

PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD INDUSTRIAL DE TRIGOS HARINEROS EN RELACIÓN A ENFERMEDADES

PRODUCTIVITY AND END USE QUALITY OF BREAD WHEATS IN RELATION TO DISEASES

René H. Santa-Rosa¹, Eduardo Espitia Rangel^{1*}, Eliel Martínez-Cruz¹, Héctor E. Villaseñor-Mir¹,
Julio Huerta-Espino¹, Luis A. Mariscal-Amaro²

¹Campo Experimental Valle de México; ²Campo Experimental Bajío. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (espitia.eduardo@inifap.gob.mx).

RESUMEN

Las enfermedades en trigo causan hasta 70 % de pérdidas en rendimiento y afectan la calidad industrial del grano. El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento de variables agronómicas y calidad industrial al controlar las enfermedades en genotipos susceptibles y resistentes de trigo harinero. Nueve genotipos se sembraron en cuatro localidades en condiciones de secano, en Bellavista, Morelos, y en Chapingo, Coatepec y Juchitepec, Estado de México. Los fungicidas fueron Folicur® y Sportak®. El diseño experimental fue de bloques al azar con dos repeticiones en un arreglo de tratamientos de parcelas divididas, en el cual la parcela grande fue los tratamientos con y sin fungicida y las parcelas chicas fueron las variedades; la unidad experimental fueron cuatro surcos de 3 m de longitud con 30 cm de separación. Con los resultados se realizó un ANDEVA y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Hubo diferencias significativas entre localidades, genotipos y para las interacciones localidad por genotipo y genotipo por fungicida para la mayoría de las variables analizadas. Las enfermedades foliares provocaron pérdidas de 7.3 % a 28.6 % en rendimiento, lo cual dependió de la tolerancia de cada genotipo al complejo de enfermedades foliares y de su potencial de rendimiento. Rebeca F2000, Juchi F2000 y Tlaxcala F2000 mostraron las pérdidas menores en área foliar y rendimiento, pero Pavón F76 y Gálvez M87 presentaron un comportamiento contrario. El control químico de las enfermedades aumentó el peso hectolítrico pero disminuyó el contenido de proteína y, por tanto, la fuerza de la masa y volumen de pan en algunos genotipos. Entonces, el uso de variedades tolerantes a las enfermedades o la aplicación de fungicidas permitiría rendimiento alto, peso hectolítrico adecuado para la industria molinera, y masa fuerte-balanceada o extensible que favorezca el volumen de pan.

ABSTRACT

Wheat diseases cause up to 70 % of the yield losses and affect industrial grain quality. The aim of this study was to evaluate the performance of agronomic variables and industrial quality by controlling diseases in susceptible and resistant genotypes of flour wheat. Nine genotypes were planted under rainfed conditions at four locations: Bellavista (state of Morelos); Chapingo, Juchitepec and Coatepec (Estado de Mexico). Folicur® and Sportak® were used as fungicides. The experimental design was of randomized blocks with two replications in a split land plot array of treatments, in which the largest plots were the treatments with and without fungicide and the small land plots were the varieties. The experimental unit was of four rows of 3 m length, separated 30 cm apart from each other. An ANOVA was carried out with the data and treatments means were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$). There were significant differences between locations, genotypes and in the location-genotype and genotype-fungicide interactions in most of the analyzed variables. Foliar diseases caused between 7.3 % and 28.6 % yield loss, which depended on each genotype tolerance to foliar disease complex and their yield potential. Rebeca F2000, Juchi F2000 and Tlaxcala F2000 varieties showed minor losses in leaf area and grain yield, but Pavón F76 and Galvez M87 presented an opposite behavior. Chemical control of disease increased hectolitre weight but decreased protein content, and with it, dough strength and bread volume in some genotypes. Therefore, the use of disease tolerant varieties or fungicides application will allow higher yield, appropriate hectolitre weight for the milling industry, and strong-balanced or extensible dough that favor bread volume.

Keywords: Wheat, industrialization quality, disease control, loss.

INTRODUCTION

Foliar diseases such as yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*), leaf rust (*P. triticina*), *Septoria* sp., *Cochliobolus sativum* and

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: enero, 2016. Aprobado: agosto, 2016.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 50: 1027-1039. 2016.

Palabras clave: Trigo, calidad de industrialización, control de enfermedades, pérdidas.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades foliares como roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*), roya de la hoja (*P. triticina*), *Septoria* sp., *Cochliobolus sativum* y *Pyrenophora tritici-repentis*, son factores bióticos que desfavorecen la productividad de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) de secano en México y hay pérdidas de rendimiento de grano mayores a 60 % por roya amarilla (Huerta y Singh, 2000), 5.5 a 25.9 % por roya de la hoja (Leyva *et al.*, 2003) y 44 % por *Septoria tritici* (Rodríguez-Contreras *et al.*, 2008).

En un escenario de cambio climático es probable que las enfermedades en trigo que no afectaban su productividad puedan hacerlo (Duveiller *et al.*, 2007) y hay incidencias severas de roya amarilla en ambientes inapropiadas para su presencia (Milus *et al.*, 2009). En México en los dos principales estados productores de trigo panificable de temporal, Tlaxcala y Estado de México, en 2014 la roya amarilla provocó pérdidas en rendimiento del 70 %, por lo cual fue necesario usar el control químico. La producción de trigo en México compite en precio y calidad industrial con el trigo rojo duro de primavera de EE.UU. y Canadá el cual representa 63 % de las importaciones, por lo que debe ser una opción rentable para el productor y la industria nacional (CANIMOLT, 2014). El control químico de las enfermedades foliares no afecta el contenido de proteína, la fuerza de la masa y la relación tenacidad/extensibilidad (Blandino y Reyneri, 2009), aunque Ruske *et al.* (2004) muestran que el control de las enfermedades disminuye el contenido de proteína y el volumen de pan, pero Gooding (2007) indica que el control de las royas favorece la concentración de proteína y el de *Septoria tritici* lo reduce.

El control de las enfermedades foliares se debe evaluar mediante genotipos tolerantes o fungicidas, tanto en el rendimiento como en las características de calidad del grano y la masa, para reducir al mínimo las pérdidas en rendimiento y obtener la calidad demandada por la industria nacional. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento de variables agronómicas y calidad industrial del grano y masa en función del control de las enfermedades (royas, manchas y tizones

Pyrenophora tritici-repentis, are biotic factors that affect productivity. Yellow rust (*Triticum aestivum* L.) in bread wheat in rainfed conditions in Mexico, and there are grain productions losses greater than 60 % due to yellow rust (Huerta and Singh, 2000), by leaf rust between 5.5 % and 25.9 % (Leyva *et al.*, 2003) and *Septoria tritici* 44 % (Rodríguez-Contreras *et al.*, 2008).

In a climate change scenario, it is likely that wheat diseases that did not affected productivity may affect it (Duveiller *et al.*, 2007) and there are severe cases of yellow rust in unsuitable environments for their presence (Milus *et al.*, 2009). In Mexico, in the two main producer states of rainfed flour wheat, Tlaxcala and the Estado de Mexico, in 2014 the yellow rust caused yield losses of 70 %, so it was necessary to use chemical control. Wheat production in Mexico competes in price and industrial quality with the hard red spring wheat from the USA and Canada. The red spring wheat represents 63 % of wheat imports; therefore, wheat production should be a profitable option for the farmers and domestic industry (CANIMOLT, 2014). Chemical control of leaf diseases does not affect the content of protein, dough strength and tenacity/extensibility relationship (Blandino and Reyneri, 2009), although Ruske *et al.* (2004) showed that disease control decreases protein content and loaf volume, but Gooding (2007) indicates that rust control promotes protein concentration and the control of *Septoria tritici* reduces protein concentration.

To minimize yield losses and obtain the desired grain quality by the domestic industry, the control of foliar diseases should be tested using tolerant genotypes or with fungicides; assessed both in terms of yield and in the quality of the grains and dough. Therefore, the objective of this research was to evaluate the performance of agronomic variables and the industrial quality of the grain and dough in terms of disease control (rusts, stains and leaf blights) in resistant and susceptible rainfed bread wheat genotypes in the high valleys of central Mexico. The hypothesis was that application of fungicides in the plant prevents disease incidence and consequently increases the yield and improves physical grain quality and dough functionality.

MATERIALS AND METHODS

The following genotypes were used: Pavon F76, Galvez M87, Temporalera M87, Batan F96, Romoga F96, Juchi

foliares) en genotipos susceptibles y resistentes de trigo harinero de temporal en los Valles Altos del centro de México. La hipótesis fue si la aplicación de fungicidas en la planta protege la incidencia de enfermedades foliares, lo cual aumentaría el rendimiento, calidad física del grano y la funcionalidad de la masa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los genotipos usados fueron Pavón F76, Gálvez M87, Temporalera M87, Batán F96, Romoga F96, Juchi F2000, Náhuatl F2000, Rebeca F2000 y Tlaxcala F2000. El año (76, 87, 96, 2000) indica cuando se liberaron los genotipos, cuya siembra en condiciones de temporal en México es recomendada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Con base en la fuerza de su masa las variedades Gálvez M87 y Temporalera M87 se clasifican como medias fuertes y las otras variedades son de masa fuerte; esta fuerza de la masa se recomienda para la industria de la panificación. Las variedades Juchi F2000, Náhuatl F2000, Rebeca F2000 y Tlaxcala F2000, liberadas en el 2000, presentan mayor número de genes de resistencia a roya amarilla respecto a los otros genotipos. Los genotipos se sembraron en Bellavista, Morelos, y en Chapingo, Coatepec y Juchitepec, Estado de México. El diseño experimental fue de bloques al azar con dos repeticiones en un arreglo de tratamientos de parcelas divididas; los tratamientos con fungicida y sin fungicida fueron la parcela grande, y las variedades fueron las parcelas chicas. La unidad experimental fue cuatro surcos de 3 m de largo con una separación de 30 cm. Los fungicidas fueron Folicur® y Sportak®, cuyos ingredientes activos son el tebuconazole y prochloraz, respectivamente. Las aplicaciones fueron 500 mL ha⁻¹ del Folicur® en la etapa de antesis para controlar royas y 15 d después 1000 mL ha⁻¹ de Sportak® para controlar tizones y manchas foliares. La incidencia de las enfermedades foliares fue natural.

Las variables agronómicas evaluadas fueron días a floración, días a madurez, altura de planta, porcentaje del área foliar dañada y rendimiento de grano (Mg ha⁻¹). En una muestra limpia de 500 g de grano se determinó el peso hectolítrico (kg h L⁻¹) en una balanza volumétrica (Seedburo Equipment CO., Chicago, IL). Las muestras se molieron en un molino Brabender (Quadrumat Senior, C.W. Brabender OHG, Alemania) y mediante un cernido a través de una malla de 129 µm de diámetro se obtuvo la harina refinada, en la cual se determinó su contenido de proteína (%) con el analizador NIR infralyzer 300 (método 39-10; AACC, 2005). La fuerza (W) y la relación de tenacidad/extensibilidad (PL) de la masa se calcularon del alveograma, el cual se originó de

F2000, Nahuatl F2000, Rebeca F2000 and Tlaxcala F2000. The numbers (76, 87, 96, and 2000) indicates the year when the genotypes were released, and they are recommended for planting under rainfed conditions by The National Research Institute of Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP). Varieties Galvez M87 and Temporalera M87 are classified, based on the strength of its dough, as mid-strong and the other varieties are strong, which are recommended to the mechanized baking industry. Juchi F2000, Nahuatl F2000, Rebeca F2000 and Tlaxcala F2000, released in the year 2000, have more resistant genes to yellow rust compared to other genotypes. The genotypes were planted in Bellavista, (state of Morelos); Chapingo, Juchitepec and Coatepec (Estado de Mexico). The experimental design was a randomized complete block with two replications in an arrangement of split plot treatments; in which the largest plot were the treatments with and without fungicide and in the small plots were the varieties. The experimental unit was of four rows of 3 m length and 30 cm apart from each other. The applied fungicides were Folicur® and Sportak®, whose active ingredients are tebuconazole and prochloraz, respectively. Applications were of 500 mL ha⁻¹ of Folicur® at the anthesis stage to control rusts and 15 d after 1000 mL ha⁻¹ of Sportak® to control blights and leaf spots. The incidence of foliar diseases was natural.

The evaluated agronomic variables were: days to flowering, days to maturity, plant height, percentage of damaged leaf area and grain yield (Mg ha⁻¹). In a clean 500 g grain sample the test weight (kg h L⁻¹) was determined in a volumetric scale (Seedburo Equipment CO., Chicago, IL). Samples were then grounded in a Brabender mill (Senior Quadrumat CW Brabender OHG, Germany) and by sifting them through a 129 µm diameter mesh refined flour was obtained. Their protein content (%) was determined with the NIR infralyzer 300 analyzer (method 39-10, AACC, 2005). The strength (W) and ratio tenacity/extensibility (PL) of the dough were calculated from the alveograph, which was originated from 60 g of refined flour in Chopin's Alveograph (Tripette & Renaud, France), using method 54-30A from the AACC (2005). The doughs were classified as: 1) by W in strong doughs, of a value greater than 300×10⁻⁴ J, mid-strong doughs ranging from 200×10⁻⁴ J to 300×10⁻⁴ J, and weak doughs under 200×10⁻⁴ J; 2) by PL, in balanced (PL=1.1), extensible (PL<1) and tenacious (PL>1.2). The bread volume (mL) was measured using the method of direct dough (method 10-09, AACC, 2005) with 100 g of refined flour and was determined in a volutometer by rapeseed displacement (*Brassica campestris* L.).

Data analysis

The data obtained was analysed using the GLM procedure (SAS Institute, 2002) and the means were compared with the

60 g de harina refinada, en el Alveógrafo de Chopin (Tripette & Renaud, Francia), usando el método 54-30A de la AACC (2005). Las masas se clasificaron así: 1) con W se agrupan en masas fuertes mayores de 300×10^{-4} J, masas medias fuertes de 200×10^{-4} J a 300×10^{-4} J y masas débiles menores de 200×10^{-4} J; 2) con PL se agrupan en 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) con 100 g de harina refinada y se determinó en un volutómetro por desplazamiento de semillas de colza (*Brassica campestris* L.).

Análisis de datos

Los datos obtenidos se analizaron con un ANDEVA con el procedimiento GLM (SAS Institute, 2002) y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), para identificar las diferencias entre localidades, tratamientos con y sin fungicida, así como las interacción tratamiento por variedad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre localidades, genotipos y para las interacciones localidad por genotipo y genotipo por fungicida para todas las variables de calidad hubo diferencias significativas, resultados que son similares a los encontrados por Gooding (2007) y Ruske *et al.* (2004). Pero no hubo diferencias para días a floración con y sin la aplicación de fungicidas, así como para esta variable y altura de planta para la interacción variedad por fungicida (Cuadro 1), lo cual concuerda con lo reportado por Lackermann *et al.* (2011) y Villaseñor *et al.* (2012). Lo anterior muestra el contraste de las condiciones ambientales y de genotipos con diferentes características agronómicas y calidad, así como la aplicación de los fungicidas y su interacción con la localidad y genotipo influyeron en las variables agronómicas y de calidad industrial del trigo harinero.

Las localidades de Bellavista y Juchitepec mostraron los rendimientos de grano más altos y presentaron los valores mayores de área foliar dañada, contrario a lo observado en Coatepec y Chapingo (Cuadro 2). Lo anterior pudo deberse a una mayor incidencia de las enfermedades pero su severidad fue menor; con base a lo indicado por Rodríguez-Pérez *et al.* (2005), Bellavista y Juchitepec se clasifican como ambientes favorables para la producción de trigo, y Coatepec y Chapingo como intermedios.

Tukey test ($p \leq 0.05$), to identify differences between localities, treatment with and without fungicide, as well as the interactions treatment-variety.

RESULTS AND DISCUSSION

There were significant differences among locations, genotypes and for interactions locality-genotype and genotype-fungicide in all the quality variables. These results are similar to those found by Gooding (2007) and Ruske *et al.* (2004). Nevertheless, there were no differences in days to flowering with and without fungicide application, as well as for this variable and plant height in the interaction variety-fungicide (Table 1), which is consistent with the results reported by Lackermann *et al.* (2011) and Villaseñor *et al.* (2012). These results show the contrast between environmental conditions and genotypes with different agronomic characteristics and quality. The data also shows that the application of fungicides and their interaction with the locality and genotype influenced the agricultural and industrial quality bread wheat variables.

The localities of Bellavista and Juchitepec showed higher grain yields, they also presented the higher values of damaged leaf area, contrary to what was observed in the localities of Coatepec and Chapingo (Table 2). This could be due to a higher incidence of disease but its severity was milder; based on the results of Rodríguez-Pérez *et al.* (2005). The localities of Bellavista and Juchitepec are classified as suitable environments for wheat production; Coatepec and Chapingo are classified as mild environments.

The genotypes Rebeca F2000, Tlaxcala F2000 and Juchi F2000 had less damaged leaf area and had high production, which is partially explained by its genetic resistance to yellow rust, according to Villaseñor-Espin *et al.* (2009). Rebeca F2000 was the most productive due to its longer crop cycle, as indicated by the fact that it takes more days to reach maturity, which could be associated with a larger period of time dedicated to fill the grains and this is consistent with the report of Villaseñor *et al.* (2004) where they classify Rebeca F2000 as a variety of late cycle. The application of fungicides reduced the incidence of foliar diseases, which in turn decreased the damaged leaf area and increased grain yield; whereas the disease shortened the crop cycle and reduced plant height (Table 2).

Cuadro 1. Significancia de los cuadrados medios del análisis de varianza para variables agronómicas y de calidad del trigo harinero cultivado en condiciones de temporal.**Table 1. Significance of the mean squares of the analysis of variance for agronomic traits and quality of rainfed bread wheat.**

FV	GL	DF	DM	AP	AFD	REND
Localidad (L)	3	**	**	**	**	**
Genotipos (G)	8	**	**	**	**	**
Fungicida (F)	1	ns	**	*	**	**
L*G	24	**	**	**	**	**
L*F	3	ns	**	**	**	**
G*F	8	ns	**	ns	**	**
L*F*G		ns	*	ns	**	ns
CV		1.5	1.4	4.8	11.4	9.9
Error [†]	136	0.9	3.0	20.1	32.8	233841.6
FV	GL	PHL	PH	W	PL	VP
Localidad (L)	3	*	**	**	**	**
Genotipos (G)	8	**	**	**	**	**
Fungicida (F)	1	**	**	**	**	**
L*G	24	**	**	**	**	**
L*F	3	**	**	**	**	**
G*F	8	**	**	**	**	**
L*G*F		**	**	**	**	**
CV		1.2	3.3	10.0	14.4	4.3
Error [†]	68	0.9	0.1	1632.5	0.02	1147.9

* $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; GL: grados de libertad; [†]error del análisis general; FV: fuente de variación; DF: días a floración; DM: días a madurez; AP: altura de planta; AFD: área foliar dañada; REND: rendimiento de grano; PHL: peso hectolítrico; PH: proteína en harina; W: fuerza de la masa; PL: relación tenacidad/extensibilidad, y VP: volumen de pan ❖ * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; DG: degrees of freedom; [†]general analysis error; SV: source of variation; DF: days to flowering; DM: days to maturity; PH: plant height; DLA: damaged leaf area; GY: grain yield; TW: hectolitre weight; PF: protein in the flour; W: dough strength; PL: relationship tenacity/extensibility, and BV: Bread volume.

Los genotipos Rebeca F2000, Tlaxcala F2000 y Juchi F2000 presentaron menor área foliar dañada y alto rendimiento lo cual se explica en parte por su resistencia genética a roya amarilla, según Villaseñor-Espín *et al.* (2009). Rebeca F2000 fue la más productiva debido a su mayor ciclo de cultivo, indicado por su mayor número de días a madurez, lo cual se asociaría con un periodo de llenado de grano mayor y esto concuerda con lo señalado por Villaseñor *et al.* (2004) quienes la clasifican como una variedad de ciclo tardío. La aplicación de los fungicidas redujo la incidencia de las enfermedades foliares lo cual disminuyó el área foliar dañada e incrementó el rendimiento de grano; mientras que la enfermedad acortó el ciclo del cultivo y aminoró la altura de planta (Cuadro 2).

La enfermedad redujo los días del ciclo de madurez en las variedades Rebeca F2000 y Juchi F2000, respecto a Gálvez M87 y Temporalera M87, porque

The diseases reduced the days of the maturity cycle in the varieties Rebeca F2000 and Juchi F2000, compared with the days in the maturity cycle of varieties Galvez M87 and Temporalera M87. This is caused by diseases given that they accelerate senescence of leaves and these varieties do not have resistance genes to the yellow rust (Villaseñor-Espin *et al.*, 2009) (Figure 1A). The plant height of Rebeca F2000 and Tlaxcala F2000 was not affected, contrary of what was observed in Romoga F96 and Temporalera M87 (Figure 2) this is consistent with the reports of Leyva *et al.* (2003), Rodríguez-Contreras *et al.* (2008) and Wiik (2009). Based on the above, the genotypes that have resistance genes to yellow rust, even without the application of fungicides, showed less damaged leaf area and a smaller loss in grain yield, compared with varieties that do not have these genes. This validates the importance of accumulating resistance genes using improvement against the complex of foliar diseases.

Cuadro 2. Medias de variables agronómicas por localidad, genotipos y con y sin aplicación de fungicida, de trigo harinero cultivado en condiciones de temporal.**Table 2. Mean agronomic variables per location, genotypes and with and without fungicide application, in bread wheat under rainfed conditions.**

	DF	DM	AP	AFD	REND
Bellavista, Morelos	69.1 a	129.4 b	94.9 a	57.5 a	6.2 a
Juchitepec, México	63.0 d	121.4 c	91.6 b	55.1 a	5.3 b
Coatepec, México	64.4 c	115.6 d	95.9 a	42.5 b	4.3 c
Chapingo, México	66.2 b	134.9 a	89.0 c	45.1 b	3.5 d
DSH	0.5	0.9	2.2	2.8	0.2
Rebeca F2000	72.5 a	132.2 a	96.3 b	32.9 d	5.4 a
Náhuatl F200	63.9 e	121.9 fe	94.9 b	48.9 c	5.1 ba
Tlaxcala F2000	64.7 ed	124.3 c	89.5 cd	35.2 d	5.1 ba
Juchi F2000	66.1 c	127.1 b	93.2cb	31.4 d	5.0 b
Temporalera M87	66.4 c	127.5 b	103.1 a	58.9 b	4.8 b
Batán F96	64.9 d	122.3 de	89.5 cd	57.5 b	4.7 b
Romoga F96	64.7 ed	123.9 dc	86.3 d	51.8 c	4.7 bc
Gálvez M87	60.1 f	120.6 f	90.1 cd	69.7 a	4.3 dc
Pavón F76	68.0 b	128.3 b	92.7 cb	64.5 a	4.2 d
DSH	0.8	1.5	4.0	5.2	0.4
Con fungicida	65.7 a	127.2 a	93.6 a	26.0 a	5.3 a
Sin fungicida	65.7 a	123.5 b	92.1 b	74.2 b	4.3 b
DSH	0.3	0.5	1.2	1.5	0.1

[†]Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). DF: días a floración; DM: días a madurez; AP: altura de planta (cm); AFD: área foliar dañada (%); REND: rendimiento de grano (Mg ha^{-1}). DSH: diferencia significativa honesta $\diamond$ [†]Values with different letter in a column are statistically different ($p \leq 0.05$). DF: days to flowering; DM: days to maturity; PH: plant height (cm); DLA: damaged leaf area (%); GY: grain yield (Mg ha^{-1}). HSD: honest significant difference.

las enfermedades aceleran la senescencia de las hojas ya que estas variedades no presentan genes de resistencia a roya amarilla (Villaseñor-Espín *et al.*, 2009) (Figura 1A). La altura de planta de Rebeca F2000 y Tlaxcala F2000 no fue afectada, contrario a lo observado en Romoga F96 y Temporalera M87 (Figura 2) lo cual concuerda con lo reportado por Leyva *et al.* (2003), Rodríguez-Contreras *et al.* (2008) y Wiik, (2009). Con base en lo anterior, los genotipos que presentan genes de resistencia a roya amarilla, aun sin la aplicación de fungicidas, mostraron un daño menor sobre el área foliar y una pérdida menor en el rendimiento de grano respecto a las variedades que no tienen esos genes. Esto revalida la importancia de acumular genes de resistencia mediante el mejoramiento en contra del complejo de enfermedades foliares.

La presencia de las enfermedades foliares causó pérdidas en rendimiento de 7.3 % a 28.6 % en función de la variedad, lo que concuerda con lo señalado por Ransom y McMullen (2008) y Thompson

The presence of foliar diseases caused yield losses between 7.3 % and 28.6 % depending on the variety, this is consistent with the reports of Ransom and McMullen (2008) and Thompson *et al.* (2014). They reported values ranging from 5.5 % to 44.0 %, depending on the tolerance of the genotypes to disease. The genotypes Rebeca F2000, Juchi F2000 and Tlaxcala F2000 showed lower losses in damaged leaf area and production, whereas Pavon F76 and Galvez M87 presented an opposite behavior (Table 3). This situation is partially explained because the first genotypes have the gene Yr18 and three lesser genes with additive effects to resistance to yellow rust (Villaseñor-Espín *et al.*, 2009), as well as an increased tolerance to *Septoria* sp. and by its higher potential yield, which is consistent with that indicated by Ramirez *et al.* (2016). Batan F96 showed a reduction of 63 % in leaf area, this is associated with a minimal decrease in production, which may be due to its increased ability to translocate leaf assimilates to the wheat's ear, a mechanism reported by Leyva *et al.*

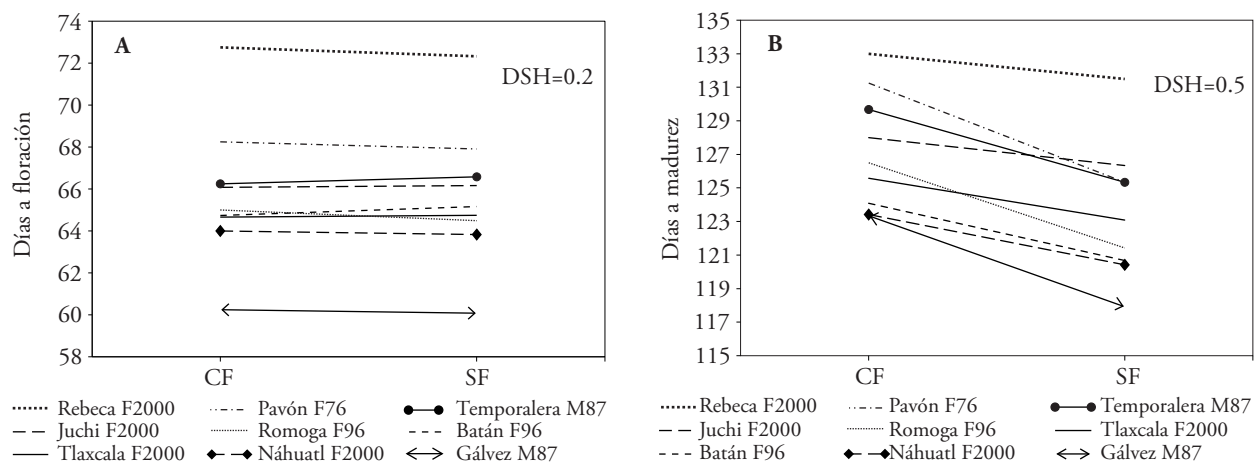


Figura 1. A) Comportamiento de días a floración y, B) días a madurez, en función de la aplicación de fungicida en trigo harinero de temporal. CF y SF: con y sin aplicación de fungicida, respectivamente. DSH: diferencia significativa honesta.

Figure 1. Behavior of A) Days to flowering and B) Days maturity, in terms of the application of fungicides in bread wheat under rainfed conditions. CF and SF: with and without fungicide application, respectively. HSD: honest significant difference.

et al. (2014) quienes reportan valores de 5.5 % a 44.0 %, según la tolerancia de los genotipos a las enfermedades. Los genotipos Rebeca F2000, Juchi F2000 y Tlaxcala F2000 mostraron las pérdidas menores en área foliar dañada y rendimiento, mientras que Pavón F76 y Gálvez M87 tuvieron un comportamiento contrario (Cuadro 3). Lo anterior se explica en parte porque los primeros genotipos poseen el gen Yr18 y tres genes menores de efectos aditivos de resistencia a roya amarilla (Villaseñor-Espín *et al.*, 2009), así como una tolerancia mayor a *Septoria* sp. y por su mayor potencial de rendimiento, lo que concuerda con lo indicado por Ramírez *et al.* (2016). Batán F96 mostró 63 % de reducción de área foliar asociada con una disminución mínima en el rendimiento, lo cual puede deberse a su mayor capacidad de translocar asimilados de las hojas a la espiga, un mecanismo reportado por Leyva *et al.* (2003). La aplicación de los fungicidas disminuyó la incidencia de la enfermedad y evitó la pérdida en rendimiento promedio de grano en 19.2 %, lo cual es menor al 42 % de reducción de pérdida documentado por Wegulo *et al.* (2009).

La localidad Bellavista presentó los valores mayores de peso hectolítrico lo que permitirá obtener mayor rendimiento en harina (Baasandorj *et al.* (2015), pero mostró los valores más bajos de proteína lo que asociado a su masa tenaz, por su PL mayor a 1.2, desfavoreció su volumen de pan. Las otras localidades presentaron un comportamiento inverso (Cuadro 4).

(2003). The application of fungicides decreased the incidence of the disease and prevented losses in a grain yield average of 19.2%, which is smaller than the 42 % loss reduction documented by Wegulo *et al.* (2009).

The location in Bellavista presented the highest values of hectolitre weight which in turn will

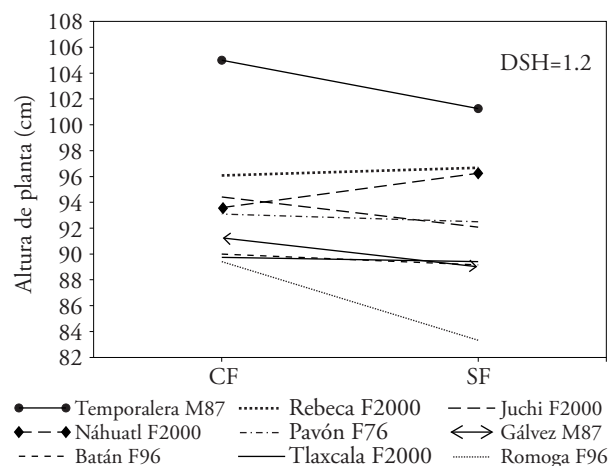


Figura 2. Comportamiento de la altura de planta en función de la aplicación de fungicida en trigo harinero de temporal. DSH: diferencia significativa honesta. CF y SF: con y sin aplicación de fungicida, respectivamente.

Figure 2. Variations in plant height depending on the application of fungicide in flour wheat in rainfed conditions. HSD: honest significant difference CF and SF: with and without fungicide application, respectively

Cuadro 3. Pérdidas del área foliar y rendimiento de grano en función de la aplicación de fungicida en trigo harinero de temporal.**Table 3. Losses of leaf area and grain yield depending on the application of fungicide in rainfed bread wheat.**

	Área foliar dañada (%)			Rendimiento (Mg ha ⁻¹)		
	CF	SF	Pérdida (%)	CF	SF	Pérdida (%)
Rebeca F2000	17.1 a [†]	48.8 b	31.7	5.7 a	5.3 b	7.3
Juchi F2000	17.9 a	45.0 b	27.1	5.3 a	4.8 b	9.9
Tlaxcala F2000	19.2 a	51.3 b	32.1	5.5 a	4.8 b	11.9
Batán F96	25.8 a	89.2 b	63.3	5.3 a	4.3 b	20.2
Romoga F96	26.3 a	77.5 b	51.3	5.3 a	4.2 b	20.4
Náhuatl F2000	28.8 a	69.2 b	40.4	5.8 a	4.6 b	21.3
Temporalera M87	29.6 a	88.3 b	58.8	5.5 a	4.1 b	26.1
Pavón F76	30.0 a	99.2 b	69.2	5.0 a	3.6 b	27.4
Gálvez M87	39.6 a	100.0 b	60.4	5.1 a	3.6 b	28.6
Media	26.0 a	74.3 b	48.2	5.4	4.4	19.2

[†]Valores con diferente letra en una hilera son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). CF y SF: con y sin aplicación de fungicida, respectivamente ♦ [†]Values with different letter in a row are statistically different ($p \leq 0.05$). CF and SF: with and without fungicide application, respectively.

Cuadro 4. Medias de variables de calidad industrial por localidad, genotipos y con y sin la aplicación de fungicida, de trigo harinero cultivados en condiciones de temporal.**Table 4. Mean of industrial quality variables per locality, genotypes and with and without fungicide application in rainfed bread wheat.**

	PHL (kg hL ⁻¹)	PH (%)	W (10 ⁻⁴ J)	PL (0-7)	VP (mL)
Chapingo, México	75.1 c	10.9 a	483.6 a	0.9 b	855.2 a
Coatepec, México	75.9 b	10.0 b	393.0 b	0.7 c	819.8 b
Juchitepec, México	76.0 b	9.9 b	411.8 b	1.0 b	808.6 b
Bellavista, Morelos	80.7 a	8.3 c	320.1 c	1.4 a	628.7 c
DSH	0.6	0.2	25.0	0.09	21.3
Gálvez M87	75.5 cb	9.3 b	364.6 d	0.6 f	839.3 a
Juchitepec F2000	79.3 a	10.2 a	430.2 bc	0.7 ef	811.5 ba
Náhuatl F2000	74.5 c	10.0 a	470.9 ba	0.9 ed	809.6 ba
Tlaxcala F2000	79.6 a	10.2 a	494.6 a	1.1 cb	801.2 bac
Romoga F96	79.1 a	9.9 a	422.5 c	1.0 cd	782.8 bc
Pavón	75.5 cb	10.0 a	368.6 d	1.0 cd	765.0 dc
Temporalera M87	76.5 b	9.8 a	325.1 d	0.9 ed	739.3 ed
Batán F96	75.9 b	9.4 b	250.0 e	1.2 b	718.7 e
Rebeca F2000	76.4 b	9.2 b	492.6 a	1.5 a	718.5 e
DSH	1.0	0.3	45.7	0.2	15.5
Sin fungicida	75.9 b	9.9 b	413.4 a	1.0 a	787.1 a
Con fungicida	77.9 a	9.7 a	390.9 b	1.0 a	766.0 b
DSH	0.3	0.1	13.4	0.05	11.4

[†]Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). PHL: peso hectolítico; PH: proteína en harina; W: fuerza de la masa; PL: relación tenacidad/extensibilidad; VP: volumen de pan. DSH: diferencia significativa honesta ♦ [†]Values with different letter in a column are statistically different ($p \leq 0.05$). TW: hectolitre weight; FP: flour protein; W: dough strength; PL: relationship tenacity / extensibility; BV: bread volume HSD: honest significant difference.

Lo anterior concuerda con lo indicado por Espitia *et al.* (2003) quienes reportan como las variables de calidad industrial de trigo harinero son afectadas por las condiciones ambientales.

La mayoría de los genotipos mostraron pesos hectolítricos superiores a 75 kg hL^{-1} y se asociaron a masas fuertes, lo que coincide por lo reportado por Hortelano *et al.* (2013). Gálvez M87 y Juchi F2000 se clasificaron con extensibilidad excelente debido a su relación tenacidad/extensibilidad, lo que resultó en los volúmenes más altos de pan; esto es contrario a lo mostrado por Batán F96 y Rebeca F2000, que por sus masas tenaces $PL > 1.2$, presentaron los volúmenes menores de pan (Cuadro 4). Lo anterior confirma lo señalado por Sanchez-García *et al.* (2015) de que masas fuertes y extensibles favorecen el volumen y masas tenaces lo reducen. La ausencia de enfermedades foliares debido a la aplicación de fungicida favoreció el peso hectolítrico del grano, un resultado similar al reportado por Ruske *et al.* (2003) y Serrago *et al.* (2011), lo que favorecerá el rendimiento harinero durante la molienda. Pero la proteína en harina disminuyó, por lo cual se redujo la fuerza de la masa y en consecuencia el volumen de pan (Cuadro 4), lo cual concuerda con Watson *et al.* (2010) y Ruske *et al.* (2004).

La ausencia de enfermedades por la aplicación de los fungicidas favoreció el peso hectolítrico en todos los genotipos. Juchi F2000, Rebeca F2000 y Temporalera M87 no presentaron disminuciones sin su aplicación, pero el comportamiento fue inverso en Náhuatl F2000 y se asoció al valor más bajo (Figura 3). Debido a la ausencia de las enfermedades por la aplicación de los fungicidas, los genotipos Tlaxcala F2000, Rebeca F2000, Náhuatl F2000 y Pavón F76, disminuyeron su contenido de proteína y en consecuencia la fuerza de la masa (Figura 4A y B), lo que desfavoreció su volumen de pan. La disminución de proteína puede deberse al aumento en rendimiento el cual fue mayor 1.2 Mg en Pavón F76 y Náhuatl F2000. Las aplicaciones aumentaron el volumen de pan en Gálvez M87 y Temporalera M87 (Figura 4D), lo cual se explica para Temporalera M87 por el incremento en proteína y fuerza de la masa. Gálvez M87, Juchi F2000, Náhuatl F2000 y Tlaxcala F2000 presentaron los volúmenes más altos de pan, con y sin la aplicación de fungicidas, lo cual se debe a que combinaron masas fuertes por su $W > 300 \times 10^{-4} \text{ J}$ y balanceadas a extensibles por su $PL < 1.2$ (Figura

produce higher flour yield (Baasandorj *et al.*, 2015), nevertheless it had the lowest protein values, which is associated with its tenacious dough, its PL higher than 1.2 disfavored the bread's volume. The other locations had an inverse behavior (Table 4). This concurs with the results of Espitia *et al.* (2003) who reported how the variables of industrial quality of bread wheat are affected by environmental conditions.

Most of the genotypes presented test weight greater than 75 kg hL^{-1} and were associated with strong doughs, which agree with the report by Hortelano *et al.* (2013). Galvez M87 and Juchi F2000 were classified with excellent extensibility because of its relation tenacity/extensibility, resulting in the highest bread volume; this is contrary to the results of Batan F96 and Rebeca F2000, whose tenacious doughs PL1.2, presented the smallest bread volume (Table 4). This confirms the point by Sanchez-García *et al.* (2015) that strong and extensible doughs favor volume and tenacious doughs reduce it. The absence of foliar diseases due to the application of fungicides favored the hectolitre weight of the grain, similar to a result reported by Ruske *et al.* (2003) and Serrago *et al.* (2011), this will favor the flour's throughput during the milling. But protein in the flour decreased; therefore, the strength of the dough and consequently the bread volume (Table 4) and this concurs with Watson *et al.* (2010) and Ruske *et al.* (2004).

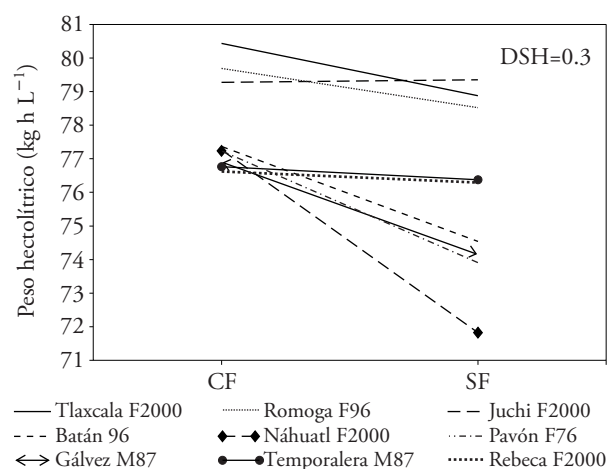


Figura 3. Comportamiento del peso hectolítrico en función de la aplicación de fungicida en trigo harinero de temporal. DSH: diferencia significativa honesta.

Figure 3. Behavior of hectolitre weight depending on the application of fungicides in rainfed bread wheat. HSD: honest significant difference.

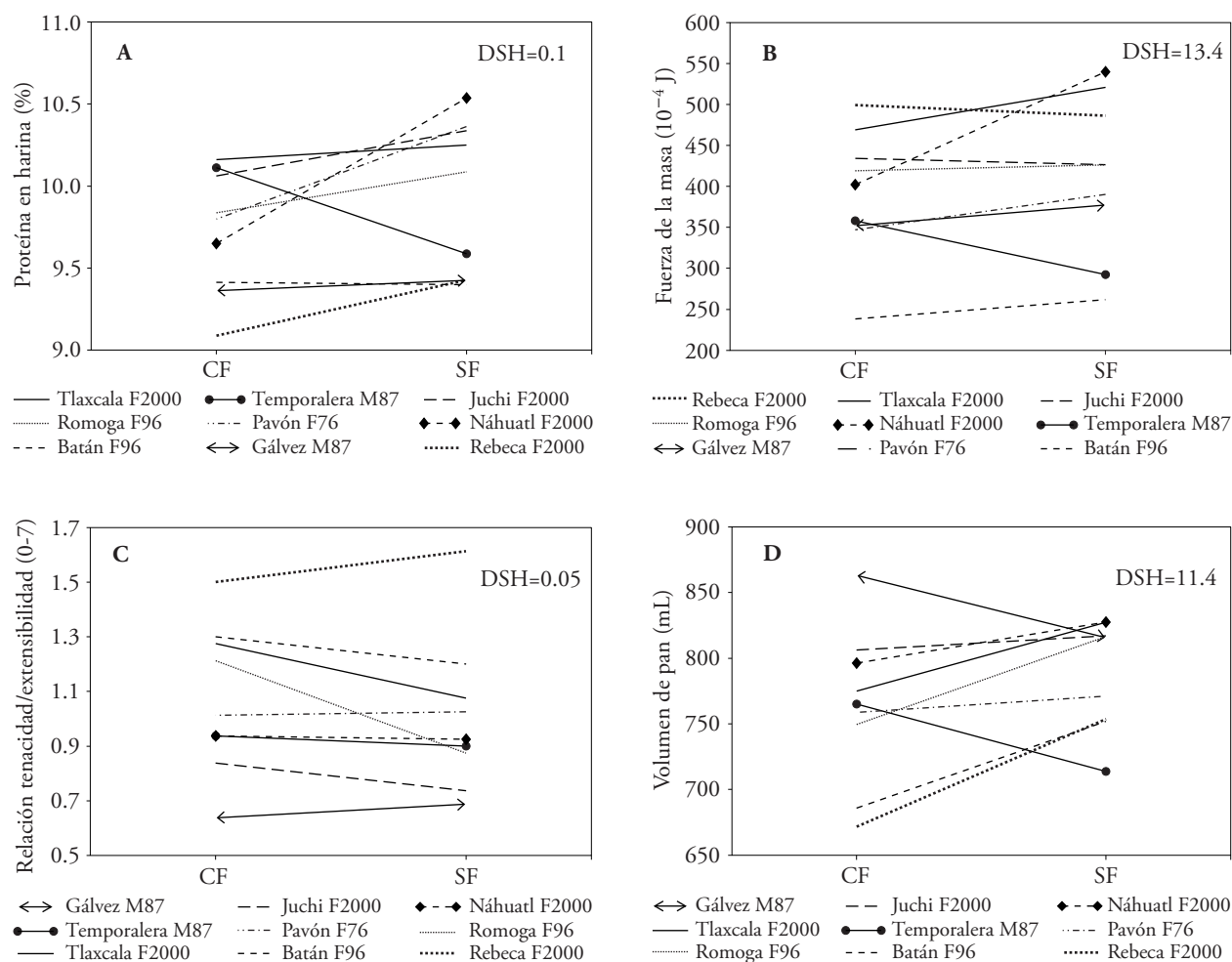


Figura 4. Comportamiento del contenido de proteína en harina: A) fuerza de la masa, B) relación tenacidad/extensibilidad, C) volumen de pan, D) en función de la aplicación de fungicida en trigo harinero de temporal. DSH: diferencia significativa honesta.

Figure 4. Behavior of protein content in flour: A) dough strength, B) relation tenacity/extensibility, C) bread volume, D) in terms of fungicide application in bread rainfed wheat under. HSD: honest significant difference.

4C). Batán F96 y Rebeca F2000 se clasificaron por su $PL > 1.2$ como masas tenaces lo que resultó en volúmenes menores de pan debido a la aplicación de fungicidas, mientras que sin aplicación, es decir en presencia de enfermedad, lo incrementaron. En Rebeca F2000 pudo deberse al incremento de proteína en harina, pero en Batán F96 aumentó la fuerza y disminuyó el PL de la masa, características que favorecen el volumen de pan. Lo anterior concuerda con Gooding, (2007), Tanács *et al.* (2010) y Devadas *et al.* (2014), quienes indicaron que la aplicación de fungicidas afecta diferencialmente estas características, lo cual depende del contenido de proteína y la fuerza de la masa de los genotipos y además puede afectarse el contenido de proteína según la enfermedad que se

The absence of disease because of the application of fungicides favored the hectolitre weight in all genotypes. Juchi F2000, Rebeca F2000 and Temporalera M87 did not show decreases without application; however Nahuatl F200 had a reverse behavior and this was associated with the lowest value (Figure 3). Due to the absence of diseases by the application of fungicides, genotypes Tlaxcala F2000, Rebecca F2000, Nahuatl F2000 and Pavon F76, decreased their protein content and consequently the strength of the dough (Figure 4A and B), which affected the bread's volume. The decrease of protein may be due to higher grain production, which was higher than 1.2 Mg in Pavon F76 and Nahuatl F2000. The applications

presente (Dimmock y Gooding, 2002 y Schierenbeck *et al.*, 2014). Con base en lo anterior, el contenido de proteína es la variable que disminuye si hay control químico de las enfermedades foliares, lo cual modifica la fuerza y la relación tenacidad/extensibilidad y en consecuencia modifica el volumen de pan; además, estas variables de la masa dependen de las características genéticas de cada genotipo y las condiciones de cada localidad.

La tolerancia a las enfermedades de Juchi F2000 y Tlaxcala F2000 les permitió que, sin la aplicación de fungicidas, mostraran pérdidas pequeñas del área foliar dañada y rendimiento; además, se asociaron con pesos hectolítricos altos lo cual se debe a su resistencia genética al complejo de enfermedades foliares y su potencial de rendimiento alto. Ambos genotipos mostraron volúmenes mayores a 800 mL de pan, debido a la conjunción de masa fuerte y extensible. Rebeca F2000 mostró, en presencia de la enfermedad, la menor disminución en rendimiento de todos los genotipos; sin embargo, debido a su PL > 1.5, el más alto de todos los genotipos, se clasificó como una masa tenaz que resultó en volúmenes de pan menores a 750 mL.

CONCLUSIONES

La aplicación de fungicida evitó la incidencia de enfermedades y disminuyó las pérdidas en el área foliar, rendimiento de grano y el peso hectolítrico, pero redujo el contenido de proteína, lo que en consecuencia bajó la fuerza de la masa y volumen de pan. Por lo tanto, mediante la selección de genotipos tolerantes a las enfermedades que presenten menor área foliar dañada o mediante la aplicación de fungicidas, es posible conjuntar rendimiento alto, peso hectolítrico adecuado para industria molinera, y masa fuerte-balanceada o extensible que favorezca el volumen de pan apropiado para la industria panadera nacional.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CONACYT (Proyecto: 146788) el financiamiento para la presente investigación.

LITERATURA CITADA

AACC. 2005. Approved Methods of the AACC. 9th ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA.

increased the bread's volume of Galvez M87 and Temporalera M87 (Figure 4D), which is explained given that Temporalera M87 presented increased protein contents and consequently the dough had more strength. Galvez M87, Juchi F2000, Tlaxcala F2000 and Nahuatl F2000 had the highest bread volume, with and without fungicide application. The dough's strength is because of the combination of its characteristics: W 300104 J, PL 1.2 that are balanced to extensible (Figure 4C). Batán F96 and Rebeca F2000, given their PL1.2 are classified as tenacious doughs resulting in smaller bread volumes due to the application of fungicides; whereas without fungicides, meaning with disease, they increased the bread volume. In Rebecca F2000 this could be due to increased flour's protein, but Batán F96 increased the dough's strength and decreased the dough's PL, trait that favors bread volume. This is consistent with Gooding (2007), Tanács *et al.* (2010) and Devadas *et al.* (2014), who indicated that the application of fungicides differentially affect these characteristics, in which the protein content and the strength of the dough of the genotypes depend. This also affects the protein content depending on the disease (Dimmock and Gooding, 2002 and Schierenbeck *et al.*, 2014). Based on the above, the protein content is the variable that decreases because of the chemical control of foliar diseases, which modifies the strength and tenacity/extensibility relation and consequently changes the volume of the bread; Furthermore, these dough characteristics depend on the genetic traits of each genotype and the conditions of each location.

The tolerance to diseases showed by Juchi F2000 and Tlaxcala F2000 resulted in small losses in yield and little damage on leaf area without the use of fungicides. They also displayed high hectolitre weight which is due to their genetic resistance to foliar diseases and high yield potential. Both genotypes showed volumes higher than 800 mL of bread, due to a combination of dough strength and extensibility. Rebeca F2000 in the presence of the disease, showed the smallest yield decline amongst all varieties; however, due to its PL1.5, the highest of all genotypes, it was classified as tenacious dough resulting in bread volumes lower than 750 mL.

CONCLUSIONS

Fungicide application prevented the incidence of diseases and decreased losses of leaf area, grain yield

- Baasandorj, T., J. B. Ohm, F. Manthey, and S. Simsek. 2015. Effect of kernel size and mill type on protein, milling yield, and baking quality of hard red spring wheat. *Cereal Chem.* 92: 81-87.
- Blandino, M., and A. Reyneri. 2009. Effect of fungicide and foliar fertilizer application to winter wheat at anthesis on flag leaf senescence, grain yield, flour bread-making quality and DON contamination. *Eur. J. Agron.* 30: 275-282.
- CANIMOLT (Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo). 2014. Reporte Estadístico al 2013. México. CANIMOLT. México. 98 p.
- Devadas, R., S. Simpfendorfer, D. Backhouse, and D. W. Lamb. 2014. Effect of stripe rust on the yield response of wheat to nitrogen. *Crop J.* 2: 201-206.
- Dimmock, J. P. R. E., and M. J. Gooding. 2002. The influence of foliar diseases, and their control by fungicides, on the protein concentration in wheat grain: a review. *J. Agric. Sci.* 138: 349-366.
- Duveiller, E., R. P. Singh, and J. M. Nicol. 2007. The challenges of maintaining wheat productivity: pests, diseases, and potential epidemics. *Euphytica* 157: 417-430.
- Espitia, R. E., R. J. Peña B., H. E. Villaseñor M., J. Huerta E., y A. Limón O. 2003. Calidad industrial de trigos harineros mexicanos para temporal. I. Comparación de variedades y causas de la variación. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 249-256.
- Gooding, M. J. 2007. Influence of foliar diseases and their control by fungicides on grain yield and quality in wheat. In: Buck, H. T., J. E. Nisi, and N. Salomon (eds). *Wheat Production in Stressed Environments*. Springer. Amsterdam, Netherlands. pp: 567-581.
- Hortelano, S. R., H. E. Villaseñor M., E. Martínez C., M. F. Rodríguez G., E. Espitia R., y L. A. Mariscal A. 2013. Estabilidad de variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en los Valles Altos de la Mesa Central. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4: 713-725.
- Huerta, E. J., y R. P. Singh. 2000. Las royas del trigo. In: Villaseñor, M. H. E., y E. Espitia. (eds). *El Trigo de Temporal en México*. Chapingo, México, SAGAR-INIFAP. (Libro Técnico No. 1). pp: 231-251.
- Lackermann, K. V., S. P. Conley, J. M. Gaska, M. J. Martinka, and P. D. Esker. 2011. Effect of location, cultivar, and diseases on grain yield of soft red winter wheat in Wisconsin. *Plant Dis.* 95: 1401-1406.
- Leyva, M. S. G., E. Espitia R., H. E. Villaseñor M., y J. Huerta E. 2003. Efecto de la roya de la hoja (*Puccinia triticina* eriks.) sobre el rendimiento de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. *Rev. Mex. Fitopatol.* 21: 40-45.
- Milus, E. A., K. Kristensen, and M. S. Hovmoller. 2009. Evidence for increased aggressiveness in a recent widespread strain of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* causing stripe rust of wheat. *Phytopathology* 99: 89-94.
- Ramírez, V. J., R. Hortelano S., H. E. Villaseñor M., E. López H., E. Martínez C., y E. Espitia R. 2016. Evaluación de variedades y líneas uniformes de trigo harinero de temporal en Valles Altos. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7: 655-667.
- Ransom, J. K., and M. V. McMullen. 2008. Yield and disease control on hard winter wheat cultivars with foliar fungicides. *Agron. J.* 100: 1130-1137.
- Rodríguez-Contreras, M. E., H. E. Villaseñor-Mir, G. Leyva-Mir, J. Huerta-Espino, J. S. Sandoval-Islas, y H. M. de los Santos and hectolitre weight, but reduced protein content, which consequently lowered dough strength and bread volume. Therefore, by selecting varieties that tolerate diseases by having less damaged leaf area or by applying fungicides it is possible to combine higher production, appropriate hectolitre weight for the milling industry, and strong-balanced or extensible dough that favors the appropriate bread volume for the national baking industry.

—End of the English version—



- Posadas. 2008. Efecto de *Septoria tritici* en el rendimiento de trigo de temporal en ambientes lluviosos de los Valles Altos Centrales de México. *Agrociencia* 42: 435-442.
- Rodríguez-Pérez, J. E., J. Sahagún-Castellanos, H. E. Villaseñor-Mir, J. D. Molina-Galán, y Á. Martínez-Garza. 2005. La interacción genotipo×ambiente en la caracterización de áreas temporales de producción de trigo. *Agrociencia* 39: 51-64.
- Ruske, R. E., M. J. Gooding, and B. J. Dobraszczyk. 2004. Effects of Triazole and Strobilurin fungicide programmes, with and without late-season nitrogen fertilizer, on the baking quality of Malacca winter wheat. *J. Cereal Sci.* 40: 1-8.
- Ruske, R. E., M. J. Gooding, and S. A. Jones. 2003. The effects of adding picoxystrobin, azoxystrobin and nitrogen to a Triazole programme on disease control, flag leaf senescence, yield and grain quality of winter wheat. *Crop Prot.* 22: 975-987.
- Sanchez-Garcia M., F. Alvaro, A. Peremarti, J. A. Martin-Sanchez, and C. Royo. 2015. Changes in bread-making quality attributes of bread wheat varieties cultivated in Spain during the 20th century. *Eur. J. Agron.* 63: 79-88.
- SAS Institute. 2002. SAS/STAT User's Guide: GLM VARCOMP. 6.04. Fourth edition Cary, NC, USA. pp: 891-996.
- Schierenbeck, M., M. C. Fleitas, F. Cortese, S. Golik, y M. R. Simón. 2014. Enfermedades foliares del trigo afectan diferencialmente la absorción post-anthesis y removilización del nitrógeno hacia los granos. *Rev. Agron. Noroeste Argentina* 34: 242-246.
- Serrago, R. A., R. Carretero, M. O. Bancal, and D. J. Miralles. 2011. Grain weight response to foliar diseases control in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crop. Res.* 120: 352-359.
- Tanács, L., E. Gregová, K. Bodnár, F. Lantos, and T. Monostori. 2010. Effects of fertilizers and fungicides applied in various doses and combinations on baking characteristics of wheat. *Cereal Res. Commun.* 38: 579-588.
- Thompson, N. M., F. M. Epplin, J. T. Edwards, and R. M. Hunger. 2014. Economics of foliar fungicides for hard red winter wheat in the USA southern Great Plains. *Crop Prot.* 59: 1-6.
- Villaseñor-Espín, O. M., J. Huerta-Espino, S. G. L. Mir, H. E. Villaseñor-Mir, R. P. Singh, J. S. Sandoval-Islas, y E. Espitia-Rangel. 2009. Genética de la resistencia a roya amarilla en plantas adultas de trigo harinero. *Rev. Fitotec. Mex.* 32: 217-223.

- Villaseñor Mir, H. E., E. Espitia Rangel, J. Huerta Espino, R. González Íñiguez, E. Solís Moya, y J. Peña Bautista. 2004. Rebeca F2000, nueva variedad de trigo para siembras en temporales favorables e intermedios en México. *Rev. Fitotec. Mex.* 27: 285-287.
- Villaseñor Mir, H. E., R. H. Santa Rosa, E. Martínez Cruz, L. A. Mariscal Amaro, S. G. Leyva Mir, y J. Huerta Espino. 2012. Control químico de las enfermedades: una alternativa para la producción de trigo de temporal en Tlaxcala. *Rev. Mex. Ciencias Agríc.* 3: 595-600.
- Watson, A. M., M. C. Hare, P. S. Kettlewell, J. M. Brosnanand, and R. C. Agu. 2010. Relationships between disease control, green leaf duration, grain quality and the production of alcohol from winter wheat. *J. Sci. Food Agric.* 90: 2602-2607.
- Wegulo, S. N., J. A. Breathnach, and P. S. Baenziger. 2009. Effect of growth stage on the relationship between tan spot and spot blotch severity and yield in winter wheat. *Crop Prot.* 28: 696-702.
- Wiik, L. 2009. Yield and disease control in winter wheat in southern Sweden during 1977-2005. *Crop Prot.* 28: 82-89.