

## Evaluación de variedades y líneas uniformes de trigo harinero de temporal en Valles Altos\*

### Evaluation of varieties and even lines of bread wheat temporal in Valles Altos

Jessica Ramírez Vázquez<sup>1</sup>, René Hortelano Santa Rosa<sup>2§</sup>, Héctor Eduardo Villaseñor Mir<sup>2</sup>, Edgar López Herrera<sup>1</sup>, Eliel Martínez Cruz<sup>2</sup> y Eduardo Espitia Rangel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo-Departamento de Fitotecnia. Carretera México-Texcoco km 38.5. Chapingo, México. C. P. 56230. (jessiagro2014@gmail.com; edgarlh17@hotmail.com). <sup>2</sup>Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco, Coatlínchán, km 13.5 Texcoco, Estado de México, C. P. 56250. (hevimir3@yahoo.com.mx; elieloax@yahoo.com.mx; espitia.eduardo@inifap.gob.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: hortelano.rene@inifap.gob.mx.

#### Resumen

Con el objetivo de estudiar el comportamiento agronómico y fitopatológico de líneas uniformes y variedades de trigos harineros para el área de temporal de los Valles Altos de México, se evaluaron ocho variedades liberadas por INIFAP en diferente época y dos líneas candidatas a nuevas variedades. Se probaron durante los años 2012 y 2013 en el ciclo de Primavera-Verano, en ocho localidades de Valles Altos bajo el diseño Bloques al Azar con dos repeticiones. En general, las líneas avanzadas Don Carlos "S" y Mona "S" mostraron los más altos rendimientos, menor incidencia de roya amarilla, roya de la hoja, enfermedades foliares y presentaron menor ciclo biológico en los tres tipos de ambientes, expresando un rango de adaptabilidad amplio. Las variedades que mostraron buen comportamiento en estos ambientes, fueron Nana F2007 y Altiplano F2007, mientras que las variedades más antiguas como Romoga M87 y Gálvez M87 fueron las de menor desempeño, indicando que los avances del mejoramiento genético para trigo de temporal para rendimiento de grano ha sido de forma gradual y ascendente.

**Palabras claves:** *Triticum aestivum* L., avances del mejoramiento, trigo de temporal.

#### Abstract

In order to study the agronomic performance and phytopathological uniform lines and varieties of bread wheats for temporal area of the high valleys of Mexico, eight varieties released by INIFAP in different time lines and two new varieties candidates they were evaluated. They were tested during 2012 and 2013 in the Spring-Summer cycle in eight locations under the Valles Altos blocks randomized design with two replications. In general, advanced lines Don Carlos "S" and Mona "S" showed the highest yields, lower incidence of yellow rust, leaf rust, leaf spot diseases and had lower biological cycle in the three types of environments, expressing a range broad adaptability. The varieties showed good behavior in these environments were Nana F2007 and Altiplano F2007, while the older varieties as Romoga M87 and Galvez M87 were the lowest performing, indicating that the progress of breeding for rainfed wheat for grain yield it has been gradual and ascending.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L., progress of improvement, rainfed wheat.

\* Recibido: enero de 2016  
Aceptado: abril de 2016

## Introducción

En los programas de mejoramiento genético de cualquier especie de interés agrícola, la selección de genotipos se realiza básicamente considerando rendimiento, resistencia a enfermedades y valor agronómico, entonces, es necesario evaluar la consistencia del comportamiento de los mismos estando sometidos en diversos ambientes durante varios años dentro de una región potencial de adaptación. *Triticum aestivum* L. es una especie que tiene un amplio rango de adaptación, crece y se desarrolla en ambientes muy diversos y puede sembrarse tanto en invierno como en primavera, lo que unido a su gran consumo ha permitido que su cultivo se extienda ampliamente a muchas partes del mundo ya que actualmente ocupa el primer lugar entre los cuatro cereales de mayor producción mundial: trigo, arroz, maíz y cebada. (Martín, 1990).

El trigo es uno de los cereales más importantes a nivel mundial por la superficie sembrada y cosechada, porque es base de alimentación en muchos países y por ser considerado por la FAO como uno de los cultivos básicos por aportar aminoácidos esenciales al ser humano (Moreno, 2012). Como lo menciona el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2013), la producción mundial de trigo durante el ciclo agrícola del año 2011/2012 fue de 695 millones de toneladas; la Unión Europea aportó un 20%, China 17%, India 13%, Rusia y Estados Unidos de América 8%, Australia y Canadá 4%, Pakistán y Kazajistán 3%, y el 20% restantes lo aportaron otros países. México se encuentra en el número 23 de producción a nivel mundial con 3.8 millones de toneladas por año, destacando por su rendimiento unitario de 5.7 t ha<sup>-1</sup> en riego y 2 t ha<sup>-1</sup> en temporal.

En la producción de trigo en México destacan los estados de: Sonora es el principal estado productor seguido por Baja California y Guanajuato los cuales aportan el 77% de la producción nacional (SIAP, 2014). El área dedicada al cultivo de trigo en el verano varía, y la principal región productora es los Valles Altos de México formada por los estados de Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala en donde es sembrado durante los meses de mayo y junio, y cosechado en Noviembre y Diciembre (Huerta y Singh, 2000).

En las siembras de temporal, en todas las etapas de crecimiento las plantas de trigo están expuestas a numerosos daños y estreses que interfieren con su normal funcionamiento y desarrollo; cualquier condición anormal resultante

## Introduction

In breeding programs of any species of agricultural interest, the selection of genotypes is basically considering yield, disease resistance and agronomic value, then it is necessary to assess the consistency of their behavior being subjected to different environments for several years within a potential for adaptation region. *Triticum aestivum* L. is a species that has a wide range of adaptation, grows and develops in very different environments and can be grown both in winter and spring, which together with its large consumption has allowed its cultivation spread widely to many parts of the world and currently ranks first among the four major global production cereals: wheat, rice, corn and barley (Martin, 1990).

Wheat is one of the most important worldwide for the area sown and harvested grain, because it is power base in many countries and being considered by FAO as one of the staple crops by providing essential amino acids humans (Moreno, 2012). As mentioned by the United States Department of Agriculture (USDA, 2013), world production of wheat during the crop cycle 2011- 2012 was 695 million tons; the European Union contributed 20%, China 17%, India 13%, Russia and the United States of America 8%, 4% Australia and Canada, Pakistan and Kazakhstan 3%, and the remaining 20% was contributed by other countries. Mexico is at number 23 worldwide production with 3.8 million tons per year, highlighting its unit yield of 5.7 t ha<sup>-1</sup> in irrigation and 2 t ha<sup>-1</sup> in time.

In wheat production in Mexico include the states of Sonora is the main producing state followed by Baja California and Guanajuato which provide 77% of national production (SIAP, 2014). The area planted to wheat in the summer varies, and the main producing region is the high valleys of Mexico formed by the states of Hidalgo, Mexico, Puebla and Tlaxcala where it is planted during the months of May and June and harvested in November and December (Huerta and Singh, 2000).

In sowing time, at all stages of growth wheat plants are exposed to numerous damages and stresses that interfere with normal functioning and development; any resulting abnormal condition is, in a broad sense, a disease (Wiese, 1977), fungal diseases being one of the most important causes that decrease cereal yields (Stubbs *et al.*, 1986).

constituye, en un sentido amplio, una enfermedad (Wiesse, 1977), siendo las enfermedades fungosas una de las causas más importantes que disminuyen el rendimiento de los cereales (Stubbs *et al.*, 1986).

Los trabajos de investigación han permitido liberar variedades por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), que han sido factor importante para el crecimiento del área sembrada y de la productividad en las áreas temporales del país, destacando dentro de sus atributos el ciclo corto, el porte de la planta, su mayor adaptabilidad y la tolerancia a la sequía. Sin embargo es necesario seguir con el mejoramiento genético año tras año, debido a que las variedades liberadas con el tiempo pierden resistencia ante nuevos patógenos (Villaseñor, 2000), por lo que la evaluación de variedades y líneas experimentales permitirá identificar que variedades actualmente son las más adecuadas para siembra y que líneas son candidatas a nuevas variedades.

Las enfermedades que actualmente afectan más al trigo son las royas: la roya de la hoja *Puccinia triticina*, la roya amarilla *Puccinia striiformis* sp. *tritici* y recientemente en algunos países de África y Asia la roya del tallo *Puccinia graminis* sp. *tritici*. Estos patógenos tienden a prosperar principalmente en ambientes medio lluviosos a lluviosos, ya que la humedad relativa es el factor más importante para su esporulación y desarrollo. Se ha estimado que las pérdidas en el rendimiento de grano pueden ser hasta de 80% en variedades susceptibles y el deterioro en la calidad se debe a que el grano atacado queda chupado, disminuyendo drásticamente el peso hectolítrico, característica que está fuertemente relacionada con la producción y calidad de la harina.

El control de estas enfermedades se puede realizar con productos químicos, sin embargo, a través de los años, dentro del programa nacional de mejoramiento de trigo de temporal y de riego del INIFAP se ha observado que el mejor método de control es el uso de variedades resistentes. El uso de tales variedades ha sido más empleado en el país; sin embargo, las variedades pierden su resistencia por la constante evolución del patógeno hacia nuevas razas fisiológicas virulentas o por la incidencia de razas que no habían estado presentes. Por lo anterior, se requiere la constante formación y liberación de nuevas variedades, para que sustituyan a las que van perdiendo la resistencia y que ayuden a contrarrestar la variabilidad genética del patógeno presente en las diferentes regiones de producción de este cereal. Además, con la evaluación constante de genotipos en invernadero se han

The research has allowed free varieties by the National Institute of Agricultural and Livestock Forestry Research (INIFAP), which have been important for the growth of the planted area and productivity in the rainfed areas of the country factor, highlighting within their attributes the short cycle, the bearing of the plant, its greater adaptability and drought tolerance. However it is necessary to continue the genetic improvement year after year, because the varieties released eventually lose resistance to new pathogens (Villaseñor, 2000), so the evaluation of varieties and experimental lines will identify which varieties are currently the more suitable for planting and lines are candidates for new varieties.

Diseases currently affecting more wheat rusts are: rust leaf *Puccinia triticina*, yellow rust *Puccinia striiformis* sp. *tritici* and recently in some countries in Africa and Asia stem rust *Puccinia graminis* sp. *tritici*. These pathogens tend to thrive mainly on rainy to rainy environments, as the relative humidity is the most important factor sporulation and development. It has been estimated that losses in grain yield can be up to 80% in susceptible varieties and quality deterioration due to the attack grain is sucked, drastically reducing the test weight, a feature that is strongly related to production and flour quality.

Control of these diseases can be performed with chemicals, however, through the years, within the national program to improve rainfed wheat and irrigation INIFAP has been observed that the best method of control is the use of varieties resistant. The use of such strains have been used in the country; however, varieties lose their resistance by the constant evolution of new virulent pathogen to physiological races or the incidence of races that were not present. Therefore, the constant formation and release of new varieties is required to replace those that are losing strength and help counteract the genetic variability of the pathogen present in different regions of production of this cereal. Moreover, with the constant evaluation of greenhouse genotypes they have been identified sources of genetic resistance that integrate themselves within groups of parents in the breeding program.

Based on this background it is that the present work was proposed in order to identify genotypes with higher yield potential and better phytopathological response in rainfed environments in the high valleys of Central Mexico and assess the progress of improvement in different environments temporary.

identificado fuentes de resistencia genética mismas que se integran dentro de los grupos de progenitores en el programa de mejoramiento genético.

Con base en estos antecedentes es que se planteó el presente trabajo con el fin de identificar los genotipos con mayor potencial de rendimiento y mejor respuesta fitopatológica en ambientes de temporal en los Valles Altos del Centro de México y valorar los avances del mejoramiento en los diferentes ambientes de temporal.

## Materiales y métodos

El estudio comprendió dos años de evaluación que correspondió al 2012 y 2013 en los ciclos de Primavera-Verano donde se evaluaron ocho variedades liberadas por INIFAP y dos líneas candidatas a variedades. Los genotipos se establecieron en localidades de Valles Altos, que comprenden los estados de México, Puebla, Hidalgo y Tlaxcala, con clima Templado Subhúmedo en su gran mayoría y en menor grado Templado Húmedo. Con variaciones de altitud con respecto al nivel medio del mar que oscilaron de los 2250 msnm hasta los 2811 msnm. En cuanto a la precipitación, ésta varió en las localidades de 500 mm en las partes más restrictivas hasta 840 mm en los mejores ambientes para este factor.

El material biológico en ambos ciclos de cultivo y evaluación estuvo constituido por las variedades comerciales de trigo harinero Temporalera M87, Gálvez M87, Romoga F96, Batán F96, Rebeca F2000, Tlaxcala F200, Nana F2007 y Altiplano F2007, liberadas en diferentes épocas por el programa de mejoramiento genético de trigo de temporal de INIFAP y las líneas uniformes Don Carlos "S" y Mona "S" candidatas a liberación como nuevas variedades. Tales variedades son las recomendadas para las siembras de temporal en estas zonas en los Valles Altos del Centro de México. El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar con dos repeticiones; el tamaño de la parcela fue de cuatro hileras con separación de 0.3 m y 3 m de largo, siendo la parcela útil el total de la parcela experimental de 4.5 m<sup>2</sup>, utilizando una densidad siembra de 110 kg ha<sup>-1</sup>.

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza general para detectar diferencias en las variables evaluadas en las distintas fuentes de variación, utilizando el paquete estadístico Statistical Analysis System 9.0 (SAS, 2002).

## Materials and methods

The study included two years of evaluation corresponded to the 2012 and 2013 cycles spring-summer where eight varieties released by INIFAP and two candidate lines were evaluated varieties. The genotypes were established in towns of Valles Altos, comprising the states of Mexico, Puebla, Hidalgo and Tlaxcala, with temperate climate subhumid mostly to a lesser extent temperate rain. With variations in altitude relative to mean sea level ranging from 2 250 m to 2 811 m. As for precipitation, it varied in the towns of 500 mm in the most restrictive parts up to 840 mm in the best environments for this factor.

The biological material in both crop cycles and evaluation consisted of commercial varieties of bread wheat Temporalera M87, Galvez M87, Romoga F96, Batan F96, Rebeca F2000, Tlaxcala F200, Nana F2007 and Altiplano F2007, released at different times by the program genetic improvement of rainfed wheat INIFAP and even lines Don Carlos "S" and Mona "S" candidates for release as new varieties. Such varieties are recommended for temporary crops in these areas in the Highlands of Central Mexico. The experimental design was randomized blocks with two replications; the size of the plot was four rows with spacing of 0.3 m and 3 m long, being the useful plot the total experimental plot of 4.5 m<sup>2</sup>, using a seeding density of 110 kg ha<sup>-1</sup>.

With the data obtained overall variance analysis was performed to detect differences in the variables evaluated in the different sources of variation, using the Statistical Analysis System 9.0 (SAS, 2002) statistical package. Also, the categorization of localities assessment based on their potential grain yield obtained (favorable, intermediate and critics) was performed and proceeded to analysis by type of environment with the objective of evaluating the behavior of individual genotypes through thereof. Averages varieties per year or time of liberation and progress made through genetic improvement over time were compared. Additionally incidence readings were recorded rusts and foliar diseases complex to weigh the degree of resistance or tolerance of varieties and lines over time.

As variables were evaluated; days to spiking or flowering (DF), recorded when 50% of spikes emerged completely from the flag leaf; days to physiological maturity (DM), counting the days from sowing until 50% of spikes had yellowfin coloration at the base of the pin or golden color;

Asimismo, se realizó la categorización de las localidades de evaluación con base en su potencial de rendimiento de grano obtenido (favorables, intermedios y críticos) y se procedió al análisis por tipo de ambiente con el objetivo de evaluar el comportamiento individual de los genotipos a través de los mismos. Se compararon los promedios de las variedades por año o época de liberación y los progresos obtenidos mediante el mejoramiento genético a través del tiempo. Adicionalmente se registraron las lecturas de incidencia de las royas y al complejo de enfermedades foliares para ponderar el grado de resistencia o tolerancia de las variedades y líneas a través del tiempo.

Se evaluaron variables como; días a espigamiento o floración (DF), registrándose cuando el 50% de las espigas emergieron completamente de la hoja bandera; días a madurez fisiológica (DM), contando los días desde la siembra hasta que 50% de las espigas presentaron coloración amarilla en la base de la espiga o de color dorado; altura de planta (ALT), midiendo en centímetros desde la base de ésta hasta el ápice de la espiguilla terminal; rendimiento de grano (REND), una vez alcanzada la madurez comercial (13 a 14% de humedad en el grano) se procedió a realizar la cosecha y cálculo del rendimiento unitario de grano.

Para registrar la incidencia de roya amarilla (Yr) y roya de la hoja (Lr) se utilizó la escala modificada de Cobb (Roelfs *et al.*, 1992), realizando la primera lectura en la etapa de hoja bandera y posteriormente tomando lecturas cada 10 a 15 días hasta madurez fisiológica. En el caso de la Incidencia de enfermedades foliares, se utilizó la escala de 0 a 9 de Saari-Prescott (Eyal *et al.*, 1987) y escala de dígitos dobles, donde el primer dígito indica la altura relativa que alcanza la enfermedad y el segundo señala la gravedad del daño como un porcentaje. En cada sitio de evaluación, una vez llegado a la madurez comercial del grano se procedió a realizar la cosecha de las parcelas utilizando una mini-trilladora Wintersteiger de grano pequeño, trillando y separando el grano de cada parcela para posteriormente ser llevadas las muestras a limpieza y pesado para análisis de gabinete.

El análisis de datos se realizó utilizando el programa de SAS, donde se practicó el análisis de varianza y comparación de media general (Prueba de Tukey, con  $\alpha = 0.05$ ). De acuerdo al análisis general de las variables evaluadas se procedió a clasificar con base en el rendimiento de forma equitativa en tres tipos de ambientes denominados: ambientes favorables (4.2 a 6.2 t ha<sup>-1</sup>), ambientes intermedios (3.4 a 4.0 t ha<sup>-1</sup>) y ambientes críticos (2.1 a 3.2 t ha<sup>-1</sup>), utilizando el criterio propuesto por Villaseñor y Espitia (2000).

plant height (ALT), measuring in centimeters from the base of it to the apex of the terminal spikelet; Grain yield (REND), once reached commercial maturity (13 to 14% moisture in the grain) proceeded to perform the calculation of the unit harvest and grain yield.

The modified Cobb scale (Roelfs *et al.*, 1992) was used to record the incidence of yellow rust (YR) and leaf rust (Lr), making the first reading at the stage of flag leaf and then taking readings every 10 15 days to physiological maturity scale from 0 to 9 Saari-Prescott was used (Eyal *et al.*, 1987) in the case of the incidence of foliar diseases, and scale double digits, where the first digit indicates the relative height reaching disease and the second indicates the severity of damage as a percentage. In each test site, once it reached commercial maturity of the grain we proceeded to make the harvest of the plots using a mini-thresher Wintersteiger small grain, threshing and separating the grain from each plot to be later taken samples cleanliness and heavy for analysis cabinet.

Data analysis was performed using the SAS program, where the variance analysis and comparison of overall mean (Tukey's test, with  $\alpha = 0.05$ ) was performed. According to the general analysis of the evaluated variables we proceeded to classified based on performance equally into three types called environments: favorable environments (4.2 to 6.2 t ha<sup>-1</sup>), environments intermediates (3.4 to 4 t ha<sup>-1</sup>) and critical environments (2.1 to 3.2 t ha<sup>-1</sup>) using the criteria method proposed by Villaseñor and Espitia (2000).

## Results and discussion

The results of analysis of variance in general are presented in Table 1, which shows that in the case of the "locations", highly significant differences were presented for the four variables evaluated, indicating that the productive potential of each locality is different because the variables showed different degree of expression, which coincides with the expressed Villaseñor and Espitia (2000), in the sense that in the areas of wheat (*Triticum aestivum* L.) temporary in Mexico, variability caused by differences between sites and years is large.

In the case of the source of variation "varieties" highly significant differences for all evaluated variables (Table 1) they were also presented, indicating that genotypes were

## Resultados y discusión

Los resultados del análisis de varianza en general se presentan en el Cuadro 1, donde se aprecia que para el caso de las “localidades”, se presentaron diferencias altamente significativas para las cuatro variables evaluadas, lo que indica que el potencial productivo de cada localidad es diferente debido a que las variables mostraron distintos grado de expresión, lo que coincide con lo expresado con Villaseñor y Espitia (2000), en el sentido de que en las áreas de cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal en México, la variabilidad causada por las diferencias entre sitios y años es de gran magnitud.

**Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza en general para las cuatro variables evaluadas en 10 genotipos de trigo harinero de temporal, primavera- verano, 2012 y 2013.**

**Table 1. Mean squares analysis of variance in general for the four variables evaluated in 10 wheat genotypes temporary, spring-summer, 2012 and 2013.**

Fuente de variación	gl	DF	gl	DM	gl	ALT	gl	REND
Localidades	11	1092.9**	11	3289.7**	11	1563.4**	11	29137940.6**
Rep (Loc)	12	5.1	12	48.3	12	210	12	444240.9
Variedades	9	272.3**	9	250.0**	9	343**	9	10236138.5**
Loc <sup>x</sup> Var	99	5.6**	99	7.5 *	99	57.7 *	99	990117.4**
Error	108	2.5	106	5.1	108	47.1	108	491253.8
Total	239		237		239		239	
Media		67.3		128.2		97.0		3858.6
CV (%)		2.3		1.7		7.0		18.1

gl=grados de libertad; DF= días a espigamiento; DM= días a madurez; ALT= altura; REND= rendimiento den grano; Loc= localidades; Var= variedades; C. V.= Coeficiente de variación en porcentaje; \*\*= altamente significativo ( $\alpha=0.05$ ); \*= significativo; ns= no significativo.

Para el caso de la fuente de variación “variedades”, también se presentaron diferencias altamente significativas para todas las variables evaluadas (Cuadro 1), lo que indica que los genotipos fueron diferentes entre sí, hecho que puede atribuirse a que los genotipos tienen intrínsecamente diferente patrimonio genético que los hace ser más ó menos productivos y por otro lado a la incidencia de factores bióticos y abióticos que inciden en estos, es decir, la influencia del ambiente en los mismos.

En el caso de interacción “Loc<sup>x</sup>Var” (Cuadro 1), en este tipo de ensayos exige la realización de estudios adicionales con el propósito de precisar la selección de individuos con adaptabilidad general y/o específica, ya que la inconsistencia del comportamiento entre genotipos de un ambiente a otro, y cuando ésta ocurre en gran proporción, reduce el progreso genético de la selección (Yang y Baker, 1991; Magari y

different from each other, a fact that can be attributed to genotypes have inherently different genetic heritage that makes them more or less productive and on the other hand the incidence of biotic and abiotic factors affecting these, i.e., the influence of the environment on them.

In the case of interaction "Loc<sup>x</sup>Var" (Table 1), in this type of testing requires additional studies in order to clarify the selection of individuals with general adaptability and/or specific, as the inconsistency of behavior among genotypes one environment to another, and when it occurs in large proportion, reduces the genetic progress of the selection (Yang and Baker, 1991; Magari and Kang, 1993) together with the rainfed wheat is affected by biotic problems that

detract from their performance; because the varieties released over time become susceptible to diseases, mainly yellow stripe rust (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*) and leaf rust (*Puccinia triticina*) because these pathogens present great variability of physiological races in Mexico (Singh, 1991; Huerta and Singh, 2000) or because new races that break the resistance of varieties are presented.

In this source of variation, the differences for days to flowering and grain yield were highly significant revealing that the varieties showed different amplitude of the biological cycle when changing environments indicating that the same variety modify their life cycle when exposed to different performance environments and behaved in the same way, that is, the performance of a genotype was different when changing environment. While the differences for plant height and days to physiological

Kang, 1993) aunado a que el trigo de temporal es afectado por problemas bióticos que demeritan su rendimiento; debido a que las variedades liberadas con el tiempo se vuelven susceptibles a enfermedades, principalmente a la roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*) y de la hoja (*Puccinia triticina*), ya que estos patógenos presentan gran variabilidad de razas fisiológicas en México (Singh, 1991; Huerta y Singh, 2000) o porque se presentan nuevas razas que rompen la resistencia de las variedades.

En esta fuente de variación, las diferencias para días a floración y rendimiento de grano fueron altamente significativas revelando esto que las variedades mostraron diferente amplitud del ciclo biológico al cambiar de ambientes lo que indica que una misma variedad modifico su ciclo biológico al ser expuesta a diferentes ambientes y que el rendimiento se comportó de la misma manera, es decir, que el rendimiento de un genotipo fue diferente al cambiar de ambiente. En tanto que las diferencias para las variables altura de planta y días a madurez fisiológica solo fueron significativas indicando esto que los genotipos también mostraron respuestas diferenciales al ser cambiados de una localidad a otra.

Esos resultados concuerdan con lo reportado por Hortelano *et al.* (2013) en el sentido de que los ambientes de producción de trigo harinero de temporal son muy contrastantes, que las variedades se comportan de diferente forma al ser cambiadas de ambiente y que las interacciones pueden ser aprovechadas detectando la adaptación que ciertas variedades presentan.

Lo anteriormente expresado obliga a establecer ensayos en diferentes condiciones para estimar el potencial de rendimiento y la estabilidad fenotípica de variedades y proveer una guía confiable para seleccionar los mejores genotipos, para nuevas localidades o años futuros como lo menciona Crossa (1990).

El comportamiento general de los genotipos se presentan en el Cuadro 2, donde se muestra que las líneas sobresalientes Don Carlos "S" y Mona "S" obtuvieron los más altos rendimientos con 4.8 y 4.7 t ha<sup>-1</sup> respectivamente, y en este caso se tuvieron ciclos cortos ya que la madurez fisiológica fue de 127 y 123 días, respectivamente, en ambas líneas. Nuevamente aquí destaca el hecho de que en estas líneas se conjuntan ciclos cortos y altos rendimientos, situación que coloca a estas líneas como buenos prospectos para ser liberadas como nuevas variedades para los ambientes de temporal de Valles Altos. Pues las variedades que sean las más recientes serán más productivas como lo reportado por Villaseñor y Espitia (2000).

maturity were only significant indicating that genotypes also showed differential to be changed from one locality to another answers.

These results agree with those reported by Hortelano *et al.* (2013) in the sense that production environments bread wheat are very contrasting temporal, that varieties behave differently to be changed environment and interactions can be exploited by detecting the adaptation that certain varieties have.

The above expressed undertakes to set tests under different conditions to estimate yield potential and phenotypic stability of varieties and provide a reliable guide to select the best genotypes for new locations or future years as mentioned Crossa (1990).

The general behavior of genotypes are presented in Table 2, which shows that the outstanding lines Don Carlos "S" and Mona "S" obtained the highest yields of 4.8 and 4.7 t ha<sup>-1</sup> respectively, and in this case they had short cycles as physiological maturity was 127 and 123 days, respectively, in both lines. Here again it highlights the fact that in these lines short cycles and high yields are brought together, a situation that places these lines as good prospects to be released as new varieties for rainfed environments High Valleys. For varieties that are the most recent will be more productive as reported by Villaseñor and Espitia (2000).

In the case of varieties Nana F2007 and Altiplano F2007 yields ranged from 4.5 to 4 t ha<sup>-1</sup>, respectively, however their differences with the best line were the order of 239 kg (5%) and 737 kg (15.3), respectively (Table 2). Lower yields presented them the variety Galvez M87 and Batan F96 with 3 and 3.1 t ha<sup>-1</sup> respectively, reaching differences in grain yield with the best line was Don Carlos "S" of 1671 kg (35.8%) and 1722 kg (34.7%), respectively.

Other varieties also showed lower yields were Rebeca F2000 is a variety which is strongly affected by yellow rust, Romoga F96, Temporalera M87 and Tlaxcala F2000 in the same conditions as their genetic resistance to yellow rust was defeated a few years ago and whose differences from the best line ranged from 990 kg (20.6%) to 1453 kg (30.2%). In this regard, until 2008 Rebeca F2000 was virtually immune to yellow rust, even in the presence of the 219MEX0 race, which in the summer of 2004 in the high valleys of Mexico became completely susceptible varieties Galvez M87, Pavon F76,

**Cuadro 2. Media de variables en general por variedad e incidencia de enfermedades, evaluados en los ciclos primavera-verano, 2012 y 2013 en localidades de Valles Altos.**

**Table 2. Average overall variables by variety and incidence of diseases, evaluated in the spring-summer cycles, 2012 and 2013 in towns of Valles Altos.**

Año de liberación	Genotipo	DF	DM	ALT	REND	DMG	YrE	Yr	Lr	Fol
2014	Don Carlos "S"	66	127	98	4.82		10	1r	1r	7/30
2014	Mona "S"	62	123	98	4.71	2.2	15	5r	5Rr	7/40
2007	Altiplano F2007	71	132	104	4.08	15.3	5	20mr	15mr	7/30
2007	Nana F2007	65	126	100	4.58	5.0	10	20mr	60s	7/40
2000	Rebeca F2000	74	135	97	3.36	30.2	20	40ms	40s	7/30
2000	Tlaxcala F2000	66	128	96	3.83	20.6	10	40ms	20mr	7/40
1996	Batán F96	68	128	94	3.15	34.7	70	70s	45s	7/40
1996	Romoga F96	69	128	93	3.40	29.5	15	50s	10r	7/40
1987	Gálvez M87	64	126	91	3.09	35.8	30	70s	40s	7/50
1987	Temporalera M87	68	129	100	3.58	25.6	30	100s	70s	7/40
	Tukey ( $\alpha=0.05$ )	1.4	2.1	6.4	0.65					

DF= días a espigamiento; MAD= días a madurez; ALT= altura de planta en cm; REND= rendimiento en t ha<sup>-1</sup>; DMG= diferencia en (%) con respecto al mejor genotipo; YrE= roya amarilla en la espiga; Yr= roya amarilla en la hoja; Lr= roya de la hoja; r= resistente; mr= moderadamente resistente ms= moderadamente susceptible; s= susceptible; Fol= complejo de enfermedades foliares.

Para el caso de las variedades Nana F2007 y Altiplano F2007 sus rendimientos variaron de 4.5 a 4 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, sin embargo sus diferencias con la mejor línea fueron del orden de 239 kg (5%) y 737 kg (15.3), respectivamente (Cuadro 2). Los rendimientos menores los presentó la variedad Gálvez M87 y Batán F96 con 3 y 3.1 t ha<sup>-1</sup> respectivamente, alcanzando diferencias en rendimiento de grano con la mejor línea que fue Don Carlos "S" de 1 671 kg (35.8%) y 1 722 kg (34.7%), respectivamente.

Otras variedades que también mostraron menores rendimientos fueron Rebeca F2000 que es una variedad que es fuertemente afectada por roya amarilla, Romoga F96, Temporalera M87 y Tlaxcala F2000 en las mismas condiciones, ya que su resistencia genética a roya amarilla fue vencida ya hace algunos años y cuyas diferencias con respecto a la mejor línea oscilaron entre los 990 kg (20.6%) a los 1453 kg (30.2%). Al respecto, hasta el año 2008 Rebeca F2000 fue prácticamente inmune a roya amarilla, incluso ante la presencia de la raza 219MEX0, que en el verano de 2004 en los Valles Altos de México volvió completamente susceptible a las variedades Gálvez M87, Pavón F76, Temporalera M87 y Juchi F2000 Rodríguez *et al.* (2009), como lo menciona Villaseñor *et al.* (2012) para roya amarilla, Tlaxcala F2000 es moderadamente resistente a moderadamente susceptible y no iguala la resistencia de Altiplano F2007 y Nana F2007.

Temporalera M87, and Juchi F2000 Rodríguez *et al.* (2009), as mentioned Villaseñor *et al.* (2012) to yellow rust, Tlaxcala F2000 is moderately resistant to moderately susceptible and not even the strength of Altiplano F2007 and Nana F2007.

The yellow stripe rust in the tang (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) (YrE) impacted more severely than older varieties, corresponding to the genotypes: Galvez M87 and Temporalera M87, like Batan F96 which reached 70% infection. The other genotypes were maintained with 5 to 20% of infection in the ear, being Altiplano F2007 variety with better resistance to the incidence of yellow rust in the ear. With the planting of the variety Altiplano F2007, which is more resistant to disease and with higher yield potential, you can increase performance and profitability of rainfed wheat planted in rainy rainy environments and a half, coupled with that in a very short time time new lines and as varieties are available and are adopted in an agile by wheat farmers temporarily Los Valles Altos.

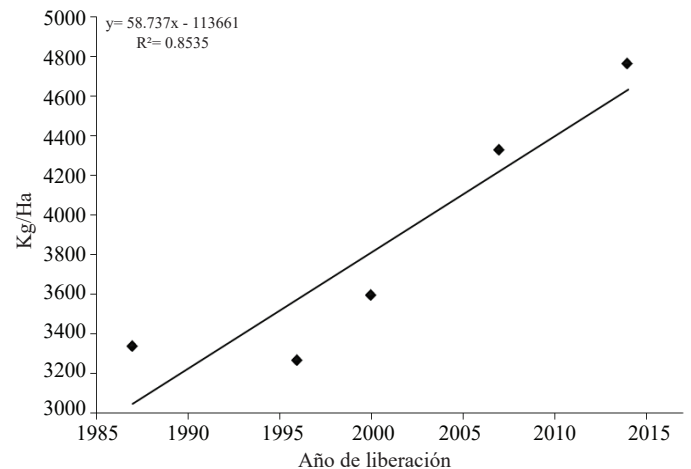
The grain yield of genotypes released in different years is presented graphically in Figure 1, which shows how the trend line of regression in the variable grain yield per hectare have increased from varieties released in 1987 where they reached in this study 3.3 tons per hectare, until 2014 the experimental lines that exceed 4.7 t ha<sup>-1</sup>, validity supported by the coefficient of determination of the regression is 0.85.



La roya lineal amarilla en la espiga (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) (YrE) incidió más severamente a las variedades más antiguas, que corresponden a los genotipos: Gálvez M87 y Temporalera M87, al igual que Batán F96 que alcanzó un 70% de infección. El resto de genotipos se mantuvieron con 5 a 20% de infección en la espiga, siendo Altiplano F2007 la variedad con mejor resistencia ante la incidencia de roya amarilla en la espiga. Con la siembra de la variedad Altiplano F2007, que es más resistente a enfermedades y con mayor potencial de rendimiento, se podrá incrementar el rendimiento y la rentabilidad de trigo de temporal sembrado en ambientes lluviosos y medio lluviosos, aunado a que en un lapso muy corto de tiempo estén disponibles las líneas nuevas ya como variedades y sean adoptadas en forma ágil por los productores de trigo de temporal de Los Valles Altos.

El rendimiento de grano de los genotipos liberados en diferentes años se presenta gráficamente en la Figura 1, donde se observa como la línea de tendencia de la regresión en la variable rendimiento de grano por hectárea han ido en aumento a partir de las variedades liberadas en 1987, donde éstas alcanzaron en este estudio las 3.3 toneladas por hectárea, hasta las líneas experimentales de 2014 que superan las 4.7 t ha<sup>-1</sup>, validez soportada por el coeficiente de determinación de la regresión que es de 0.85.

Uno de los aspectos importantes que consideran los productores de trigo, tanto de temporal como de riego, es el rendimiento de grano obtenido por unidad de superficie de la variedad de su elección y estos rendimientos de una misma variedad deben de ser más o menos semejantes a través de ambientes y por un cierto periodo de tiempo. Esto nos lleva a determinar que en un cierto lapso de tiempo algunas variedades serán más productivas que otras y que al paso del mismo, las primeras quedarán obsoletas y las segundas serán mayormente sembradas. La resistencia genética a royas, a través de la generación de variedades resistentes, es la medida de control más segura, económica y ambiental (Ma *et al.*, 1997), aunque a menudo la protección es efímera ya que las poblaciones de los hongos patógenos responden a las presiones de selección generadas por variedades resistentes produciendo nuevas razas o biotipos que vencen la resistencia de las variedades. Ante esta circunstancia, es que el mejoramiento para la resistencia genética a las royas del trigo debe de ser una actividad continua (Schafer, 1987), tal como se ha ilustrado en la Figura 1, ya que los progresos en rendimiento de grano a través del tiempo se atribuyen tanto al potencial genético de las variedades como a la resistencia genética a las royas y enfermedades en general.



**Figura 1. Avances en rendimiento de variedades de trigo harinero evaluadas en ambientes de temporal en Valles Altos, primavera-verano, 2012 y 2013.**

**Figure 1. Progress in performance evaluated bread wheat varieties in rainfed environments in Valles Altos, spring-summer, 2012 and 2013.**

One of the important aspects to consider wheat producers, both rainfed and irrigated, is the grain yield obtained per unit area of the variety of choice and these yields the same variety must be more or less similar to through environments and for a certain period of time. This leads us to determine that at a certain time some varieties are more productive than others and that the passage thereof, the first and second obsoleted be mostly planted. Genetic resistance to rusts, through the generation of resistant varieties, is far more safe, economic and environmental control (Ma *et al.*, 1997), although often the protection is short-lived as populations of pathogenic fungi respond to selection pressures generated by producing new strains resistant varieties or biotypes maturing varieties resistance. Under this circumstance, it is that breeding for genetic resistance to rusts of wheat should be an ongoing activity (Schafer, 1987), as illustrated in Figure 1, since progress in grain yield through time is attributed to both genetic potential of varieties as genetic resistance to rusts and diseases in general.

Genetic improvement observed based on grain yield, seen as progress in it, we can see in Figure 1, where the varieties released in the decades of the nineties eighties and two thousand are lower yielding comparatively regarding the lines of 2014, showing the trend in increasing yield of genotypes, since the progress of performance gain will increase from varieties 1987, where performance gains are lower in more than one ton per hectare regarding genotypes

EL mejoramiento genético observado con base en el rendimiento de grano, visto como el avance en el mismo, lo podemos ver en la Figura 1, donde las variedades liberadas en las décadas de los ochentas noventas y dos mil son de menor rendimiento comparativamente con respecto a las líneas de 2014, mostrando la tendencia en el aumento de rendimiento de los genotipos, ya que los progresos de ganancia en rendimiento van aumentando a partir de las variedades de 1987, donde las ganancias en rendimiento son menores en más de una tonelada por hectárea con respecto a los genotipos de 2014, esto concuerda con lo reportado por Hernández (1988), quien menciona que el avance en el rendimiento de grano logrado por el programa de trigo de México, vía mejoramiento genético, ha sido lineal y ascendente, tendencia que se ha observado más claramente en el rendimiento de trigo obtenido a nivel comercial en nuestro país. Mientras que comparando las del 1987 con las de 2007 las ganancias son un poco menores de éstas últimas ya que apenas alcanzaron una diferencia de 990 kilogramos, que se consideran de buen rendimiento.

Los progresos logrados en el incremento del rendimiento de grano se atribuyen a varias causas entre las que destacan el avance genético en el potencial del rendimiento; en la resistencia a factores como las enfermedades, reducción de acame, tolerancia a diversos estreses ambientales; y al mejoramiento en la tecnología de producción (Villaseñor y Espitia, 2000). Un caso particular ocurrió con las variedades liberadas en 1996 con respecto a las de 1987 ya que las primeras disminuyeron su rendimiento en comparación con las segundas (Figura 1). Este comportamiento puede explicarse por un lado a que en promedio presentaron mayor porcentaje de daño por roya amarilla en la espiga en comparación de las del 1987 ya que este patógeno al atacar la espiga incide directamente sobre el rendimiento de grano al modificar características como el peso del grano, llenado de grano etc.

Cuando se siembran variedades susceptibles, además de tener pérdidas directas en el rendimiento de grano, la enfermedad disminuye el peso hectolítrico (llenado de grano) y el rendimiento harinero, de tal manera que el grano cosechado solamente tendría uso forrajero (Rodríguez *et al.*, 2009).

La incidencia de royas y enfermedades foliares se presenta en la Figura 2, donde se aprecia claramente como las distintas graficas muestran un tendencia negativa y descendente ante la incidencia de estos patógenos.

2014, this is consistent with that reported by Hernandez (1988), who mentions that progress in grain yield achieved by the program wheat Mexico, via genetic improvement has been linear and upward, trend it has most clearly observed in wheat yield obtained commercially in our country. While comparing 1987 with 2007 gains are slightly less than the latter because of a difference barely reached 990 kg, which are considered good performance.

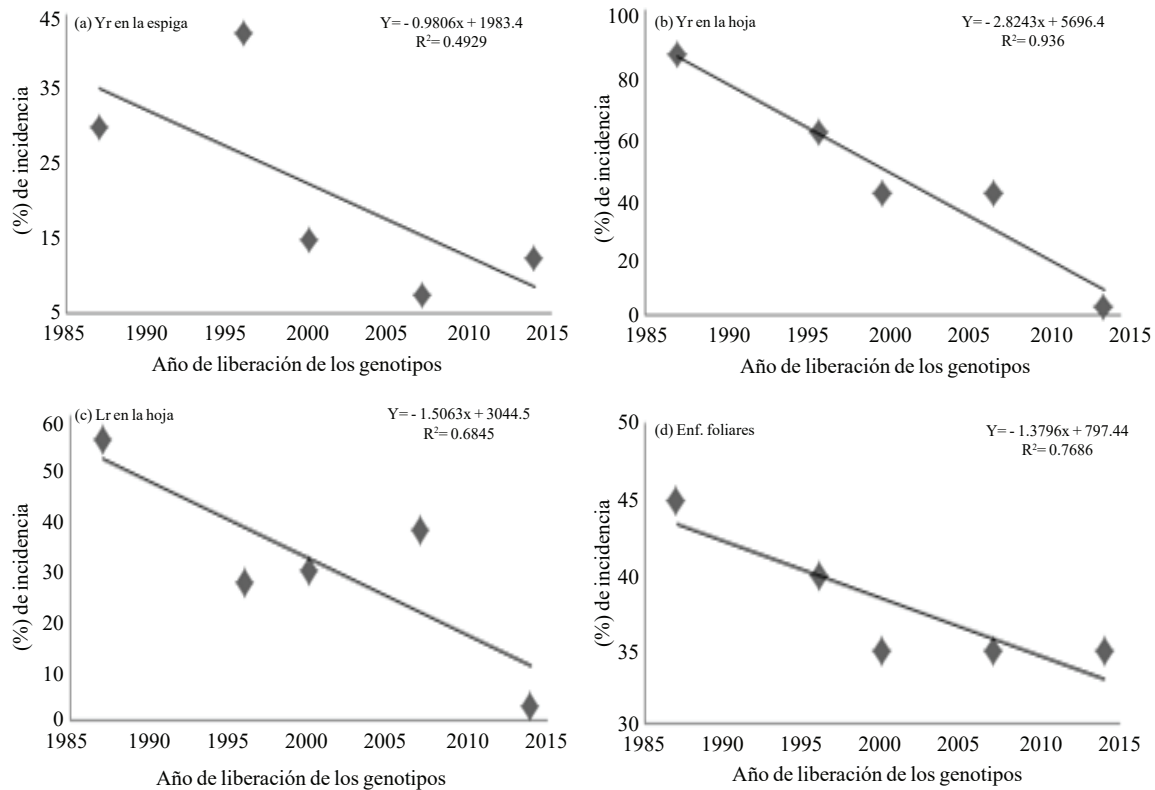
Progress in increasing grain yield several causes among which genetic gain in yield potential are attributed; in resistance to factors such as disease, reduced lodging, tolerance to various environmental stresses; and improvement in production technology (Villaseñor and Espitia, 2000). A particular case occurred with the varieties released in 1996 compared to 1987 as the first performance declined compared with the second (Figure 1). This behavior can be explained on the one hand that on average had a higher percentage of damage by yellow rust in the ear compared to those of 1987 since this pathogen to attack the pin direct impact on grain yield by modifying characteristics such as weight grain, grain filling etc.

When susceptible varieties are planted, in addition to direct losses in grain yield, disease decreases the test weight (grain filling) and flour yield, so that the harvested grain would feed use only (Rodríguez *et al.*, 2009).

The incidence of rusts and foliar diseases is presented in Figure 2, where it is clearly seen as different graphs show a downward trend to negative and the incidence of these pathogens.

Is observed as genotypes generated in 2014 are more resistant to yellow rust in the ear, yellow rust in the basin, leaf rust and leaf diseases complex (Figure 2a, b, c, and d). Also, it is clear that according to the trend lines there is further progress in genetic improvement in resistance to yellow rust on the blade (Figure 2b) and has not been so prominent progress in the generation of genotypes resistant complex foliar disease (Figure 2d).

Taking into account the genetic improvement of wheat before the attack of yellow rust, a short cycle favors when the crop is established temporarily, as mentioned Carrasco (2009) as “six hours of free water are needed on the leaf surface production of continuous reinfection” based on this, there is a high possibility that high this moisture during the growing season causing the chances of infection by



**Figura 2. Incidencia de royas y enfermedades foliares en genotipos de trigo harinero evaluados en temporal en Valles Altos, primavera- verano, 2012 y 2013.**

**Figure 2. Incidence of rusts and foliar diseases in wheat genotypes evaluated in time in Valles Altos, spring-summer, 2012 and 2013.**

Se observa como los genotipos generados en 2014 son más resistentes a roya amarilla en la espiga, roya amarilla en la hoja, roya de la hoja y al complejo en enfermedades foliares (Figura 2a, b, c, y d). También, es claro que de acuerdo a las líneas de tendencia existe un mayor avance en el mejoramiento genético en la resistencia a roya amarilla en la hoja (Figura 2b) y que no ha sido tan destacado el avance en la generación de genotipos resistentes al complejo de enfermedades foliares (Figura 2d).

Tomando en cuenta el mejoramiento genético de trigo ante el ataque de roya amarilla, un ciclo corto favorece cuando el cultivo es establecido en temporal, como lo menciona Carrasco (2009), ya que “son necesarias seis horas de agua libre sobre la superficie foliar para la producción de reinfecciones continuas”, basados en esto, hay una alta posibilidad que se presente alta humedad durante el ciclo de cultivo provocando las probabilidades de infección por roya amarilla, la cual produce una disminución de rendimiento, menos granos por espiga, menor llenado de grano y disminución de calidad (Carrasco, 2009).

yellow rust, which causes a decrease in performance, fewer grains per spike, less filling grain and decreased quality (Carrasco, 2009).

The behavior of genotypes across the three environments are shown in Figure 3, which shows that the trend line, according to the regression is positive slope, indicating that advances in grain yield were gradually and significant, since the varieties released in the decades of the nineties eighties and two thousand are lower yielding comparatively with respect to the lines candidates for new varieties (to 2014), Don Carlos "S" and Mona "S".

These results indicate that the experimental lines, candidates for new varieties for Los Valles Altos del Centro in Mexico, maintained their high performance in the three aforementioned types of environments, so it is confirmed once again that the strategy to try to genotypes in a wide range of contracted environments enables the choice of the most suitable genotypes for each type of environment where this crop is practiced or detect materials that respond well or maintain their good behavior across environments and

El comportamiento de los genotipos a través de los tres ambientes se muestra en la Figura 3, donde se observa que la línea de tendencia, de acuerdo a la regresión, es de pendiente positiva, lo que indica que los avances en rendimiento de grano han sido de forma gradual y significativos, ya que las variedades liberadas en las décadas de los ochentas noventas y dos mil son de menor rendimiento comparativamente con respecto a las líneas candidatas a nuevas variedades (de 2014), Don Carlos "S" y Mona "S".

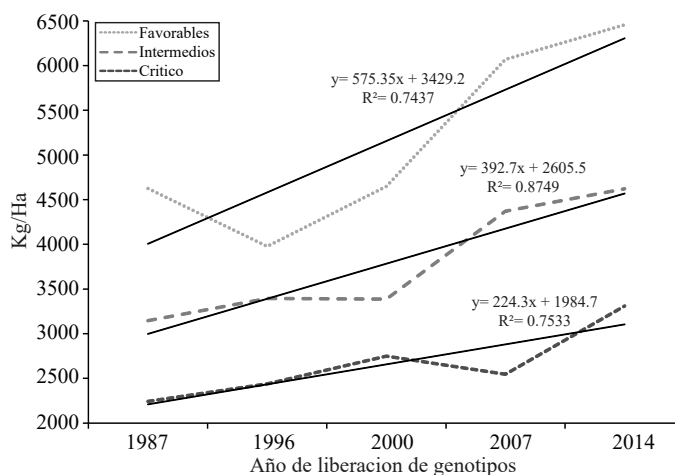
Estos resultados indican que las líneas experimentales, candidatas a ser las nuevas variedades para Los Valles Altos del Centro de México, mantuvieron su alto rendimiento en los tres tipos de ambientes mencionados, por lo que se corrobora una vez más que la estrategia de probar a los genotipos en un amplia gama de ambientes contratados posibilita la elección de los genotipos más idóneos para cada tipo de ambiente donde se practica este cultivo, o bien detectar aquellos materiales que responden bien o mantienen su buen comportamiento a través de ambientes y años, como en este caso todos los ambientes, situación que sería ideal tratándose de condiciones de agricultura de temporal, donde se dan variaciones en la expresión de las variables de interés dependiendo del año, localidad y el genotipo, aún dentro de un mismo tipo de ambiente (Crossa, 1990).

## Conclusiones

Las líneas sobresalientes, candidatas a ser liberadas como nuevas variedades, Don Carlos "S" y Mona "S" fueron los genotipos que mostraron los mayores rendimientos en general y en los tres tipos de ambiente, así como menor incidencia de roya amarilla y de la hoja, seguidas por las variedades Altiplano F2007 y Nana F2007, las variedades menos rendidoras y más susceptibles fueron invariablemente Temporalera M87 y Gálvez M87.

Los avances en rendimiento de grano, logrados a través del tiempo, han sido de forma ascendente y de forma constante, siendo los genotipos de reciente formación los que presentaron los más altos rendimientos, independientemente del ambiente y del año, conjuntándose en ellos, ciclos biológicos cortos y alta productividad.

years, as in this if all environments, a situation that would be ideal in the case of conditions of rainfed agriculture, where variations occur in the expression of the variables of interest depending on the year, locality and genotype, even within the same type of environment (Crossa, 1990).



**Figura 3. Tendencia en rendimiento de grano por tipo de ambiente en genotipos de trigo harinero evaluados en temporal en Valles Altos, primavera- verano, 2012 y 2013.**

**Figure 3. Trend in grain yield per type of environment in wheat genotypes evaluated in time in Valles Altos, spring-summer, 2012 and 2013.**

## Conclusions

The outstanding lines, candidates to be released as new varieties, Don Carlos "S" and Mona "S" were the genotypes that showed the highest yields in general and in the three types of environment as well as lower incidence of yellow rust and leaf, followed by the varieties Altiplano F2007 and Nana F2007, less yielding and more susceptible varieties were invariably Temporalera M87 and Galvez M87.

Advances in grain yield, achieved over time, have been ascending and steadily, being genotypes recent formation which had the highest returns, regardless of the environment and the year, assemblage in them, biological cycles short and high productivity.

*End of the English version*



## Agradecimientos

La autora y autores, agradecen al fondo sectorial SAGARPA-CONACYT; proyecto núm. 2010-03-146788 denominado “sistema de mejoramiento genético para generar variedades resistentes a royas, de alto rendimiento y alta calidad para una producción sustentable de trigo en México” del cual se derivó este trabajo.

## Literatura citada

- Carrasco, N.; Báez, A. y Belmonte M. 2009. Trigo. Manual de campo. INTA. Argentina. 82 p.
- Crossa, J. 1990. Statistical analysis of multi location trials. *Advance in Agronomy*. 44: 55-85.
- USDA. 2013. <http://www.ers.usda.gov/topics/crops/wheat.aspx>.
- Eyal, Z.; Scharen, L. y Prescott, M. 1987. Enfermedades del trigo causadas por *Septoria* conceptos y métodos relacionados con el manejo de estas enfermedades. CIMMYT. D. F., México. 46 p.
- Hernández, S. A. 1988. Avance en mejoramiento genético del trigo en México. *Agronomie, EDP Sciences*. 8(7):633-638.
- Hortelano, S. R. R.; Villaseñor, M. H. E.; Martínez, C. E.; Rodríguez, G. M. F.; Espitia, R. E. y Mariscal, A. L. 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(5):713-725.
- Huerta, E. J. y Singh, R. P. 2000. Las royas del trigo. *In: el trigo de temporal en México*. Villaseñor-Mir, H. E. y Espitia-Rangel, E. (Eds.). Libro técnico Núm. 1. Chapingo, Estado de México, México. 231-251 pp.
- Ma, H.; Singh, R. P. and Mujeeb, K. A. 1997. Resistance to stripe rust in durum wheats, A-genome diploids, and their amphiploids. *Euphytica* 94 (3): 279-286.
- Magari, R. and Kang, M. 1993. Genotype selection via a new yield stability statistic in maize yield trials. *Euphytica*. 70:105-111.
- Martín, A. 1990. Cultivo del trigo. *In: producción de granos y forrajes*. Editorial Limusa. D. F., México. 207-240 pp.
- Moreno, S. J. C. 2012. Resistencia de un biotipo de *Avena fatua* L. al herbicida Clonadifop-propargyl colectado en el estado de Guanajuato. Tesis profesional. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Chapingo, Estado de México, México. 76 p.
- Rodríguez, G. M. F.; Huerta, E. J.; Villaseñor, M. H. E. y Solís, M. E. 2009. Virulencia de la roya amarilla del trigo en las principales zonas productoras de trigo. *Agric. Téc. Méx*. 35(2):179-187.
- Roelfs, A. P.; Singh, R. P. y Saari, E. E. 1992. Las royas del trigo: conceptos y métodos para el manejo de esas enfermedades. CIMMYT. D. F., México. 81 p.
- SAS Institute. 2002. SAS/STAT User's Guide: GLM VARCOMP.6.04. Fourth edition Cary, NC, USA. 891-996 pp.
- Schafer, J. F. 1987. Rusts, smuts, and powdery mildew. *In: wheat and wheat improvement*. Heyne, E. G. (Ed.). 2<sup>nd</sup> edition. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 542-584 pp.
- SAGARPA-SIAP. 2014. Cierre de la producción agrícola. Trigo (Grano). <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>.
- Singh, R. P. 1991. Pathogenicity variations of *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* and *P. graminis* f. sp. *tritici*. in wheat-growing areas of Mexico during 1988 and 1989. *Plant Dis*. 75(8):790-794.
- Singh, R. P.; Huerta, E. J. and Rajaram, S. 2000. Achieving near-immunity to leaf and stripe rusts in wheat by combining slow rusting resistance genes. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 35:133-139.
- Stubbs, R. W.; Prescott, J. M.; Saari, E. E. y Dubin, H. J. 1986. Manual de metodología de la enfermedad de cereales. CIMMYT. D. F., México. 46 p.
- Villaseñor, M. H. E. 2000. Reseña del mejoramiento genético de trigo de temporal en México. *Agric. Téc. Méx*. 26(1):109-123.
- Villaseñor, M. H. E.; Hortelano, S. R. R.; Rodríguez, G. M. F.; Martínez, C. E. y Fernández S. R. 2012. Variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en el estado de Tlaxcala. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Centro (CIRCE). Tlaxcala. Tlaxcala, México. Folleto técnico Núm. 50. 36 p.
- Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. 2000. Características de las áreas productoras de trigo de temporal: problemática y condiciones de producción. *In: el trigo de temporal en México*. Villaseñor, M. H. E. y Espitia R. E. (Eds.). SAGAR-INIFAP. Chapingo, Estado de México, México. 85-98 pp.
- Wiese, M. V. 1977. Compendium of wheat diseases. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota, USA. 106 p.
- Yang, R. and R. Baker. 1991. Genotype - environment interactions in two wheat crosses. *Crop Sci*. 31:83-87.