M87 and Nana F2007 (Villaseñor *et al.*, 2014a) were in the final stage de-hard doughy when frost grain, because they had about 20 days after flowering; while late maturing varieties as Rebeca F2000 and Altiplano F2007 (Villaseñor *et al.*, 2014b) had approximately 10 days have elapsed flowering and were in the final stages of milky (Table 1). For of late varieties and according to Altenbach *et al.* (2003), agreed upon freezing with the start of the accumulation of the protein and starch in the grain, which occurs at about 10 days after anthesis.

el periodo posterior a grano acuso el cual tiene una duración aproximada de 7 días. Con base en las etapas sugeridas durante el periodo de llenado de grano por Rogers y Quatrano (1983) los genotipos se agruparon en: lechoso, masoso-suave y masoso-duro (Cuadro 1).

The mean squares of the analysed variables are observed in Table 2. Significant differences between locations for all variables were found, indicating that the effect due to the presence of frost on Jilotepec affected the test weight, hardness grain protein content in flour and mixing

**Cuadro 1. Promedio de días a floración por variedad en las localidades de estudio en primavera-verano, 2011.**  
**Table 1. Average number of days to flowering of variety in the towns of study in Spring-Summer, 2011.**

Variedades	Días a floración		DPAF y PH	Etapa del llenado de grano <sup>†</sup>
	Chapingo	Jilotepec		
Rebeca F2000	71	67.5	9	Lechoso
Altiplano F2007	68	65.5	11	Lechoso
Batan F96	66.5	64.5	12	Lechoso
Triunfo F2004	67	64.5	12	Lechoso
Temporalera M87	66	61.5	15	Masoso-suave
Tlaxcala F2000	64	60	16	Masoso-suave
Náhuatl F2000	65.5	59	17	Masoso-suave
Nana F2007	63	56.5	20	Masoso-suave
Gálvez M87	61	54	22	Masoso-duro

DPAF= días posteriores a la floración; PH= presencia de la helada. <sup>†</sup>Etapa calculada con base en lo descrito por Rogers y Quatrano (1983).

Con base en lo anterior variedades consideradas precoces como Gálvez M87 y Nana F2007 (Villaseñor *et al.*, 2014a) se encontraban en la etapa final de grano masoso-duro al momento de la helada, debido a que tenían alrededor de 20 días posteriores a la floración; mientras que variedades de ciclo tardío como Rebeca F2000 y Altiplano F2007 (Villaseñor *et al.*, 2014b) tenían aproximadamente 10 días de haber transcurrido su floración y se encontraban en las etapas finales de grano lechoso (Cuadro 1). En el caso de las variedades tardías y de acuerdo con Altenbach *et al.* (2003), coincidió el momento de la helada con el inicio de la acumulación de la proteína y almidón en el grano, lo cual sucede a los 10 días aproximadamente posteriores a la antesis.

Los cuadrados medios de las variables analizadas se observan en el Cuadro 2. Se encontraron diferencias significativas entre localidades para todas las variables evaluadas, lo cual indica que el efecto debido a la presencia de la helada en Jilotepec afectó el peso hectolitrico, la dureza del grano, el contenido de proteína en harina, así como las características de amasado y calidad panadera, lo anterior concuerda con lo reportado por Uhlen *et al.* (1998); Dexter *et al.* (1985); Preston *et al.* (1991) y Lukow *et al.* (2011).

characteristics and baking quality, the above is consistent with that reported by Uhlen *et al.* (1998); Dexter *et al.* (1985); Preston *et al.* (1991) and Lukow *et al.* (2011).

The presence of the generally decreased frost test weight, Figure 1a, which is partly due to the presence of shrivelled grains, Figure 2b, the above disadvantage during milling flour extraction efficiency decreasing the flour, the above agrees Dexter *et al.* (1994) and Dziki and Laskowski (2005). On the other hand, with red colouring grain, the presence of ice caused the grain discoloration and opaque colour, Figure 2. In the case of grain hardness Jilotepec location, with the presence of low temperatures, increased grain hardness, Figure 1b, these results agree with those found by Dexter *et al.* (1985), Preston *et al.* (1991) and Lukow *et al.* (2011) further Dexter *et al.* (1985) mentioned that this increase implied a higher energy consumption during grinding. For testing weight varieties Nana F2007, Temporalera M87 and Rebeca F2000, presented similar values in both locations and in the case of the hardness of grain varieties Nana F2007 and Rebeca F2000 were unchanged.

Variety Galvez M87 presented similar flowering days Nana F2007, Table 2; however, because of its hardness (54% in Chapingo) was classified as a genotype soft grain on

**Cuadro 2. Cuadrados medios de variables de calidad industrial de trigos harineros de temporal. Primavera-verano, 2011.**  
**Table 2. Mean squares of varying quality of rainfed industrial bread wheat. Spring-Summer, 2011.**

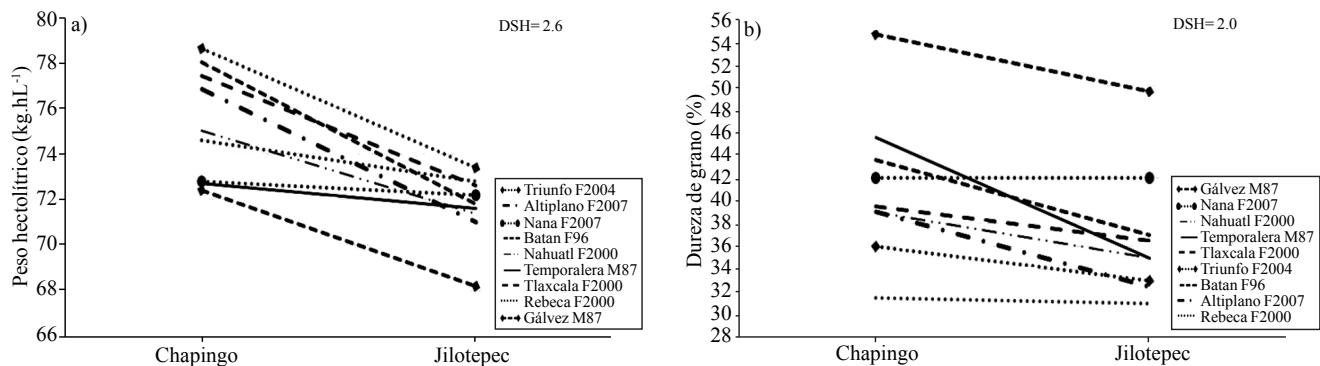
FV	GL	PHL	DG	PH	TAM	EAM	VP	CM
Localidad (L)	1	123.2 **	169**	21.7**	19.9**	23.6**	300669**	9**
Repetición (L)	2	3.4	2	1.9	0.12	0.22	4573	0.11
Genotipo (G)	8	11.9**	138.5**	3.7**	3.4**	5.3**	11106**	0.09 ns
L*G	8	4.2**	10.6**	0.79**	1.3**	2.4**	5725**	0.18 ns
Error <sup>§</sup>	16	0.9	1.7	0.2	0.11	0.4	1148.6	0.2
Total	35							
Media		73.5	39	10.3	3.6	4.1	706.1	7.7
CV		1.2	3.4	4	3.5	15.7	4.8	6.2

\*\* significativas con  $p \leq 0.01$ ; ns= no significativo. <sup>§</sup>error del análisis general; GL= grados de libertad; FV= fuente de variación; DF= días a floración; PHL= peso hectolítrico; DG= dureza de grano; PH= proteína en harina; TAM= tiempo de amasado; EAM= estabilidad al amasado; VP= volumen de pan; CM= color de la miga; CV= coeficiente de variación.

La presencia de la helada de manera general disminuyó el peso hectolítrico, Figura 1a, lo cual se debe en parte a la presencia de granos arrugados, Figura 2b, lo anterior desfavorece durante la molienda la extracción de harina disminuyendo el rendimiento harinero, lo anterior concuerda con Dexter *et al.* (1994) y Dziki y Laskowski (2005). Por otro lado en el caso de la coloración del grano rojo, la presencia de la helada provocó la decoloración del grano y opaco su color, Figura 2. Para el caso de dureza de grano la localidad de Jilotepec, con la presencia de bajas temperaturas, aumentó la dureza del grano, Figura 1b, dichos resultados concuerda con lo encontrado por Dexter *et al.* (1985); Preston *et al.* (1991) y Lukow *et al.* (2011) adicionalmente Dexter *et al.* (1985) mencionan que este aumento implicó un mayor consumo de energía durante la molienda. Para peso hectolítrico las variedades Nana F2007, Temporalera M87 y Rebeca F2000, presentaron valores similares en ambas localidades y para el caso de la dureza de grano las variedades Nana F2007 y Rebeca F2000 no sufrieron cambios.

Nana F2007 (hardness 42%) of durum wheat. So probably, Galvez M87, presented greater contraction of the cells in the aleurone layer which affected a greater increase in hardness, Figure 1b) and the lower test weight, with respect to all varieties Figure 1a) in the town of Jilotepec. Opposite behaviour was Rebeca F2000 who was associated with the highest hardness value of grain Chapingo and did not increase its hardness and its test weight was decreased in Jilotepec due to the presence of frost.

Furthermore, the protein content in flour showed lower values in the locality Jilotepec for all genotypes, except for the variety Nana F2007 Figure 3. In the case of the later varieties as Rebeca F2000, Altiplano F2007 and Triunfo F2004 in the locality Jilotepec had the lowest (equal to or less than 9%) values which may be due, according to Altenbach *et al.* (2003), in which Frost coincided with the start of accumulation of protein in the



**Figura 1. Comportamiento de la calidad física del grano, a) peso hectolítrico; y b) dureza de grano entre localidades (Jilotepec) y sin presencia (Chapingo) de heladas durante el periodo de llenado de grano. Primavera-verano, 2011. DSH= diferencia significativa honesta.**

**Figure 1. Behaviour of physical grain quality, a) test weight; b) grain hardness between localities (Jilotepec) and with no (Chapingo) frost during grain filling period. Spring-summer, 2011. DSH= significant difference honest.**

La variedad Gálvez M87 presentó días a floración similares a Nana F2007, Cuadro 2; sin embargo, debido a que por su dureza (54% en Chapingo) se clasificó como un genotipo de grano suave, respecto a Nana F2007 (dureza de 42%), de grano duro. Por lo que probablemente, Gálvez M87, presentó mayor contracción de las células en su capa de aleurona lo que repercutió en un mayor incremento en su dureza, Figura 1b) y en el menor peso hectolítrico, respecto a todas las variedades Figura 1a), en la localidad de Jilotepec. Comportamiento contrario mostró Rebeca F2000 quien se asoció al valor más alto de dureza de grano en Chapingo y no incrementó su dureza ni disminuyó su peso hectolítrico en Jilotepec debido a la presencia de la helada.

Por otro lado el contenido de proteína en la harina mostró valores menores en la localidad de Jilotepec para todos los genotipos evaluados, excepto para la variedad Nana F2007, Figura 3. Para el caso de las variedades más tardías como Rebeca F2000, Altiplano F2007 y Triunfo F2004, en la localidad de Jilotepec presentaron los valores más bajos (iguales o menores a 9%) lo que puede deberse, de acuerdo con Altenbach *et al.* (2003), a que la helada coincidió con el inicio de acumulación de proteína en el grano, mientras que la variedad precoz Nana F2007, mantuvo su porcentaje de proteína en harina, de aproximadamente 11%, en ambas localidades.

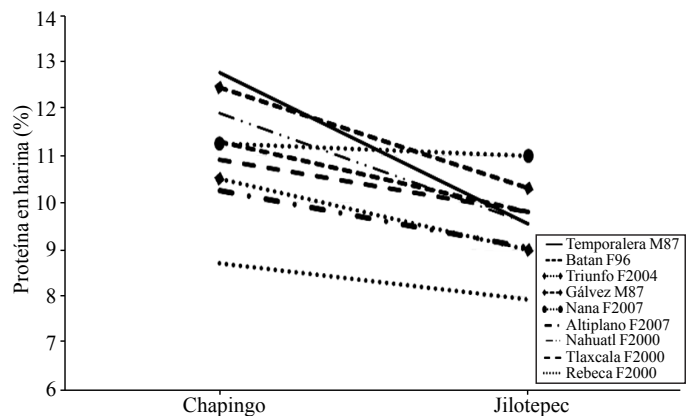
Por otro lado, el contenido total así como el depósito y la proporción final de las proteínas albuminas, globulinas, gliadinas y gluteninas, durante el llenado de grano, son afectadas por las condiciones agroclimáticas como temperatura y fertilización (Triboi *et al.*, 2003) y consecuentemente afectan las características de fuerza y extensibilidad de la masa (Sliwinski *et al.*, 2004). Con base en lo anterior, en la localidad de Chapingo el tiempo de amasado fue menor a 4 min para todas las variedades y la estabilidad menor a 5 min, mientras que de manera general el tiempo y la estabilidad del amasado se incrementaron en la localidad de Jilotepec, Figura 4a y 4b, lo cual puede deberse a la presencia de salvado en la harina, lo cual provoca que el tiempo óptimo de amasado se aumentará, lo anterior concuerda con Dexter *et al.* (1994). En el caso de Rebeca F2000 y Triunfo F2004 presentaron los valores más altos de tiempo y estabilidad al amasado, dichos genotipos también se asociaron a los valores más bajos de contenido de proteína en la harina, lo cual de acuerdo con Uthayakumaran *et al.* (1999) en parte explica dicho comportamiento, dado que existe una correlación negativa entre estas variables, Cuadro 3. Por otro lado Nana F2007 presentó para tiempo y estabilidad al amasado valores similares en ambas localidades.

grain, while the early variety Nana F2007, maintained its percentage of protein in flour, approximately 11% in both locations.



**Figura 2. Efecto de la helada sobre el pericarpio, del grano de trigo harinero, a) grano de Triunfo F2004, sin efecto, peso hectolítrico de 78 kg hL<sup>-1</sup>; y b) grano de Galvez M87 con arrugamiento, efecto de la helada, con un peso hectolítrico de 68 kg hL<sup>-1</sup>.**

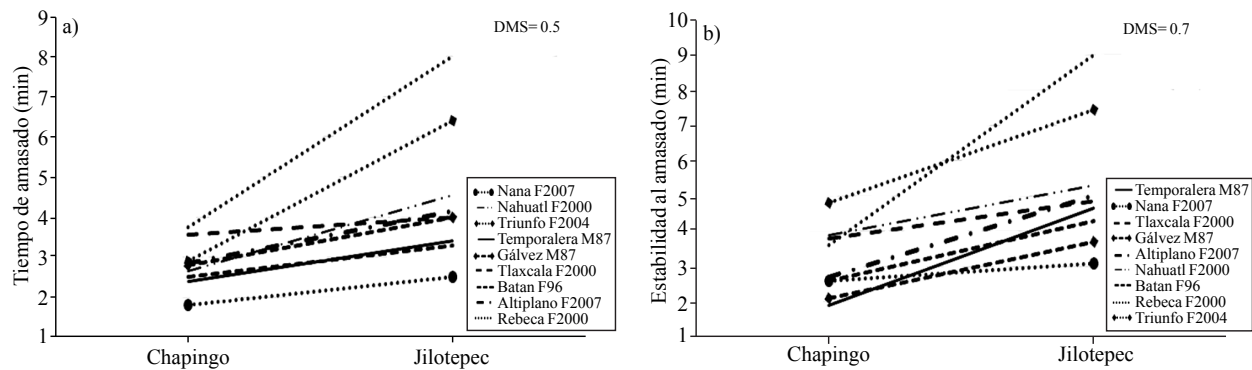
**Figure 2. Effect of frost on the pericarp grain bread wheat, a) grain Triunfo F2004 without effect, test weight of 78 kg hL<sup>-1</sup>; and b) grain Galvez M87 with wrinkling, frost effect with a test weight of 68 kg hL<sup>-1</sup>.**



**Figura 3. Comportamiento del contenido de proteína en harina entre localidades con (Jilotepec) y sin presencia (Chapingo) de heladas durante el periodo de llenado de grano. Primavera-verano, 2011. DSH= diferencia significativa honesta.**

**Figure 3. Behaviour of protein content in flour between localities (Jilotepec) and with no (Chapingo) frost during grain filling period. Spring-Summer 2011. DSH= honest significant difference.**

On the other hand, the total content and the deposit and the final ratio of albumins proteins, globulins, gliadins and glutenins during grain filling, are affected by growing conditions such as temperature and fertilization (Triboi *et al.*, 2003) and consequently affect the characteristics of strength and extensibility of the dough (Sliwinski *et al.*, 2004). Based on the foregoing, in Chapingo the kneading time was less than 4 min for all varieties and less than 5 min stability, while



**Figura 4. Comportamiento de variables de amasado, a) tiempo de amasado; y b) estabilidad al amasado entre localidades con (Jilotepec) y sin presencia (Chapingo) de heladas durante el periodo de llenado de grano. Primavera-verano, 2011.** DSH= diferencia significativa honesta.

**Figure 4. Behaviour of variables kneading, a) mixing time; b) stability amassed between localities (Jilotepec) and with no (Chapingo) frost during grain filling period. Spring-Summer, 2011.** DSH= significant difference honest.

**Cuadro 3. Correlaciones de Pearson entre variables de calidad de variedades de trigo harinero en ambientes de temporal. Primavera-verano 2011.**

**Table 3. Pearson correlations between variables of quality bread wheat varieties in rainfed environments. Spring-summer 2011.**

	DG	PH	TA	EA	VP	CM	DF
Peso hectolítrico	-0.14	0.17	-0.25	-0.07	0.48**	0.6**	0.59**
Dureza de grano		0.78**	-0.48**	-0.62**	0.62**	0.37*	-0.46**
Proteína en harina			-0.66**	-0.61**	0.85**	0.59**	-0.16
Tiempo de amasado				0.86**	-0.71**	-0.49**	-0.03
Estabilidad al amasado					-0.69**	-0.44*	0.04
Volumen de pan						0.75**	0.08
Color de la miga							0.26

DF= días a floración; \*, \*\* significativo y altamente significativo, respectivamente.

Los valores de volumen de pan en la localidad de Chapingo fueron superiores a 750 mL excepto para Rebeca F2000 (700 mL), mientras que en Jilotepec la helada provocó que los valores fueran menores a 700 mL (Figura 6), excepto para la variedad Nana F2007 (Figura 5a). Nuevamente las variedades más tardías Rebeca F2000, Altiplano F2007 y Triunfo F2004 presentaron los volúmenes de pan menores, dichos genotipos se asociaron también a los porcentajes más bajos de proteína, lo cual de acuerdo con Kent (1983) explica en parte su baja calidad panadera. Adicionalmente, como resultado de la helada, todas las migas se asociaron a una coloración café, (Figura 4b) lo cual concuerda con Dexter *et al.* (1985), quienes reportaron obscurecimiento de la harina y de la miga del pan debido a la presencia de salvado en la harina. Con base en nuestros resultados el volumen de pan es afectado por diferentes características, lo cual se reafirma en el Cuadro 3, donde se observa una relación positiva entre

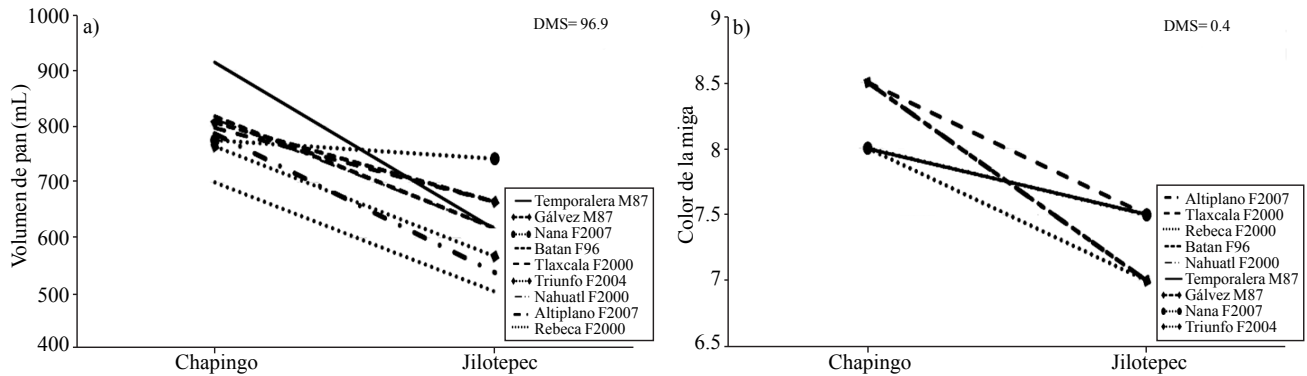
generally time and stability of mixing were increased in the town of Jilotepec Figure 4a and 4b, which may be due to the presence of bran flour, which causes the optimal mixing time is increased, the above is consistent with Dexter *et al.* (1994). In the case of Rebeca F2000 and Triunfo F2004 presented the highest values of time and stability to kneading, these genotypes were also associated with lower values of protein content in flour, which according to Uthayakumaran *et al.* (1999) partly explains this behaviour, since there is a negative correlation between these variables, Table 3. Furthermore Nana F2007 provided for time and stability to kneading similar values in both locations.

Volume values of bread in Chapingo, exceeded 750 mL except for Rebeca F2000 (700 mL), while in Jilotepec frost caused the values were less than 700 mL (Figure 6), except for the variety Nana F2007 (Figure 5a). Again the later varieties



el volumen de pan y proteína en harina, mientras que bajo condiciones de la helada, sucede lo contrario para tiempo y estabilidad al amasado.

Rebeca F2000, Altiplano F2007 and Triunfo F2004 showed lower volumes bread, these genotypes were also associated with lower percentages of protein, which according to



**Figura 5. Comportamiento de la calidad panadera, a) volumen de pan; y b) color de la miga entre localidades con (Jilotepec) y sin presencia (Chapingo) de heladas durante el periodo de llenado de grano. P-V, 2011. Color de la miga: 10= crema; 9= amarillo crema; 8= amarillo; 7= café; 6= más oscuro. DSH= diferencia significativa honesta.**

**Figure 5. Behaviour of baking quality, a) volume of bread; b) crumb colour, between localities (Jilotepec) and with no (Chapingo) frost during grain filling period. Spring-Summer, 2011. Crumb colour: 10= cream; 9= creamy yellow; 8= yellow; 7= coffee; 6= darker. DSH= significant difference honest.**

## Conclusiones

La presencia de heladas durante el llenado de grano en la etapa de lechoso e inicios de masoso-suave en trigo harinero disminuyó el peso hectolítrico y el contenido de proteína en la harina e incremento la dureza de grano, el tiempo y estabilidad al amasado, lo que consecuentemente disminuyó el volumen de pan asociado a migas de color café. Sin embargo, la presencia de dicho fenómeno meteorológico a finales de grano masoso-duro asociado a genotipos de grano duro, disminuye su severidad, manteniendo su peso hectolítrico, dureza de grano, características de amasado y calidad panadera.

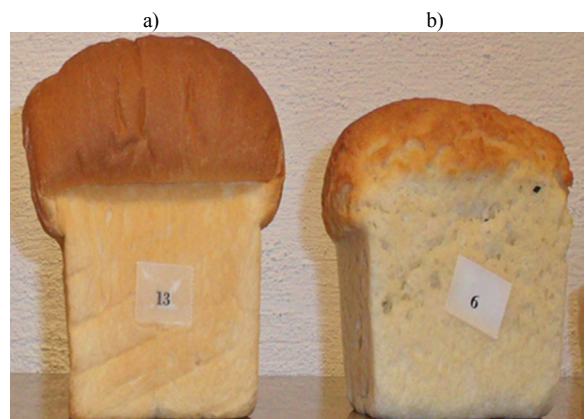
## Agradecimientos

Investigación financiada por el fondo sectorial SAGARPA-CONACYT. Proyecto No. 146788.

## Literatura citada

Al-Issawi, M.; Rihan, H. Z.; El-Sarkassy, N. and Fuller, M. P. 2012. Frost hardness expression and characterisation in wheat at ear emergence. *J. Agron. Crop Sci.* 1-9.

Kent (1983) explains low quality baking part. Additionally, as a result of freezing, all the crumbs to a browning, (Figure 4b) which agrees with Dexter *et al.* (1985), who reported darkening of flour and bread crumb due to the presence bran in the flour. Based on our results bread volume is affected by different characteristics, which is reaffirmed in Table 3, where a positive relationship between the volume of bread and protein in flour is observed, whereas under conditions frost, happens contrary to the kneading time and stability.



**Figura 6. Efecto de la helada sobre la calidad panadera, a) localidad de Chapingo con un volumen de pan de 800 mL; y b) Jilotepec con un volumen 650 mL. Primavera-verano, 2011.**

**Figure 6. Effect of frost on baking quality, a) Chapingo with a volume of 800 mL bread; y b) Jilotepec with volume 650 mL. Spring-summer, 2011.**

- Allen, H. M.; Pampa, J. K. and Batten, G. D. 2001. Effect of frost on the quality of samples of Janz wheat. *Australian J. Exp. Agric.* 41(5):641-647.
- Altenbach, S. B.; DuPont, F. M.; Kothari, K. M.; Chan, R.; Johnson, E. L. and Lieu, D. 2003. Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in a US spring wheat. *J. Cereal Sci.* 37:9-20.
- AACC (American Association of Cereal Chemists). 2005. Approved methods of the AACC. 9<sup>th</sup> (Ed.). St. Paul, MN, USA.
- Barrales, D. J. S.; Livera, M. M.; González, H. V. A.; Peña, V. C.; Kohashi-Shibata, J. y Castillo, G. F. 2002. Relaciones térmicas en el sistema suelo-planta-atmósfera durante la incidencia del fenómeno de enfriamiento o helada. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(3):289-297.
- CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres). 2001. Fascículo heladas. Secretaría de Gobernación (SEGOB). México. D. F. 35 p.
- Chakrabarti, B.; Singh, S. D.; Nagarajan, S. and Aggarwal, P. K. 2011. Impact of temperature on phenology and pollen sterility of wheat varieties. *Aust. J. Crop Sci.* 5(8):1039-1043.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2011. Reporte del clima en México. Septiembre 2011. Año I. Número 9. <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/analisis/reporte/Anual2011.pdf>.
- Craven, M.; Barnard, A. and Labuschagne, M.T. 2007. The impact of cold temperatures during grain maturation on selected quality parameters of wheat. *J. Sci. Food Agric.* 87:1783-1793.
- Cromley, M. G.; Wright, D. S. C. and Boddington, H. J. 1998. Effects of frost during grain filling on wheat yield and grain structure. *New Zealand J. Crop Hortic. Sci.* 26:279-290.
- Dexter, J. E.; Martin, D. G.; Preston, K. R.; Tripples, K. H. and MacGregor, A.W. 1985. The effect of frost damage on the milling and baking quality of red spring wheat. *J. Cereal Chem.* 62:75-80.
- Dexter, J. E.; Marchylo, B. A. and Mellish, V. J. 1994. Effects of frost damage and immaturity on the quality of durum wheat. *Cereal Chem.* 71(5):494-501.
- Dziki, D. and Laskowski, J. 2005. Wheat kernel physical properties and milling process. *Acta Agrophysica.* 6(1):59-71.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 3<sup>a</sup> edición. México D. F. 252 p.
- Gusta, L. V. and O'connor, B. J. 1987. Frost tolerance of wheat, oats, barley, canola and mustard and the role of ice-nucleating bacteria. *Can. J. Plant Sci.* 67:1155-1165.
- Kent, N. L. 1983. *Technology of cereals*. 3<sup>th</sup> edition. Editorial Pergamon Press. Great Britain. 221 p.
- Labuschagne, M. T.; Elago, O. and Koen, E. 2009. The influence of temperature extremes on some quality and starch characteristics in bread, biscuit and durum wheat. *J. Cereal Sci.* 49:184-189.
- Lukow, O.; Suchy, J.; Adams, K.; Brown, D.; DePauw, R.; Fox, S.; Humphreys, G.; McCaig, T. and White, N. 2011. Effect of wheat maturity and post-harvest temperature treatments on the quality of grain and end-products. *J. Agro Crop Sci.* 2(2):15-22.
- Preston, K. R.; Kilborn, R.H.; Morgan, B. C. and Babb, J.C. 1991. Effect of frost and immaturity on the quality of a Canadian hard red spring wheat. *J. Cereal Chem.* 68:133-138.

## Conclusions

The presence of frost during grain filling stage and early milky-soft doughy bread wheat decreased hectolitre weight and protein content in flour and grain hardness increase, time and stability to kneading, what which consequently decreased the volume of bread crumbs associated with coffee colour. However, the presence of such weather phenomenon in late doughy-durum wheat genotypes associated with hard grain, reduces its severity, maintaining its test weight, grain hardness, features kneading and baking quality.

*End of the English version*



- Rogers, S. O. and Quatrano, R. S. 1983. Morphological staging of wheat caryopsis development. *Am. J. Bot.* 70:308-311.
- Sliwinski, E.L.; Kolster, P.; Prins, A. and van Vliet, T. 2004. On the relationship between gluten protein composition of wheat flours and large-deformation properties of their doughs. *J. Cereal Sci.* 39:247-264.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 2002. *SAS user's guide. Statistics. Version 8.* SAS Inst., Cary, NC, USA. Quality, and elemental removal. *J. Environ. Qual.* 19:749-756.
- Thakur, P.; Kumar, S.; Malik, J. A.; Berger, J. D. and Nayyar, H. 2010. Cold stress effects on reproductive development in grain crops: an overview. *Environ. Exp. Bot.* 67(3):429-443.
- Triboi, E.; Martre P. and Triboi-Blondel, A. M. 2003. Environmentally-induced changes in protein composition in developing grains of wheat are related to changes in total protein content. *J. Exp. Bot.* 54 (388):1731-1742.
- Uhlen, A. K.; Hafskjold, R.; Kalhovd, A. H.; Sahlström, S.; Longva, A. and Magnus, E. M. 1998. Effects of cultivar and temperature during grain filling on wheat protein content, composition, and dough mixing properties. *Cereal Chem.* 75(4):460-465.
- Uthayakumaran, S.; Gras, P. W.; Stoddard, F. L. and Bekes F. 1999. Effect of varying protein content and glutenin-to-gliadin ratio on the functional properties of wheat dough. *Cereal Chem.* 76(3):389-394.
- Villaseñor, M. H. E.; Espitia, R. E.; Huerta, E. J.; Ireta, M. J.; Osorio, A. L. y Pérez, H. P. 2014. Nana F2007, cultivar de trigo para siembras de temporal en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7:1363-1368.
- Villaseñor, M. H. E.; Huerta, E. J.; Espitia, R. E.; Solís, M. E.; Osorio, A. L.; Ireta, M. J. y Pérez, H. Patricia. 2014. Altiplano F2007, nueva variedad de trigo. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7:1355-1361.
- Xin, H.; Zhang, X. and Yu, P. 2013. Using synchrotron radiation-based infrared microspectroscopy to reveal microchemical structure characterization: frost damaged wheat vs. normal wheat. *Int. J. Mol. Sci.* 16706-16718.