

La incidencia de roya amarilla y la calidad industrial del grano y la masa en trigo harinero

Blanca Lidia Buendía-Ayala¹
Eliel Martínez-Cruz^{2§}
Héctor Eduardo Villaseñor²
René Hortelano Santa Rosa²
Eduardo Espitia-Rangel²
María Ofelia Buendía-González¹

¹Departamento de Ingeniería Agroindustrial-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México- Texcoco km 38.5, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (blancali.26@hotmail.com; ofeliabg@hotmail.com). ²Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes- Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56250. (hevimir3@yahoo.com.mx; hortelano.rene@inifap.gob.mx; espitia.eduardo@inifap.gob.mx).

§Autor para correspondencia: martinez.eliel@inifap.gob.mx.

Resumen

La ocurrencia de nuevas razas de enfermedades foliares con mayor virulencia en trigo afectan el rendimiento del grano y su calidad física. El objetivo de ésta investigación fue evaluar el comportamiento de la calidad física del grano y de la masa al controlar la roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) en genotipos tolerantes y susceptibles de trigo harinero de temporal. Los genotipos se sembraron en un diseño experimental de bloques al azar con dos repeticiones en un arreglo de parcelas divididas en la parcela grande estuvieron los tratamientos con y sin fungicida y en las chicas las variedades. La incidencia de roya amarilla fue natural y el fungicida utilizado fue Folicur[®]. Se estimó el porcentaje de incidencia en el follaje de roya amarilla y se evaluó la calidad industrial del grano y masa. Se realizó un análisis de varianza y correlaciones de Pearson y las medias se compararon con la prueba de Tukey. La presencia de la roya amarilla disminuyó la calidad física del grano y el rendimiento harinero, pero no el contenido de proteína en harina. Las líneas experimentales y la variedad Altiplano F2007, con mayor tolerancia a la roya, se asociaron con porcentajes de granos chupados menores a 20% lo que se asoció a valores altos de peso de mil granos, peso hectolítrico y rendimiento harinero. Mientras que Nana F2007 con la mayor incidencia de la enfermedad presentó 70% de granos chupados y el menor peso de mil granos y peso hectolítrico. El contenido de proteína en harina y las variables evaluadas en la masa no mostraron diferencias en la mayoría de los genotipos con y sin la incidencia de la enfermedad. Por lo que el uso de genotipos con tolerancia genética a la roya amarilla o la aplicación de fungicida disminuye las pérdidas en la calidad física del grano y rendimiento harinero.

Palabras clave: calidad de la masa, calidad física del grano, roya amarilla, trigo harinero.

Recibido: enero de 2019

Aceptado: febrero de 2019

Introducción

En las zonas productoras de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) en México se presentan enfermedades foliares tales como: la roya amarilla causada por *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*; la roya de la hoja causada por *Puccinia triticina* así como *Septoria* sp., *Cochliobolus Sativum* y *Pyrenophora triticina-repentis* (Huerta-Espino *et al.*, 2014). La incidencia de estas enfermedades provoca pérdidas en el rendimiento de grano de 7.3 a 28.6% (Hortelano-Santa Rosa *et al.*, 2016) o hasta de 60% por presencia de roya amarilla (Huerta-Espino y Singh, 2000), de 5.5 a 25.9% por roya de la hoja (Leyva-Mir *et al.*, 2003). Asimismo, la incidencia de enfermedades foliares afectan la calidad física del grano, las características reológicas de la masa y la calidad panadera (Morgounov *et al.*, 2015; Castro y Simón, 2016; Castro y Simón, 2017; Fleitas *et al.*, 2018).

Una de las variables de mayor importancia para la industria molinera que engloba la calidad física del grano es el peso hectolítrico el cual se relaciona con la capacidad de extracción de harina, dichas características del grano son influenciadas por el genotipo, el medio ambiente y el manejo agronómico (Nuttall *et al.*, 2017). De tal modo que la incidencia de la roya amarilla disminuye el llenado del grano y por lo tanto incrementa la aparición de granos chupados, los cuales se asocian a pérdidas en el peso de mil granos (Serrago *et al.*, 2011; Jevtić *et al.*, 2018) y bajo peso hectolítrico que ocasionan durante la molienda disminución en la extracción de harina o rendimiento harinero (Dimmock y Gooding, 2002). Por otro lado, Blandino y Reyneri (2009) indicaron que mediante el control químico de las enfermedades foliares no se afectó el contenido de proteína en la harina. Pero Watson *et al.* (2010) reportaron que el control químico de *Septoria tritici* disminuyó la concentración de proteína en grano mientras que Castro *et al.* (2018) encontraron un resultado inverso para el contenido de proteína.

Por otro lado, Hortelano-Santa Rosa *et al.* (2016) concluyeron que el control de las enfermedades foliares disminuyó el contenido de proteína debido al mayor rendimiento de grano. Por lo que es importante conocer el comportamiento de las variables de calidad física del grano y de la masa en función de los genotipos y de la presencia de nuevas razas de roya amarilla.

Tlaxcala y Estado de México producen más de 60% de la producción del trigo de temporal en México dicha producción es una opción para la industria molinera nacional debido a su cercanía a los principales centros de molienda y consumo, como son la ciudad de México y el estado de México, quienes demandan más 60% de grano molido a nivel nacional (CANIMOLT, 2015) pero debe cumplir con la calidad que demanda la industria molinera nacional en la cual se incluye la calidad física del grano, así como de la harina y masa.

Es importante indicar que en ciclo agrícola primavera-verano de 2014, se presentó en los Valles Altos del Centro de México una nueva raza de roya amarilla que venció la tolerancia genética de las principales variedades comerciales sembradas como Nana F2007 (Ramírez *et al.*, 2014; García-León *et al.*, 2015). Por lo que, ante la incidencia de enfermedades de mayor virulencia se debe determinar en cada ciclo de producción su efecto sobre la calidad industrial y productividad de los genotipos sembrados. Así, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el comportamiento de variables de la calidad física del grano y de la masa en función de la presencia y ausencia de la roya amarilla en genotipos tolerantes y susceptibles de trigo harinero de temporal.

Materiales y métodos

Material genético y evaluación en campo

Los genotipos utilizados fueron cuatro variedades recomendadas para su producción bajo condiciones de temporal: Tlaxcala F2000, Nana F2007, Altiplano F2007 y Don Carlos M2015, así como dos líneas experimentales generadas por el Programa de Mejoramiento de Trigo de Temporal del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del INIFAP: Pamdoly (línea 1) y Pamdoly-PABG (C7) (línea 2). Los genotipos se sembraron en Juchitepec, Estado de México y Terrenate, Tlaxcala. Juchitepec se localiza entre los paralelos 19° 01' y 19° 11' de latitud norte, los meridianos 98° 48' y 98° 59' de longitud oeste y altitud entre 2 300 y 3 100 msnm. Su temperatura y precipitación media anual varía de 10-16 °C y 800-1 100 mm, respectivamente (INEGI, 2009).

Terrenate se ubica entre los paralelos 19° 25' y 19° 33' de latitud norte; los meridianos 97° 51' y 98° 02' de longitud oeste con una altitud entre 2 500 y 3 300, rango de temperatura anual de 10-14 °C y de precipitación de 600-900 mm (INEGI, 2009). Los genotipos se sembraron en un diseño experimental de bloques al azar con dos repeticiones en un arreglo de tratamientos de parcelas divididas, la parcela grande fueron los tratamientos con fungicida y sin fungicida y las parcelas chicas fueron las variedades. La unidad experimental fue de cuatro surcos de 3 m de largo con una separación de 30 cm. El fungicida utilizado fue Folicur® cuyo ingrediente activo es tebuconazol se aplicó 500 mL ha⁻¹ en etapa de encañe y anthesis para controlar la incidencia de roya amarilla.

En campo se estimó el porcentaje de incidencia de roya amarilla en el área foliar con base en la escala de Cobb modificada por Peterson *et al.* (1948). Se cosecharon las muestras con una minicombinada cuando el porcentaje de humedad en grano fue menor al 14%.

Variables evaluadas en laboratorio

Se determinaron variables de calidad física del grano, bioquímica en la harina y de amasado en el Laboratorio de Farinología del CEVAMEX-INIFAP. La determinación del porcentaje de granos llenos y chupados se realizó en muestras de 500 granos adicionalmente se determinó su largo y ancho (mm) con el promedio de 10 granos. Se determinó el peso (g) de 1 000 granos. El peso hectolítrico (kg hL⁻¹) se evaluó de acuerdo con el método 55-10 de la American Association of Cereal Chemists (AACC, 2005) en 500 g de grano libre de impurezas. La dureza del grano (%) se estimó mediante el índice de perlado con base en el método 55-20 de la AACC (2005) con una perladora tipo Strong Scot-EUA. Para la obtención de la harina refinada la molienda se realizó en un molino Bhuler (Brabender OHG, Alemania) según el método 26-31 de la AACC (2005) y se calculó el rendimiento harinero (%).

En la harina se determinó el contenido de proteína (%) con el analizador de reflectancia de infrarrojo cercano (NIR Feed & Forage 5000) utilizando el método 39-00 de la AACC (2005). El equipo fue previamente calibrado mediante el método Kjeldahl (Método 46-11^a, AACC, 2005). El volumen de sedimentación (mL) se obtuvo mediante la prueba de Zeleny (Método 56-61A; AACC, 2005) en 3.2 g de harina en presencia de azul de bromofenol y alcohol isopropílico. El tiempo óptimo de amasado (min) se estimó mediante el mixógrafo (Nacional Manufacturing Co., Lincoln, NE) usando el método 54-40A de la AACC (2005) para muestras de 10 g de harina refinada.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza. Los valores porcentuales de las variables analizadas se transformaron a logaritmo para el análisis. Se obtuvieron las correlaciones de Pearson entre las variables evaluadas, usando el procedimiento GLM (SAS Institute, 2002) y las medias se compararon mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Se encontraron diferencias significativas entre localidades para la mayoría de las variables físicas del grano, excepto para roya amarilla y volumen de sedimentación (Cuadro 1). Lo anterior debido a las diferencias de los factores ambientales entre las localidades donde fueron cultivados los genotipos, tal como lo reportaron De la O-Olán *et al.* (2010). En lo que respecta a los genotipos, las diferencias fueron para todas las variables físicas del grano y de la masa, excepto para ancho de grano chupado. Dichos resultados son similares a los encontrados por Hortelano-Santa Rosa *et al.* (2016) quienes indicaron que el efecto del genotipo es determinante en las características físicas del grano e industriales de la masa.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para la incidencia de roya amarilla y las variables de calidad industrial de trigo harinero.

FV	GL	RA	GLL	LLL	ALL	GCH	LCH	ACH
Localidad (L)	1	168.7 ns	444.1**	17.8**	24**	447.7**	6.0 ns	32.4*
Genotipo	5	4023.3**	1921.8**	50.9**	4.4**	1919.4**	57.92**	4.1 ns
Fungicida (F)	1	9918.7**	10395.9**	36.8**	18.5**	10413.5**	8.4 ns	0.1 ns
L*F	1	33.3 ns	298*	18.2**	0.1 ns	301*	3.5 ns	34.4**
L*G	5	228.7**	91.1 ns	1.1 ns	2.4*	90.9 ns	5 ns	12.8*
G*F	5	428.7**	976.2**	5.5**	1.1 ns	974.7**	0.8 ns	5.2 ns
L*G*F	5	88.3 ns	42.7 ns	1.3 ns	0.4 ns	43.6 ns	4.6 ns	1.1 ns
CV		18.8	8.7	1.3	2.4	24.6	3.1	7.1
Error		55.5	41.1	0.8	0.6	40.8	4.5	4.1
FV	GL	PMG	PHL	DG	PH	RH	VS	TA
Localidad (L)	1	54.2**	27.2**	45.3**	3.9**	25.4*	2.6 ns	3.2**
Genotipo	5	50.1**	79.7**	33.9**	1.2**	32.1**	221**	2.7**
Fungicida (F)	1	553.5**	306.5**	149.1**	0.1 ns	209**	73*	0.9*
L*F	1	0.2 ns	1 ns	2x10 ⁻² ns	1.2**	0.1 ns	84.1*	0.6 ns
L*G	5	2.2 ns	11.7**	17.8**	0.4*	1.1 ns	70.8**	0.8*
G*F	5	79.7**	23.4**	18**	0.3 ns	31.8**	2.6 ns	0.3 ns
L*G*F	5	9.1*	3.4**	3.3 ns	0.2 ns	7.9 ns	10.5 ns	0.2 ns
CV		4.8	1.8	3.9	3.4	3.6	7.4	15
Error		3.2	1.7	3.2	0.1	5.3	15.1	0.2

*= $p \leq 0.05$; **= $p \leq 0.01$; ns > 0.05; RA= incidencia de roya amarilla (%); GLL= granos llenos (%); LLL= largo de granos llenos (mm); ALL= ancho de granos llenos (mm); GCH= granos chupados (%); LCH= largo de granos chupados (mm); ACH= ancho de granos chupados (mm); PMG= peso de mil granos (g); PHL= peso hectolítrico (kg hl⁻¹); DG= dureza de grano (%); PH= proteína en harina (%); RH= rendimiento harinero (%); VS= volumen de sedimentación (ml); TA= tiempo de amasado (min).

Para la aplicación (ausencia de la enfermedad) o no (presencia de la enfermedad) del fungicida, las variables en las que no se encontraron diferencias fueron para largo y ancho de granos chupados, así como proteína en harina. Por otro lado, para la interacción genotipo por fungicida se observaron diferencias para la incidencia de roya amarilla y para la mayoría de las variables físicas del grano y rendimiento harinero, pero no para contenido de proteína en harina, volumen de sedimentación y tiempo de amasado. Lo anterior, indica que en general la calidad física del grano depende del uso o no del fungicida y del genotipo, que concuerda con lo indicado con Wendale *et al.* (2106).

En el Cuadro 2 se presentan las correlaciones de Pearson entre la incidencia de la roya amarilla en el follaje con las variables físicas del grano y de la masa. La presencia de roya amarilla se correlacionó positivamente con el porcentaje de granos chupados e inversamente con el peso de mil granos y peso hectolítrico lo cual consecuentemente disminuyó el rendimiento harinero. Lo anterior es similar a lo reportado por Vergara-Díaz *et al.* (2015) y Sharma *et al.* (2016) quienes indicaron que la presencia de roya amarilla se correlacionó negativamente con el peso de mil granos y desfavoreció los componentes del rendimiento de grano. Por otro lado, el rendimiento harinero se correlacionó positivamente con el porcentaje, longitud y ancho de granos llenos, así como con el peso de mil granos, peso hectolítrico y dureza de grano.

Cuadro 2. Correlaciones de Pearson entre variables de calidad industrial e incidencia de roya amarilla en trigo harinero.

	GLL	LLL	ALL	GCH	LCH	ACH	PMG	PHL	DG	PH	RH	VS	TA
RA	-0.8**	-0.07	-0.2	0.8**	0.08	-0.08	-0.59**	-0.76**	-0.33*	0.18	-0.48**	0.01	0.13
GLL		0.2	0.33*	-1**	-0.11	-0.19	0.77**	0.92**	0.61**	-0.15	0.71**	0.03	-0.2
LLL			0.54**	-0.2	0.73**	-0.15	0.57**	0.14	0.07	-0.38	0.44**	-0.62**	-0.58**
ALL				-0.33*	0.25	0.09	0.64**	0.27	0.53**	0.08	0.49**	-0.43**	-0.48**
GCH					0.11	0.19	-0.77**	-0.92**	-0.61**	0.15	-0.71**	-0.03	0.2
LCH						0.21	0.24	-0.17	-0.21	-0.42**	0.23	-0.61**	-0.48**
ACH							-0.09	-0.23	-0.05	-0.01	-0.11	-0.11	-0.09
PMG								0.72**	0.61**	-0.26	0.73**	-0.39*	-0.41*
PHL									0.52**	-0.15	0.57**	0.1	-0.03
DG										0.17	0.6**	0.08	-0.17
PH											-0.24	0.41**	0.14
RH												-0.34*	-0.45**
VS													0.47**

RA= incidencia de roya amarilla (%); GLL= granos llenos (%); LLL= largo de granos llenos (mm); ALL= ancho de granos llenos (mm); GCH= granos chupados (%); LCH= largo de granos chupados (mm); ACH= ancho de granos chupados (mm); PMG= peso de mil granos (g); PHL= peso hectolítrico (kg hl⁻¹); DG= dureza de grano (%); PH= proteína en harina (%); RH= rendimiento harinero; CEN= cenizas (%); TC= tiempo de caída (s); VS= volumen de sedimentación (mL); TA= tiempo de amasado (min).

Lo anterior coincide con Dziki y Laskowski (2004) quienes reportaron que granos de mayor densidad se asociaron a mayor rendimiento harinero y granos pequeños disminuyeron la extracción de harina. Así mismo concuerda con Dimmock y Gooding (2002) que relacionaron el control de las enfermedades foliares con una reducción en la aparición de granos chupados que son asociados a pesos hectolítricos bajos y consecuentemente bajas extracciones de harina.

En el Cuadro 3 se presenta la comparación de medias con y sin la aplicación del fungicida. Donde se observa que la presencia de la roya amarilla desfavoreció el porcentaje, largo y ancho de granos llenos, así como el peso de mil granos y peso hectolítrico lo que redujo la extracción de harina. Lo anterior se debe a que la incidencia de la roya amarilla disminuye el área foliar fotosintética y por lo tanto existe menor disponibilidad de carbohidratos para el llenado de grano lo que provoca el incremento de granos chupados de acuerdo con lo indicado por Robert *et al.* (2005). Mientras que con y sin la presencia de la roya no se modificó la concentración de proteína en harina lo cual es similar a lo encontrado por Blandino y Ryneri (2009); Devadas *et al.* (2014).

Cuadro 3. Medias de incidencia de roya amarilla y de variables de calidad física e industrial de trigo harinero producido bajo temporal, con y sin la aplicación de fungicida.

Variabes	Con fungicida	Sin fungicida	DSH
Roya amarilla (%)	25.2 b [†]	54 a	4.5
Granos llenos (%)	88.8 a	59.4 b	3.8
Largo de granos llenos (mm)	7 a	6.8 b	0.05
Ancho de granos llenos (mm)	3.5 a	3.3 b	0.05
Granos chupados (%)	11.2 b	40.7 a	3.9
Peso de mil granos (g)	40.4 a	33.6 b	1
Peso hectolítrico (kg hL ⁻¹)	73.5 a	68.5 b	0.8
Dureza de grano (%)	47.8 a	43.5 b	1
Rendimiento harinero (%)	67 a	62.2 b	1.5
Proteína en harina (%)	10.6 a	10.6 a	0.2
Volumen de sedimentación (mL)	50.9 b	54 a	2.5
Tiempo de amasado (min)	2.8 b	3.2 a	0.3

DSH= diferencia significativa honesta. [†]Valores con diferente letra en hileras son estadísticamente diferentes.

Las líneas experimentales 1 y 2 presentaron menor incidencia de roya amarilla ya sea con y sin la aplicación de fungicida observándose lecturas menores a 20%. Mientras que para el resto de los genotipos inclusive con la presencia del fungicida sus lecturas de roya fueron mayores a 25% (Figura 1a). Al respecto, Ramírez *et al.* (2016) Indicaron que mediante el mejoramiento genético se han acumulado genes en las nuevas líneas experimentales que le confieren mayor tolerancia a la roya amarilla mientras que en las variedades comerciales su resistencia genética ha sido vencida como lo es en el caso de Nana F2007 que presentó lecturas de roya amarilla de 90% en el follaje sin la aplicación de fungicida.

Debido a la presencia de la enfermedad de manera general en todos los genotipos se disminuyó el porcentaje de granos llenos e incremento los granos chupados (Figura 1b y 1c) asimismo, se redujo el largo y ancho de los mismos (Figura 1d, y 1e). Sin embargo, las líneas 1 y 2 así como la variedad Altiplano F2007 presentaron porcentajes menores a 20%, con y sin la presencia de la enfermedad, como resultado de su mayor tolerancia a la roya que el resto de los genotipos. Comportamiento contrario presentaron las variedades Don Carlos M2015, Tlaxcala F2000 y Nana F2007 que sin la aplicación de fungicida se asociaron a porcentajes de granos chupados mayores a 40%. Pero con el uso del control químico de la enfermedad todos los genotipos no superaron 20% de granos chupados (Figura 1b).

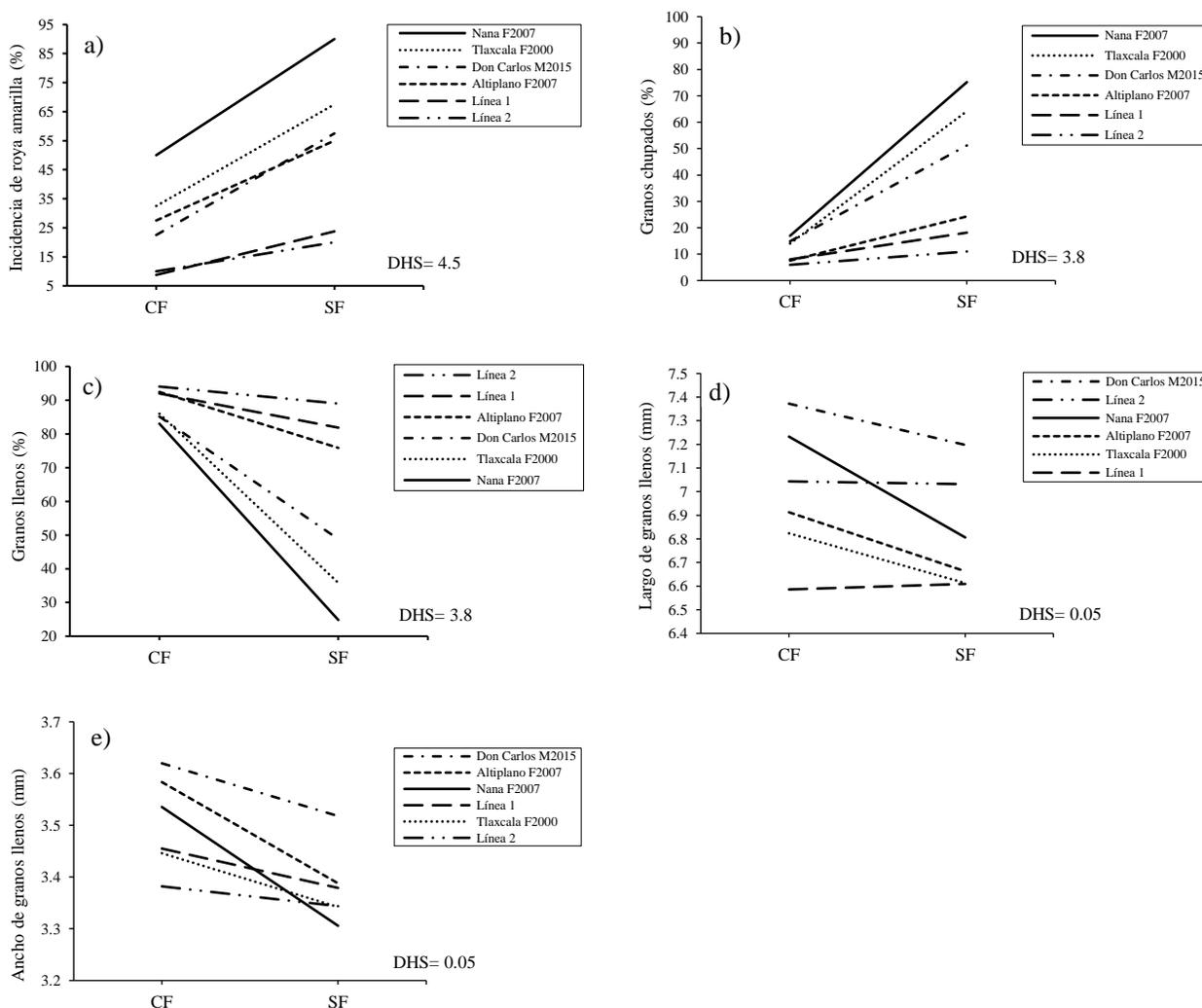


Figura 1. Comportamiento a) incidencia de roya amarilla; b) porcentaje de granos chupados; c) porcentaje de granos llenos; d) largo; y e) ancho, de granos llenos en función de la aplicación de fungicida en trigo harinero de temporal. CF y SF= con y sin aplicación de fungicida, respectivamente. Líneas 1 y 2= Pamdoly-PABG (C7) y Pamdoly, respectivamente. DSH= diferencia significativa honesta.

Lo anterior indica que el decremento en la calidad física del grano depende en parte de la tolerancia genética del genotipo a la roya amarilla y de la aplicación del fungicida, lo que concuerda con lo reportado por O'Brien *et al.* (1990); Waqar *et al.* (2018) quienes indicaron que en genotipos susceptibles a roya amarilla se incrementó la presencia de granos chupados.

La variedad Nana F2007 presentó las lecturas más altas de incidencia de roya amarilla y el porcentaje mayor de granos chupados, sin la aplicación del fungicida, asociándose a los valores más bajos de peso de mil granos y peso hectolítrico, lo que concuerda con Aktaş *et al.* (2016) quienes encontraron en genotipos susceptibles a roya amarilla una disminución alta en estas variables. Debido a lo anterior, en la presente investigación, no fue posible evaluar el rendimiento harinero sin la aplicación del fungicida de la variedad Nana F2007.

Por otro lado, las líneas experimentales 1 y 2 mostraron pérdidas menores en el peso de mil granos, peso hectolítrico y rendimiento harinero debido a la presencia de la roya (Figura 2a, b y c). Continuaron en dicho comportamiento las variedades Altiplano F2007 y Don Carlos M2015 que disminuyeron el peso de mil granos, peso hectolítrico y rendimiento harinero de manera similar. Mientras que la variedad Tlaxcala F2000 que presentó valores de los más bajos de peso de mil granos y peso hectolítrico se reflejó en el rendimiento harinero más bajo de todos los genotipos (Figura 2a, b y c). Los resultados de esta investigación coinciden con lo encontrado por Warechowska *et al.* (2013) quienes reportaron que el peso de mil granos incrementó linealmente con el peso hectolítrico al igual que los porcentajes de rendimiento harinero.

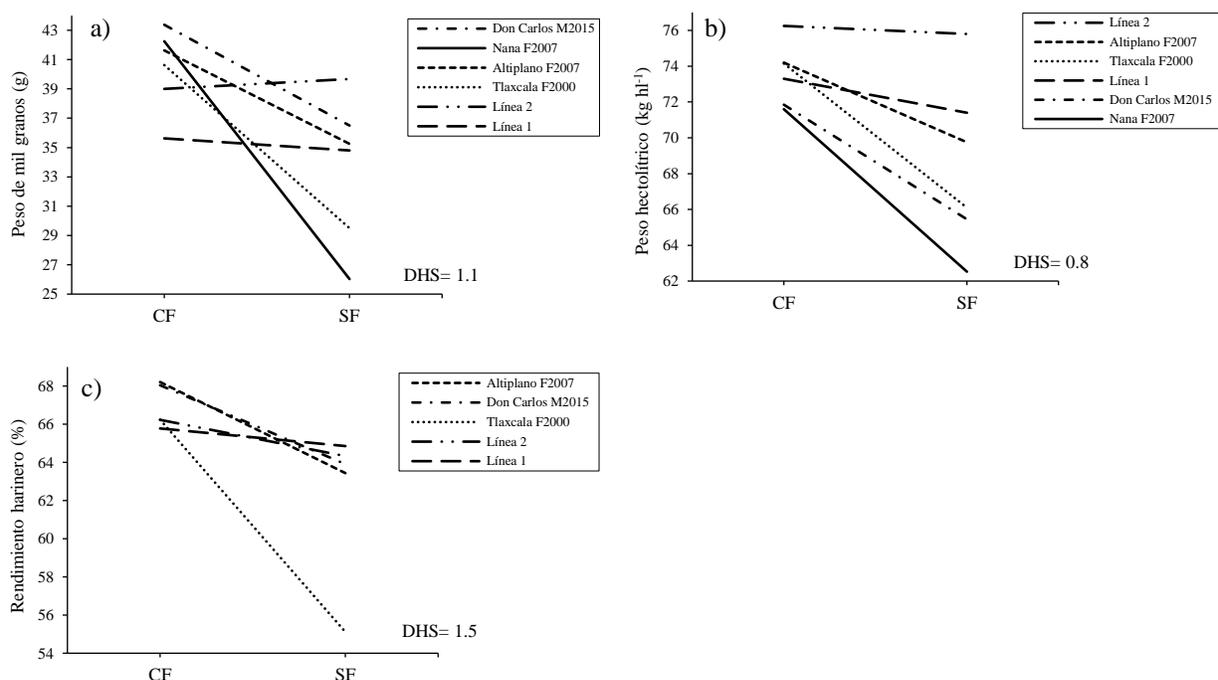


Figura 2. Comportamiento a) peso de mil granos; b) peso hectolítrico; y c) rendimiento harinero, en función de la aplicación de fungicida en trigo harinero de temporal. CF y SF= con y sin aplicación de fungicida, respectivamente. Líneas 1 y 2= Pamdoly-PABG (C7) y Pamdoly, respectivamente. DSH= diferencia significativa honesta.

Así mismo concuerda con Dziki y Laskowski (2005) quienes encontraron que granos muy chupados reducen el peso hectolítrico y la cantidad de harina durante la molienda. Es significativo indicar que las variedades Altiplano F2007 y Don Carlos M2015 presentaron los valores más altos de rendimiento harinero, con la aplicación de fungicida, respecto a las líneas experimentales 1 y 2 lo cual se debe en parte a su mayor largo y ancho de granos llenos a pesar de tener mayor porcentaje de granos chupados. Lo anterior concuerda con Dziki y Laskowski (2004) y Cabral *et al.* (2018) quienes indicaron que el tamaño de grano y su forma esférica se relaciona con mayor extracción de harina. Es importante señalar que mediante el uso del fungicida los genotipos Altiplano F2007, Don Carlos M2015 y Tlaxcala F2000 se favorecieron en el peso de mil granos, peso hectolítrico y rendimiento harinero. Para el caso de Don Carlos M2015 y Tlaxcala F2000 la aplicación del fungicida permitió obtener valores mayores a 71 kg ha^{-1} y rendimientos harineros superiores a 65% (Figura 2a, b y c) lo cual es deseable para la industria molinera.

Los genotipos Nana F2007, Altiplano F2007 y Tlaxcala F2000 modificaron su textura de grano de semi-suave a semiduro con presencia de la enfermedad. Este comportamiento se atribuye a la presencia de granos chupados lo cual provocó porcentajes menores de perlado y se manifestó como granos con mayor dureza. Mientras que las líneas 1 y 2 así como la variedad Don Carlos M2015 no presentaron cambios en su dureza de grano, clasificado como semi-duro. (Figura 3a). Para el caso de los porcentajes de proteína en harina, volumen de sedimentación y tiempo de amasado las líneas experimentales y el resto de las variedades no presentaron cambios debido a la presencia de la roya amarilla. Solamente la variedad Tlaxcala F2000 presentó un aumento en el contenido de proteína en harina lo anterior, concuerda con lo indicado por Fleitas *et al.* (2018) quienes indicaron que el incremento o disminución en la concentración de la proteína puede deberse a su nivel de tolerancia a la roya amarilla.

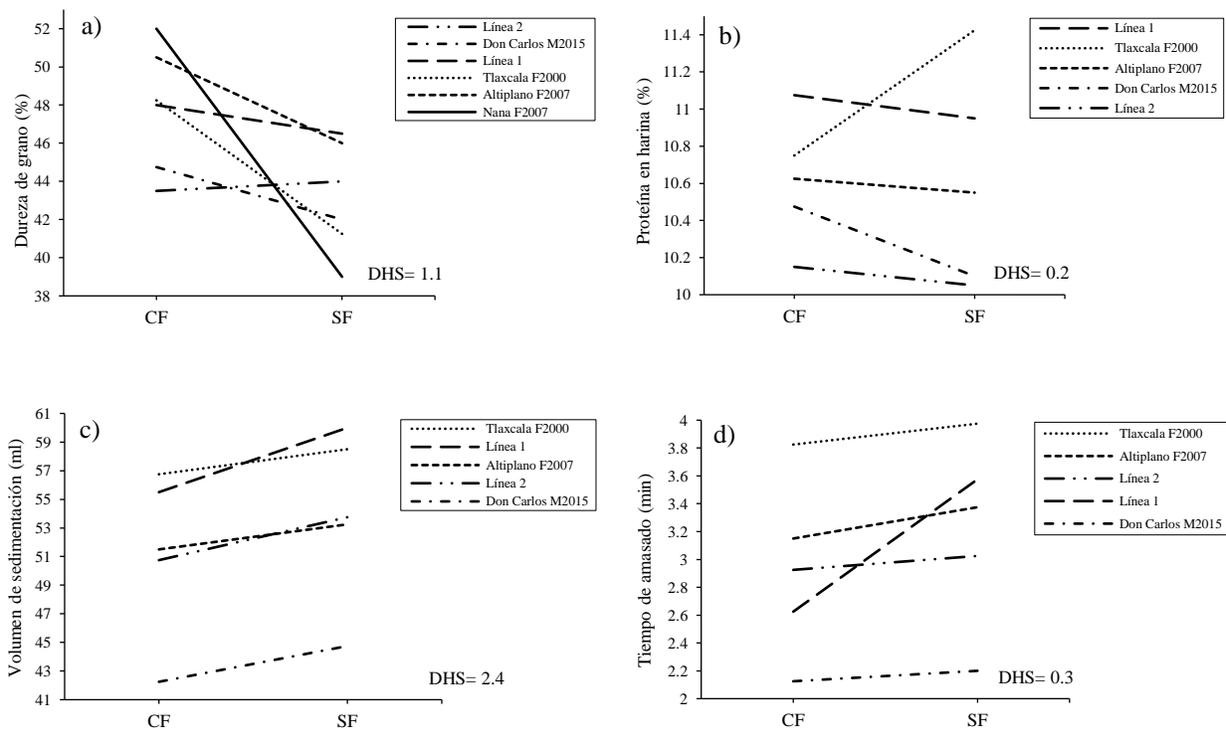


Figura 3. Comportamiento a) dureza de grano; b) proteína en harina; c) volumen de sedimentación; y d) tiempo de amasado, en función de la aplicación de fungicida en trigo harinero de temporal. CF y SF = con y sin aplicación de fungicida, respectivamente. Líneas 1 y 2= Pamdoly-PABG (C7) y Pamdoly, respectivamente. DSH= diferencia significativa honesta.

Con base en su volumen de sedimentación y tiempo de amasado todos los genotipos se clasificaron como de masa fuerte, con y sin la presencia de la enfermedad, con excepción de la variedad Don Carlos M2015 que mostró los valores menores de volumen de sedimentación y tiempos más cortos de amasado los cuales son característicos de masas medias fuertes apropiadas para la industria de panificación semi-mecanizada o artesanal en México. Las características de la masa de las variedades y líneas analizadas concuerdan con Villaseñor *et al.* (2017) dado que estos genotipos han sido seleccionados para la elaboración de pan para la industria mecanizada.

Conclusiones

La siembra en zonas de temporal de las variedades Altiplano F2007, Don Carlos M2015 y Tlaxcala F2007 disminuye las pérdidas en la calidad física del grano y rendimiento harinero debido a su tolerancia a la roya amarilla. Sin embargo, la aplicación del fungicida para el control de la enfermedad beneficia su calidad lo que ayuda a cumplir con la calidad demandada por la industria molinera. Mientras que para mantener dichas características aceptables en la variedad Nana F2007 es imprescindible la aplicación de fungicida para el control de la roya. Por otro lado, las pérdidas menores en la calidad industrial del grano y rendimiento harinero en las líneas experimentales, aun con la incidencia de roya amarilla, indican que el mejoramiento genético es una estrategia trascendental para garantizar su calidad.

De tal manera, que las pérdidas en las variables de calidad física del grano, rendimiento harinero y calidad de la masa dependen del nivel de tolerancia genética de cada genotipo, así como del control químico de la roya amarilla.

Literatura citada

- AACC. 2005. American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of the AACC. 10th (Ed.). American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA.
- Aktaş, H. and Zencirci, N. 2016. Stripe rust partial resistance increases spring bread wheat yield in South-eastern Anatolia, Turkey. *J. Phytopathol.* 164(12):1085-1096.
- Blandino, M. and Reyneri, A. 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(4):275-282.
- Cabral, A. L.; Jordan, M. C.; Larson, G.; Somers, D. J.; Humphreys, D. G. and McCartney, C. A. 2018. Relationship between QTL for grain shape, grain weight, test weight, milling yield, and plant height in the spring wheat cross RL4452/ 'AC Domain'. *PloS one.* 13(1):1-32.
- CANIMOLT. 2015. Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo. Reporte estadístico 2015 con información a 2016. CANIMOLT. México. 136 p.
- Castro, A. C. and Simón, M. R. 2016. Effect of tolerance to *Septoria tritici* blotch on grain yield, yield components and grain quality in Argentinean wheat cultivars. *Crop Prot.* 90(12):66-76.
- Castro, A. C. and Simón, M. R. 2017. The impact of *Septoria tritici* blotch in bread making quality among argentinean wheat cultivars. *J. Cereal Sci.* 77(9):259-265.
- Castro, A. C.; Fleitas, M. C.; Schierenbeck, M.; Gerard, G. S. and Simón, M. R. 2018. Evaluation of different fungicides and nitrogen rates on grain yield and bread-making quality in wheat affected by *Septoria tritici* blotch and yellow spot. *J. Cereal Sci.* 83(9):49-57.
- De la O, O. M.; Espitia, R. E.; Villaseñor, H. E.; Molina, G. J. D.; López, S. H.; Santacruz, V. A. y Peña, B. R. J. 2010. Proteínas del gluten y reología de trigos harineros mexicanos influenciados por factores ambientales y genotípicos. *Pesq. Agropec. Bras.* 45(9):989-996.
- Devadas, R.; Simpfendorfer, S.; Backhouse, D. and Lamb, D. W. 2014. Effect of stripe rust on the yield response of wheat to nitrogen. *The Crop J.* 2(4):201-206.
- Dimmock, J. P. R. E. and Gooding, M. J. 2002. The influence of foliar diseases, and their control by fungicides, on the protein concentration in wheat grain: a review. *J. Agric. Sci.* 138(4):349-366.

- Dziki, D. and Laskowski, J. 2004. Influence of kernel size on grinding process of wheat at respective grinding stages. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 13(1):29-34.
- Dziki, D. and Laskowski, J. 2005. Wheat kernel physical properties and milling process. *Acta Agrophys.* 6(1):59-71.
- Fleitas, M. C.; Schierenbeck, M.; Gerard, G. S.; Dietz, J. I.; Golik, S. I.; Campos, P. E. and Simón, M. R. 2018. How leaf rust disease and its control with fungicides affect dough properties, gluten quality and loaf volume under different N rates in wheat. *J. Cereal Sci.* 80(3):119-127.
- García, E.; Huerta, J.; Villaseñor, H. E.; Rodríguez, M. F. y Bárcenas, D. 2015. Nuevas razas de roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) en variedades comerciales de trigo harinero en los Valles Altos de México. *In: Memoria de resúmenes del XVII Congreso Internacional y XLII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología.* Del 19 al 23 de julio 2015. Ciudad de México. 172 p.
- Huerta, E. J. y Singh R. 2000. Las royas del trigo. *In: el trigo de temporal en México.* Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. (Eds.). SAGAR, INIFAP, CIRCE, CEVAMEX. Chapingo, Estado de México. Libro técnico núm. 1. 231-251 p.
- Huerta, J.; Rodríguez, M. F.; Villaseñor, H. E.; Singh, R. P.; Martínez, E.; Hortelano, R. y Espitia, E. 2014. Descripción de las royas del trigo. SAGARPA- INIFAP. Folleto técnico núm. 64.
- INEGI. 2009. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx>.
- Jevtić, R.; Župunski, V.; Lalošević, M.; Mladenov, N. and Orbović, B. 2018. The combined effects of multiple diseases and climatic conditions on thousand kernel weight losses in winter wheat. *Eur. J. Plant Pathol.* 152(10):469-477.
- Leyva, S. G.; Espitia, E.; Villaseñor, H. E. y Huerta, J. 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(1): 40-45.
- Morgounov, A.; Akin, B.; Demir, L.; Keser, M.; Kokhmetova, A.; Martynov, S.; Orhan, S.; Özdemir, F.; Özseven, I.; Sapakhova, Z. and Yessimbekova, M. 2015. Yield gain due to fungicide application in varieties of winter wheat (*Triticum aestivum*) resistant and susceptible to leaf rust. *Crop Pasture Sci.* 66(7):649-659.
- Nuttall, J. G.; O'Leary, G. J.; Panozzo, J. F.; Walker, C. K.; Barlow, K. M. and Fitzgerald, G. J. 2017. Models of grain quality in wheat-A review. *Field Crop. Res.* 202(2):136-145.
- O'Brien, L.; Brown, J. S.; Panozzo, J. F. and Archer, M. J. 1990. The effect of stripe rust on the quality of Australian wheat varieties. *Aust. J. Agric. Res.* 41(5): 827-833.
- Peterson, R. F.; Campbell, A. B. and Hannah, A. E. 1948. A diagrammatic scale for estimating rust intensity of leaves and stem of cereals. *Can. J. Res.* 26(5):496-500.
- Ramírez, V. J.; Hortelano S. R.; Villaseñor, M. H. E.; López H. E.; Martínez C. E. y Espitia, R. E. 2016. Evaluación de variedades y líneas uniformes de trigo harinero de temporal en Valles Altos. *Rev. Mex. de Cienc. Agríc.* 7(3):655-667.
- Robert, C.; Bancal, M. O.; Ney, B. and Lannou, C. 2005. Wheat leaf photosynthesis loss due to leaf rust, with respect to lesion development and leaf nitrogen status. *New Phytol.* 165(1):227-241.
- Ruske, R. E. Gooding, M. J. and Dobraszczyk, B. J. 2004. Effects of triazole and strobilurin fungicide programmers, with and without late-season nitrogen fertilizer, on the baking quality of Malacca winter wheat. *J. Cereal Sci.* 40(1):1-8.
- SAS Institute. 2002. SAS/STAT User's Guide, Software versión 9.0 Cary, N. C. USA. 4424 p.

- Serrago, R. A.; Carretero, R.; Bancal, M. O. and Miralles, D. J. 2011. Grain weight response to foliar diseases control in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crop. Res.* 120(3): 352-359.
- Sharma, R. C.; Nazari, K.; Amanov, A.; Ziyaev, Z. and Jalilov, A. U. 2016. Reduction of winter wheat yield losses caused by stripe rust through fungicide management. *J. Phytopathol.* 164(9):671-677.
- Vergara, D. O.; Kefauver, S. C.; Elazab, A.; Nieto, M. T. and Araus, J. L. 2015. Grain yield losses in yellow-rusted durum wheat estimated using digital and conventional parameters under field conditions. *The Crop J.* 3(3):200-210.
- Villaseñor, M. H. E.; Martínez C. E.; Santa Rosa, H. R.; González G. M.; Zamudio C. A.; Huerta E. J. y Espitia, R. E. 2017. Variabilidad genética y criterios de selección para calidad industrial de trigos introducidos en condiciones de temporal. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 8(3):661-672.
- Waqar, A.; Khattak, S. H.; Begum, S.; Rehman T.; Rabia, A.; Ajmal, W.; Zia, S. S.; Siddiqi, I. and Ali, G. M. 2018. Stripe rust: a review of the disease, Yr genes and its molecular markers. *Sarhad J. Agric.* 34(1):188-201
- Warechowska, M.; Warechowski, J. and Markowska, A. 2013. Interrelations between selected physical and technological properties of wheat grain. *Technical Sci.* 16(4):281-290.
- Watson, A. M.; Hare, M. C.; Kettlewell, P. S.; Brosnanb, J. M. and Agub, R. C. 2010. Relationships between disease control, green leaf duration, grain quality and the production of alcohol from winter wheat. *J. Sci. Food Agric.* 90(15):2602-2607.
- Wendale, L.; Ayalew, H.; Woldeab, G. and Mulugeta, G. 2016. Yellow rust (*Puccinia striiformis*) epidemics and yield loss assessment on wheat and triticale crops in Amhara region, Ethiopia. *African J. Crop Sci.* 4(2):280-285.