

IDENTIFICACIÓN DE GENOTIPOS SOBRESALIENTES DE TRIGO EN EL VALLE DE TOLUCA, MÉXICO*

IDENTIFICATION OF OUTSTANDING WHEAT GENOTYPES IN THE TOLUCA VALLEY, MEXICO

Artemio Balbuena Melgarejo^{1§}, Andrés González Huerta¹, Enrique Rosales Robles², Aurelio Domínguez López¹, Omar Franco Mora¹ y Delfina de Jesús Pérez López¹

¹Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, UAEM. El Cerrillo Piedras Blancas, Estado de México. Apartado Postal 435. Toluca, Estado de México. ²Campo Experimental Río Bravo INIFAP. [§]Autor para correspondencia (artemio@uaemex.mx)

RESUMEN

La identificación de genotipos sobresalientes de trigo (*Triticum aestivum* L.) con base en rendimiento de grano es una estrategia importante en el mejoramiento genético y en la generación de tecnología. En este estudio se evaluaron 20 genotipos del Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT), para identificar los sobresalientes en rendimiento de grano y componentes del rendimiento. El material genético fue evaluado en cuatro ambientes (dos localidades, en siembra con y sin riego) del Valle de Toluca, Estado de México, en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones por ambiente. Los resultados indicaron que hubo diferencias ($p \leq 0.01$) para todas las variables entre ambientes (A) y entre genotipos (G). La interacción G x A fue significativa ($p \leq 0.01$) en días a floración (DAF), altura de planta (AP), peso de 1 000 granos (PMG), peso hectolítrico del grano (PHG) y rendimiento de grano (RGH). El análisis genotipo x variable mostró que los componentes principales 1 (31.3%) y 2 (23.9%) explicaron 55.3% de la variación total de las variables originales; espigas m⁻² (EMC), DAF, PMG, longitud de la espiga (LE), espiguillas por espiga (EE) y RGH explicaron la mayor variabilidad. Los genotipos identificados como 3, 7, 18, 8, 17, 12, 4, y 2, tuvieron los mayores rendimientos de grano (2 533, 2 465, 2 422, 2 389, 2 287, 2 284, 2 253, 2 113 kg ha⁻¹) y también sobresalieron en LE, EE y PHG, por lo que se recomienda su utilización en siembras de temporal en el área de estudio.

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., análisis genotipo x variable, componentes del rendimiento, rendimiento, Valles Altos del Estado de México.

ABSTRACT

Outstanding wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes selection based on grain yield is, and will continue to be, an important strategy in crop breeding and crop production technology. In this study 20 genotypes from International Maize and Wheat Improvement Center were evaluated to identify the most outstanding ones on grain yield and yield components. These genotypes were evaluated in four environments resulting from two locations each one cultivated with and no irrigation, at Toluca Valley, Mexico. The experimental design was a randomized complete block design with three replications. Results indicated highly significant ($p \leq 0.01$) differences in all evaluated variables among environments (A) and genotypes (G). A highly significant interaction AxG was detected in days to flowering (DAF), plant height (AP), weight of 1 000 grains (PMG), grain hectolitic weight (PHG) and grain yield (RGH). Statistical analysis showed that principal components 1 (31.3%) and 2 (23.9%) explained 55.2% of total variation of original variables; spikes per square meter (EMC), DAF,

* Recibido: Enero de 2007
Aceptado: Marzo de 2008

PMG; spike length (LE), spikelets per spike (EE) and RGH explained most of observed variability. Outstanding genotypes were those identified as 3, 7, 18, 8, 17, 12, 4 and 2, that resulted in highest RGH (2 533, 2 465, 2 422, 2 389, 2 287, 2 284, 2 253, 2 113 kg ha⁻¹, respectively) and also showed high values on LE, EE y PHG. As a result of this research, these genotypes are recommended for rainfed condition in this study area.

Key words: *Triticum aestivum* L., analysis per variable, grain yield, grain yield components, Mexican Estate highlands.

El aumento en el rendimiento de trigo (*Triticum aestivum* L.) hasta el año 2000 fue muy eficiente y se estima que 50% de éste se debió a mejoramiento genético y el otro 50% a una mayor utilización de fertilizantes y plaguicidas. El estudio de los componentes del rendimiento y de los factores que en ellos influyen fue muy importante, pero los componentes del rendimiento podrían estar correlacionados negativamente, como en granos por m², peso de granos, plantas m⁻², espigas por planta, espiguillas por espiga y granos por espiguillas. Por otra parte, aumentar el número de granos podría aumentar el rendimiento, pero este componente es de poco valor en términos prácticos, ya que se genera desde la siembra hasta un poco antes de la floración y es compleja más que el rendimiento mismo (presenta interacción G x A y baja heredabilidad). Es por esto que la identificación de genotipos sobresalientes de trigo con base en rendimiento de grano, aun en ambientes heterogéneos, ha sido, y es una estrategia importante en el mejoramiento genético y en la generación de tecnología (Slafer y Calderini, 2003; Hewstone, 2003). El estudio de la interrelación entre el rendimiento de grano y sus componentes del rendimiento podría determinarse a partir de la técnica multivariada exploratoria conocida como análisis genotipo x variable (Sánchez, 1995), que emplea dos componentes principales para determinar visualmente si existen patrones entre los genotipos como resultado de los valores de las variables, que variables separan a los grupos de genotipos definidos y que relación existe entre esas variables. Los objetivos del presente estudio fueron identificar genotipos sobresalientes de trigo con base en rendimiento de grano y componentes del rendimiento y determinar la interrelación entre los genotipos y las variables evaluadas.

Este trabajo se realizó en dos localidades del Estado de México: El Cerrillo Piedras Blancas y San Francisco Atizapán. Los 20 genotipos proporcionados por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)

fueron evaluados con y sin riego en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones por ambiente. La parcela experimental fue de 6.4 m², y la unidad experimental útil (UEU) de 4.8 m². Los experimentos se establecieron el 5 de diciembre de 2003. Se aplicó el tratamiento de fertilización 75N-30P-00K y se usó una sembradora de granos pequeños marca Wintersteger. El control de maleza se realizó con bromoximil y tiamethuron -metil, en dosis de 1.5 L ha⁻¹ y 25 g ha⁻¹ respectivamente. Las espigas de la UEU fueron secadas y trilladas con una máquina estacionaria marca Pullman. Las variables registradas en la UEU fueron emergencia de plántula (PE), días a floración (DAF), altura de planta (AP, en cm), espiguillas por espiga (EE), peso de 1 000 granos (PMG, en g), longitud de espiga (LE, en cm), número de espigas m⁻² (EMC), peso hectolítrico del grano (PHG, en kg hl⁻¹) y rendimiento de grano (RGH, en t ha⁻¹). Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza, a la comparación de medias entre genotipos con la prueba de la diferencia mínima significativa al nivel de significancia de 1% (Gomez y Gomez, 1984) y al análisis de componentes principales con la técnica genotipo x variable (Sánchez, 1995).

Los resultados del análisis de varianza combinado (Cuadro 1) indicaron que hubo diferencias ($p \leq 0.01$) entre El Cerrillo y San Francisco y que la siembra con y sin riego también contribuyó a la heterogeneidad entre ambientes; ambas localidades se diferencian principalmente en tipo de suelo y en precipitación pluvial. En El Cerrillo predominan los suelos vertisol y precipitación de 780 mm, mientras que en San Francisco predominan los suelos andosol y precipitación de 980 mm (García, 1988). Villaseñor y Espitia (2000) señalaron que en las áreas de cultivo de trigo de temporal en México, la variabilidad causada por las diferencias entre sitios y años es de gran magnitud.

Las diferencias en rendimiento de grano y componentes del rendimiento de los genotipos se atribuyen a su origen geográfico y genético diferente (Cuadro 2). La IGA significativa que se detectó en floración, altura de planta, peso de 1 000 granos, peso hectolítrico del grano y rendimiento de grano indica que el comportamiento de los genotipos a través de los ambientes fue diferente, y podría enmascarar la identificación de genotipos sobresalientes. Rodríguez-Pérez *et al.* (2005) señalaron que la IGA causa confusión en la estimación de parámetros genéticos, reduce la respuesta a la selección y dificulta la identificación de genotipos superiores y la generación de tecnología apropiada, pero también es útil para identificar genotipos con adaptación específica de alto rendimiento.

Cuadro 1. Fuente de variación (FV), grados de libertad (GL), cuadrados medios del análisis de varianza combinado y coeficiente de variación (CV) en 20 genotipos de trigo evaluados en cuatro ambientes del Valle de Toluca, Estado de México.

FV	G. L.	PE	DAF	AP	EMC	EE	LE	PMG	PHG	RGH
Ambientes (A)	3	358.8**	1944.0**	50247.3**	239908.0**	60.72**	80.56**	1558.9**	288.28**	818.37**
Rep/A	8	30.1	7.7	82.1	1373.3	0.50	0.75	9.4	10.33	3.85
Genotipos (G)	19	74.6**	108.2**	343.7**	8071.1**	3.62**	3.90**	151.8**	35.30**	21.77**
GxA	57	7.5ns	5.4**	35.0**	2045.4ns	0.64ns	0.54ns	19.9**	15.55**	8.41**
Error	152	7.6	1.6	16.9	1873.7	0.48	0.46	8.7	3.38	2.78
Media		91.3	148.6	79.2	227.9	7.64	7.25	32.1	72.23	1935.5
C V (%)		3.0	0.9	5.2	18.9	9.1	9.4	9.2	2.55	27.2

PE= emergencia de plántula (%); DAF= floración (días); AP= altura de planta (cm); EMC= espigas por metro cuadrado; EE= espiguillas por espiga; LE= longitud de espiga (cm); PMG= peso de mil granos (g); PHG= peso hectolítrico del grano (kg hl⁻¹); RGH= rendimiento de grano (t ha⁻¹); Ns= no significativo; *, **= significativos a $p \leq 0.05$ y 0.01, respectivamente.

Cuadro 2. Comparación de medias entre genotipos con la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS) promediando datos de tres repeticiones y cuatro ambientes del Valle de Toluca, Estado de México.

Genotipo Origen	Rendimiento y componentes del rendimiento									
	PE	DAF	AP	EMC	EE	LE	PMG	PHG	RGH	
1. TURKEY 13.R/SKAUZ	86.58	147.92	76.75	185.42	8.17	7.25	36.00	71.75	1643.5	
2. PYN/SERI	94.00	147.83	85.08	224.58	8.42	8.17	32.08	70.75	2113.9	
3. SAULESKU£43	87.67	148.25	81.25	245.92	7.50	7.25	33.00	73.58	2533.9	
4. KS91WGRC11	91.17	148.83	85.33	252.83	7.75	7.67	32.00	73.42	2253.8	
5. KS831374/OR300764	92.33	152.92	74.83	249.67	6.33	6.42	30.17	73.08	1713.2	
6. TAM200/HBB313E//2158	91.92	143.00	82.42	248.33	7.25	6.92	28.67	68.67	1987.0	
7. KS91HW29/KSSB369	95.00	147.58	71.83	227.17	7.83	7.33	29.67	72.83	2465.6	
8. KS90HW53/90 IWWSN 88	93.83	147.33	76.33	225.00	8.58	8.33	30.67	74.25	2389.0	
9. COLTER/2180	93.75	149.58	76.25	247.67	7.08	6.17	31.00	69.50	1810.8	
10. TX87V1534/TX84V1317	92.92	147.83	82.67	220.58	8.25	7.92	29.83	70.75	1709.3	
11. U1254.1.5.2.1/TX81V6582	91.08	148.67	80.83	245.50	7.25	7.00	34.17	71.42	1993.6	
12. BURBOT	87.50	143.42	70.08	229.58	8.00	6.92	28.25	73.50	2284.8	
13. 2174	89.00	149.25	81.00	191.75	8.00	7.83	36.75	72.67	1724.3	
14. MILLENNIUM-DAWN	93.33	150.58	75.33	239.75	7.83	6.50	29.58	71.75	1631.4	
15. OK91P648.41	91.42	152.58	84.08	252.00	7.42	6.92	30.17	74.25	1991.9	
16. OK93P656.RMH3299	92.17	155.25	68.67	234.08	8.08	7.08	30.17	72.17	1550.6	
17. OK98G507W	93.42	145.25	79.67	212.75	7.42	7.75	32.42	75.08	2287.5	
18. U1254.4.7.2/3/TX81V6603//SXL/AU	93.17	146.83	80.42	258.92	7.42	7.42	31.92	73.33	2422.0	
19. 4THIWWSN57TURKEY/TURKEY13R	89.08	148.67	84.67	159.25	7.25	7.00	43.92	69.67	877.8	
20. COUGAR	88.50	151.83	88.08	208.17	7.00	7.33	31.67	72.33	1325.7	
DMS (p=0.01)	2.94	1.37	4.38	46.09	0.73	0.72	3.15	1.95	561.6	

PE= emergencia de plántula (%); DAF= floración (días); AP= altura de planta (cm); EMC= espigas por metro cuadrado; EE= espiguillas por espiga; LE= longitud de espiga (cm); PMG= peso de 1000 granos (g); PHG= peso hectolítrico del grano (kg hl); RGH= rendimiento de grano (t ha⁻¹).

El rendimiento de grano varió de 877 a 2 533 kg ha⁻¹. Los genotipos identificados como 3, 7, 18, 8, 17, 12, 4 y 2 (2 533, 2 465, 2 422, 2 389, 2 287, 2 284, 2 253 y 2 113 kg ha⁻¹, respectivamente) tuvieron rendimientos mayores que la media de los cuatro experimentos (1 935 kg ha⁻¹) y fueron los más sobresalientes (Cuadro 2, Figura 1), por lo que podrían emplearse en siembra comercial o como material de partida en un programa nuevo de mejoramiento genético o generación de tecnología para el área de estudio. Villaseñor y

Espitia (2000) clasificaron la producción de trigo de temporal en México en tres categorías: crítica, con rendimientos inferiores a 2 000 kg ha⁻¹; regular, con rendimientos entre 2 000 y 4 000 kg ha⁻¹; favorable, con producción superior a 4 000 kg ha⁻¹. Rodríguez-Pérez *et al.* (2005), al considerar la clasificación anterior, propusieron cinco categorías: crítica, menos de 1 841 kg ha⁻¹; regular 1, entre 2 089 y 2 991 kg ha⁻¹; regular 2, de 3 134 a 4 338 kg ha⁻¹; favorable, entre 4 715 y 6 173 kg ha⁻¹; excelente, entre 7 097 y 7 823 kg ha⁻¹. Con

base en las propuestas de estos autores, los rendimientos observados en el presente estudio tendrían que considerarse en las categorías crítica y regular.

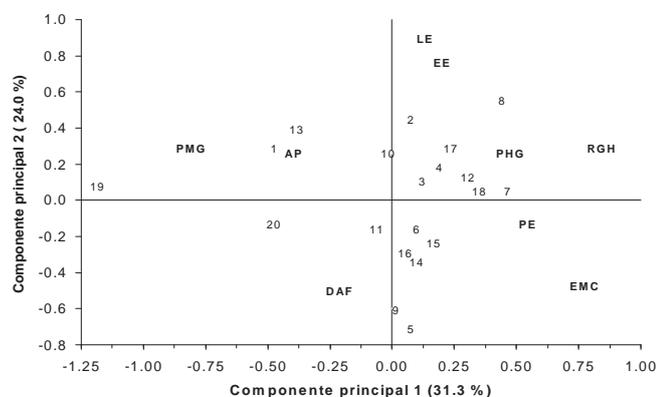


Figura 1. Biplot para rendimiento de grano (RGH) y componentes del rendimiento (PE, DAF, EMC, AP, PMG, PHG, LE y EE) en 20 genotipos de trigo evaluados en el Valle de Toluca, Estado de México. Análisis genotipo x variable.

En el Valle de Toluca, México se han registrado rendimientos de grano en trigo entre 1 500 y 3 800 kg ha⁻¹: Balbuena *et al.* (2003) evaluaron 20 genotipos en Metepec e identificaron ocho de éstos con rendimientos entre 3 000 y 3 800 kg ha⁻¹, mientras que Balbuena *et al.* (2007) al evaluar 20 genotipos en el Cerrillo Piedras Blancas identificaron seis de éstos con rendimientos entre 1 500 y 1 900 kg ha⁻¹.

En el biplot de la Figura 1 se puede observar que los componentes principales 1 (31.3%) y 2 (24.0%) explicaron 55.3% de la suma de cuadrados total de las variables originales; el mayor porcentaje de esta variación se explicó por espigas m⁻² (EMC), longitud de espiga (LE), espiguillas por espiga (EE), peso de 1 000 granos (PMG) y rendimiento (RGH). Este análisis también demuestra que los genotipos 2, 3, 4, 7, 8, 12, 17 y 18, con rendimientos de grano entre 2 113 y 2 533 kg ha⁻¹, fueron los más sobresalientes; éstos también presentaron medias altas en LE, EE y peso hectolítrico del grano (PHG). Estos resultados sugieren que RGH puede ser considerado como el criterio más importante para la identificación de genotipos superiores y que el incremento en la producción podría lograrse con base en el rendimiento, con base en PHG, LE y EE o considerando un índice de selección construido con las cuatro variables. Grieve *et al.* (1992) observaron que el mayor rendimiento de grano en trigo estuvo determinado por un mayor número de espiguillas y de granos por espiga, y granos más pesados, pero que estos componentes del rendimiento también fueron afectados por factores ambientales.

Slafer y Calderini (2003) y Hewstone (2003) señalaron que el rendimiento de grano podría incrementarse al favorecer la expresión fenotípica de un mayor número de plantas m⁻², de granos por espiguilla, de espiguillas por espiga, de espigas por planta y del peso de grano; también podría considerarse a granos m⁻² y peso de granos. Sin embargo, es más práctico, fácil y confiable de medir el rendimiento de grano, debido a que éste es la resultante de todos los factores bióticos y abióticos que se presentan desde la siembra hasta la cosecha y, además, los componentes del rendimiento frecuentemente muestran correlaciones negativas, por lo que el rendimiento potencial de una variedad se logrará cuando no existan factores ambientales que limiten la máxima expresión de sus componentes del rendimiento.

En el Valle de Toluca, México fueron identificados ocho genotipos de trigo con rendimientos de grano entre 2 113 y 2 533 kg ha⁻¹. La identificación de genotipos sobresalientes también podría hacerse con base en longitud de espiga, espiguillas por espiga y peso hectolítrico del grano. En la gráfica del biplot estas cuatro variables, junto con espigas m⁻² y peso de 1 000 granos, explicaron el mayor porcentaje de la variación en las variables originales. Los genotipos identificados como 2, 3, 4, 7, 8, 12, 17 y 18 podrían emplearse en siembra comercial, como material de partida para un programa de mejoramiento genético o para generar tecnología.

LITERATURA CITADA

- Balbuena, M. A.; Ginkel, M. V.; Franco, M. A. L.; González, H. A. y Salgado, S. M. L. 2003. Evaluación de veinte líneas avanzadas de trigo invernal en la modalidad riego-sequía (rendimiento y algunos componentes del grano, Primera Parte). *Rev. Ciencias Agrícolas Informa* 14:35-45.
- Balbuena, M. A.; González, H. A.; Saldivar, I. P.; Franco, M. A. L. y Mejía, L. J. R. 2007. Rendimiento de grano y componentes del rendimiento en trigo bajo condiciones sequía-riego en el Valle de Toluca, México. *Rev. Ciencias Agrícolas Informa* 16:18-23.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 246 p.
- Gomez, K. A. and Gomez, A. A. 1984. *Statistical Procedures for Agricultural Research*. John Wiley and Sons, Inc. Singapore. 680 p.

- Grieve, C. M.; Lesch, S. M.; Francois, L. E. and Maas, E. V. 1992. Analysis of main-spike yield components in salt-stressed wheat. *Crop Sci.* 32:697-703.
- Hewstone M C 2003. Rediseño de componentes de rendimiento y su interacción con el manejo. *In: Seminario Internacional sobre Estrategias y Metodologías Utilizadas en el Mejoramiento de Trigo: un Enfoque Multidisciplinario.* M Mohan K, M Díaz A, M Castro (eds). CIMMYT-INIA. La Estanzuela, Uruguay. p. 25-35.
- Rodríguez-Pérez, J. E.; Sahagún-Castellanos, J.; Villaseñor-Mir, H. E.; Molina-Galán, J. D. Martínez-Garza, A. 2005. La interacción genotipo x ambiente en la caracterización de áreas temporales de producción de trigo. *Agrociencia* 39:51-64.
- Sánchez, G. J. J. 1995. El análisis biplot en clasificación. *Rev. Fitotec. Mex.* 18:188-203.
- Slafer, G. A. y Calderini, D. F. 2003. Herramientas fisiológicas para el mejoramiento del rendimiento de trigo. *In: Seminario Internacional sobre Estrategias y Metodologías Utilizadas en el Mejoramiento de Trigo: un Enfoque Multidisciplinario.* M Mohan K, M Díaz A, M Castro (eds). CIMMYT-INIA. La Estanzuela, Uruguay. p. 13-24.
- Villaseñor M., H. E. y Espitia R., E. 2000. Características de las áreas productivas 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). Dirección Agrícola. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México. p. 85-98. (Libro Técnico No. 1).