

## Estabilidad de rendimiento en trigo en Valle de Mexicali, México

### Yield stability of wheat in the Mexicali Valley, México

Rodríguez-González RE<sup>1</sup>, JJ Paz Hernández<sup>1</sup>, CG Iñiguez Monroy<sup>3</sup>, EO Rueda Puente<sup>2</sup>,  
L Avendaño-Reyes<sup>1</sup>, M Cruz-Villegas<sup>1</sup>, CE Ail-Catzim<sup>1</sup>, M Stoycheva<sup>4</sup>, R Koytchev Zlatev<sup>4</sup>,  
P Renganathan<sup>2</sup>, AM García López<sup>1</sup>

**Resumen.** El objetivo de este estudio fue comprobar la estabilidad de rendimiento (RG) de las variedades comerciales de trigo, y la estabilidad de otros componentes agronómicos que no han sido estudiados durante la liberación de los granos: el rendimiento de paja (RP), peso hectolítrico (PH), panza blanca (PB), índice de cosecha (IC), proteína en el grano (PG) y fuerza de gluten (FG). Se analizaron las variedades Cachanilla F-2000 (C), Yécora F-70 (Y) y Triguénio F-00 (TR), en el Valle de Mexicali, Baja California, bajo cuatro ambientes utilizando el método de Eberhart y Russell. Se desarrollaron ensayos en el período 2010-2012, bajo un diseño experimental de bloques al azar con cuatro (4) repeticiones. Todos los genotipos fueron clasificados como estables para RG, PH, W y PG ( $\beta=1$  y  $S^2d_i=0$ ). El genotipo (Y) fue calificado además como estable para panza blanca.

**Palabras clave:** Estabilidad de rendimiento; Eberhart y Russell; Trigo.

**Abstract.** The aim of this study was to evaluate grain yield (RG) stability of some commercial wheat varieties, and to assess the stability of other parameters which are not typically measured for grain release purposes: performance of straw (RP), weight per hectoliter (PH), white belly (PB), harvest index (IC), grain protein (PG) and gluten strength (W). The evaluation was performed with the wheat varieties Cachanilla F-2000 (C), Yécora F-70 (Y) and Triguénio F-00 (TR), in El Valle de Mexicali, Baja California under four test environments, with the application of the Eberhart and Russell model. The study was developed during the 2010-2012 periods, using a completely randomized block experimental design with four repetitions. All genotypes qualified as stable to RG, RP, PH, IC, W and PG ( $\beta=1$  and  $S^2d_i=0$ ). Additionally, only the genotype (Y) scored as stable to white belly.

**Keywords:** Yield stability; Eberhart and Russell; Wheat.

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de Baja California, Carretera a Delta s/n 21705 Ejido Nuevo León, Baja California, México.

<sup>2</sup>Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.

<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Baja California, en Blvd. Benito Juárez s/n, C.P. 21280. Mexicali, Baja California, México.

<sup>4</sup>Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma del estado de Baja California, Calle de la Normal s/n, Mexicali, Baja California, México.

Address Correspondence to: Edgar Omar Rueda Puente, e-mail: erueda04@santana.uson.mx; erueda818@gmail.com

Recibido / Received 4.III.2013. Aceptado / Accepted 20.VIII.2013.

## INTRODUCCIÓN

El fenotipo de un individuo es determinado por dos componentes básicos: su genotipo y el ambiente específico en el cual se desarrolla. El fenotipo se observa, cuantifica y analiza, mientras que el genotipo no es observable, pero es deducible a partir del fenotipo por diferentes métodos de análisis genético. Un genotipo es capaz de producir varios fenotipos como resultado de la Interacción Genotipo x Ambiente (IGA) (Puertas, 1992), la cual es un factor importante dentro de los programas de mejoramiento. La estabilidad del rendimiento de un genotipo específico depende de su respuesta a diversos factores adversos en etapas críticas del desarrollo de la planta (Crossa et al., 1988). La IGA es el factor que más interfiere en la identificación de genotipos específicos para ambientes específicos (Snedecor y Cochran, 1980).

En el estado de Baja California, México, el Valle de Mexicali representa la zona de mayor producción de trigo, ya que en los últimos diez años la superficie sembrada fue de 80000 ha por año. De esta producción solo el 20% corresponde a trigos harineros de los grupos I y II, principalmente de las variedades Cachanilla F-2000, Rayón F-89 y Baviácora M-92. El 80% restante pertenece al grupo V (Río Colorado C- 2000, Rafi C-9) (SAGARPA, 2012).

En México, solo se ha enfatizado el rendimiento de grano en los procesos de selección y liberación de semillas. Sin embargo, existen otras variables productivas y de manejo agronómico que pueden influir en estos procesos (Peso hectolítrico, fuerza de gluten, tiempo de amasado, proteína, fecha de siembra, fertilización, tipo de suelo, pH, etc) (González et al., 2007; Lozano et al., 2009, Rodríguez et al., 2011). Dentro de los programas de mejoramiento genético de cualquier sistema agrícola es necesario medir la estabilidad relativa de los genotipos, y exponerlos a la totalidad de ambientes potenciales que pueden ocupar. Las etapas finales de estos programas incluyen experimentos de evaluación en diferentes localidades durante varios años (Rodríguez et al., 2011).

Varios procedimientos estadísticos han sido usados para el análisis de la interacción G x A, incluyendo métodos univariados y multivariados (Hill, 1975; Linet et al., 1986; Wescott, 1986; Crossa et al., 1990; Flores et al., 1998; Rea y De Sousa, 2002). Entre las diversas técnicas disponibles para realizar este tipo de estudios se ha elegido el método de Eberhart y Russell (1966) como modelo para predecir la estabilidad de genotipos. Los autores desarrollaron un modelo basado en la regresión para medir estabilidad, utilizando como parámetro el coeficiente de regresión y la desviación de la regresión. El modelo define los parámetros de estabilidad que pueden ser utilizados para describir el comportamiento de una variedad en una serie de ambientes. De acuerdo a la interpretación de Carballo y Márquez (1970) sobre este modelo, los genotipos con índices  $b_1$  y  $S^2d_1$  mayor que 1 e igual a 0, respectivamente, tienen respuesta buena a ambientes favorables y son consistentes. Al

mismo tiempo, los que tienen un índice menor a 1 e igual que 0 presentan respuesta buena a ambientes desfavorables y son consistentes. Los genotipos estables, o de mayor adaptabilidad, son los que tienen valores de 1 y 0, respectivamente. Este análisis provee pruebas de hipótesis para determinar las dos condiciones de estabilidad, así como la presencia de diferencias de medias entre genotipos.

Este tipo de modelo fue clasificado por Becker (1981), como de estabilidad en el sentido agronómico. Los parámetros para el estudio de la estabilidad son definidos por el modelo:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = promedio del genotipo i en el ambiente j,  $\mu_i$  = media del genotipo i en todos los ambientes,  $\beta_i$  = coeficiente de regresión que mide la respuesta del genotipo i a la variación ambiental,  $I_j$  = índice ambiental,  $\delta_{ij}$  = desvío de la regresión del genotipo i en el ambiente j,  $\epsilon_{ij}$  = desviación de la regresión de la variedad y el ambiente.

González et al. (2010) obtuvieron resultados comparables para predecir la estabilidad de 25 genotipos de maíz (*Zea mays* L.) al utilizar esta metodología en los Valles Altos de México comparando a otras cinco metodologías. Estas últimas incluyeron: la desviación estándar ( $S_j$ ) y el coeficiente de variación ( $CV_i$ ) de Francis y Kannenberg (1978), la ecovalencia ( $W_i$ ) de Wricke (1962), la varianza de estabilidad ( $\sigma^2_i$ ) de Shukla (1972), los índices no paramétricos ( $Si^1$  y  $Si^2$ ) de Hühn (Nassar y Hühn, 1987) y la medida de superioridad de un cultivar ( $P_i$ ) de Lin et al. (1986).

Gutiérrez et al. (1999) evaluaron la estabilidad de nueve genotipos de trigo en cuatro localidades de México; sus resultados indicaron que la línea AN-1461 presentó un comportamiento estable y tuvo un alto rendimiento, por lo que pasó al proceso de registro como variedad comercial. López et al. (2001) por su parte, evaluaron quince líneas avanzadas de frijol negro en once localidades; los experimentos se establecieron bajo condiciones de riego temporal y humedad residual. Las líneas ICTA-Ju 97-1, ICTA-Ju II-307, DOR-678 y Cut-45, resultaron sobresalientes por su rendimiento, amplia adaptación y estabilidad. Dávila et al. (1978) estimaron los parámetros de estabilidad utilizando el modelo de Eberhart y Russell (1966), para identificar germoplasma criollo utilizable en el Programa de Mejoramiento del Altiplano, alto y medio. Los autores concluyeron que dentro del germoplasma criollo existen variedades con alto potencial de rendimiento y estabilidad, mostrada en nueve localidades del altiplano medio de Guatemala. Rueda y Cotes (2009) evaluaron dos métodos para predecir la estabilidad fenotípica de nueve líneas elites: el mejor método de predicción de rendimiento fue el método de Eberhart y Russell. Como resultado, éste puede ser considerado como el método más efectivo al estimar el futuro valor de los rendimientos de un genotipo en un determinado ambiente.

En este estudio, se utilizó el modelo de Eberhart y Russell para comprobar la estabilidad del rendimiento de variedades comerciales de trigo (Cachanilla F-2000, Yécora F-70 y Triguénio F-00) en el Valle de Mexicali, Baja California, bajo cuatro ambientes diferentes. Además, se evaluó la estabilidad de otros componentes agronómicos que no han sido estudiados durante la liberación de los granos, como peso hectolítrico y panza blanca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se realizaron durante dos años consecutivos, en el ciclo otoño-invierno durante 2010-2012, en terrenos de un agricultor cooperante del Ejido Mezquital que se localiza en el Valle de Mexicali, Baja California, México (32° 24' 40" N, 115° 11' 46" O). El clima es de tipo desértico y en verano se caracteriza por ser cálido, muy seco, con temperaturas promedio máximas y mínimas de 43 y 16 °C, respectivamente. La precipitación pluvial promedio anual es de 85 mm (García, 1985).

Las semillas evaluadas para comprobar la estabilidad de rendimiento fueron: Yécora F-70 (Y), Cachanilla F-2000 (C), Triguénio F-2000 (TR).

**Arreglo de tratamientos y diseño experimental.** Los tratamientos del presente experimento fueron: el uso de la fertilidad residual proveniente de un cultivo anterior (cebollín) (FR), y la utilización de la fertilidad residual más fertilización comercial (FR+FC). Esta última fue ajustada de acuerdo con las recomendaciones para este cultivo para el valle de Mexicali (INIFAP, 2008). En ambos tratamientos se sembraron las tres variedades de trigo de gluten fuerte: Yécora F-70 (Y), Cachanilla F-2000 (C) y Triguénio F-00 (TR).

La siembra se hizo en surcos con una densidad de 40 kg/ha en cada año. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. El factor de bloque fue la heterogeneidad del suelo.

En los ciclos 2010-2011 y 2011-2012 se realizaron, previo a la siembra, análisis de suelos en cada una de las 24 parcelas. El muestreo se realizó a una profundidad de 30 cm en tres lugares de cada parcela; los resultados se utilizaron para obtener un promedio general del área del experimento 1, donde se obtuvo lo siguiente: 147 kg N/ha y 27 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Estos valores se consideraron como fertilidad residual (FR). La FR+FC consistió en la adición de 185 kg N/ha y de 29 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Así, el tratamiento de FR tuvo una condición de fertilidad equivalente a 147-27-00, mientras que el tratamiento FR+FC tuvo una condición de fertilidad equivalente a 332-56-00, donde FR+FC se fraccionó durante los riegos de auxilio. Para el ciclo 2011-2012, el muestreo de suelo se realizó con las mismas características del ciclo anterior pero en suelos provenientes de Raphani como cultivo anterior. Los resultados obtenidos fueron: 145 kg N/ha y 26 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha.

La fuente de fósforo utilizada fue ácido fosfórico y se aplicó en el primer riego de auxilio, 45 días después de la siembra y primer riego de germinación en subfase Z 2.6 (Zadoks et al., 1974). Como fuente de N se utilizó UAN-32, en forma fraccionada en cinco aplicaciones, comenzando con el primer riego de auxilio y terminando con el quinto riego de planta, cuando el trigo ya se encontraba en etapa de llenado de grano o subfase Z 7.1 (Zadoks et al., 1974). En total se aplicaron seis riegos de auxilio, además del primero de germinación.

El 25 de febrero se realizaron operaciones de control de malezas utilizando una mezcla de los productos comerciales "Axial" (2,2-ácido dimetil-propanoico 8-(2,6 dietil-4metilfenil)-1,2,4,5-tetrahidro-7-oxo-7H-pirazolo [1,2-d] [1,4,5] oxadiazepin-9-il ester (CA), "Adigor" (coadyuvante A12127R), "Amber" (Triasulfuron al 75%) y "Buffex", regulador del pH y dureza del agua sobre base de ácidos orgánicos en 42% y sales de ácidos orgánicos poli carboxílicos en 45%. No se realizó ninguna aplicación para el control de plagas o de enfermedades.

El 20 de febrero se realizaron operaciones de malezas con las mismas características del ciclo anterior.

**Variables evaluadas.** Las variables evaluadas fueron: Rendimiento de grano (RG, kg/ha) y sus componentes: Rendimiento de paja (RP, kg/ha), Peso hectolítrico (PH, kg/hL), panza blanca (PB, %), Índice de cosecha (IC), Proteína en grano (PG, %), y calidad harinera: Fuerza de gluten (W) para los cuatro ambientes: Ambiente 1: fertilidad residual-2007 (FR), Ambiente 2: fertilidad residual + fertilización comercial -2007 (FR+FC), Ambiente 3: fertilidad residual-2008 (FR), Ambiente 4: Fertilidad residual + Fertilización comercial -2008 (FR+FC).

**Análisis estadísticos para evaluar parámetros de estabilidad.** Para los análisis de estabilidad fenotípica se utilizó el Método de Eberhart y Russell (1966), con el programa de PARAM (Ortega y Octavio, 1992). De acuerdo a la interpretación de Carballo y Márquez (1970).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Análisis de varianza.** La Interacción Genotipo x Ambiente (IGA), resultó altamente significativa ( $p < 0,01$ ) para las variables rendimiento de grano y sus componentes. Estos resultados demuestran que los genotipos tienen un comportamiento desigual en los diferentes ambientes probados (Tabla 1). López et al. (2001) evaluaron la adaptación y rendimiento de 15 líneas avanzadas de frijol negro, así como un testigo local, en 11 localidades bajo condiciones de riego temporal y humedad residual. Estos autores obtuvieron diferencias entre las líneas estudiadas, localidades y para la interacción línea por localidad. Gleenys et al. (2006), quienes estudiaron la IGA en 16 híbridos experimentales de maíz de grano blanco en varios

ambientes del estado Yaracuy, Venezuela, también lograron detectar diferencias para los efectos principales de genotipos y ambientes, así como en la IGA. Asimismo, Balbuena et al. (2008) estudiaron 20 genotipos de maíz y trigo para identificar los sobresalientes en rendimiento de grano y sus componentes en cuatro ambientes del valle de México, donde la IGA fue significativa para el rendimiento del grano. Resultados comparables obtuvieron Zepeda et al. (2009), quienes evaluaron 8 híbridos de maíz adaptados a la región de Valles Altos Centrales de México, y sus características físicas, estructurales y calidad del nixtamal–tortilla del grano. Sus resultados demostraron que la IGA fue significativa para la mayoría de las variables, aunque para el rendimiento de tortilla fría un híbrido respondió en forma diferente a los ambientes debido a sus características genéticas particulares, y por su respuesta en cada año agrícola. Estos mismos autores (Zepeda et al., 2009) y Rodríguez et al. (2011) también observaron significancia en la IGA al evaluar el índice de floración del grano en 10 genotipos de maíz y trigo en dos y cuatro ambientes, respectivamente.

#### Método de Eberhart y Russell

**Rendimiento de grano.** Los tres genotipos de trigo (C), (Y) y (TR) se comportaron en forma estable, ya que sus coeficientes de regresión  $b_1$  tuvieron un valor igual a uno y sus desviaciones de la regresión fueron iguales a cero, con promedios de rendimiento de 7721,9; 7600 y 7251,3 kg/ha, respectivamente (Tabla 2).

**Peso hectolítrico.** Los tres genotipos de trigo (C), (Y) y (TR) se comportaron en forma estable, ya que sus coeficientes de regresión  $b_1$  tuvieron un valor igual a uno y sus desviaciones fueron iguales a cero, con un promedio de peso de 80, 80 y 79 kg/hL, respectivamente (Tabla 2). La mayoría de los pesos hectolítricos observados en el presente estudio superan el promedio que establece la norma mexicana NMX-FF-036-1996. En la misma se especifica un peso hectolítrico mínimo de 74

kg/hL para el grado de calidad México 1, y menor para los grados de calidad México 2 y 3 (72 y 68 kg/hL, respectivamente). De este modo, los genotipos (C), (Y) y (TR) reúnen las características necesarias para su comercialización.

**Panza Blanca.** El genotipo de trigo (Y) se comportó de manera estable para esta variable, ya que su coeficiente de regresión tuvo un valor igual a uno y su desviación fue igual a cero, con un promedio de 0,85%. El genotipo (C) presentó un coeficiente de regresión  $b_1$  mayor a 1 y su desviación igual a cero, por lo que, de acuerdo con Eberhart y Russell, se comportaría mejor en ambientes fértiles y en forma consistente. El promedio de 2,31% en dicho genotipo se puede atribuir a que el genotipo (C) también tuvo un mayor rendimiento de grano que los demás genotipos. Por lo tanto, tuvo mayores necesidades de absorción de nitrógeno por su porte alto y, por ende, contuvo mayor contenido de panza blanca (Tabla 2) y menor contenido de proteína que (Y) y (TR) (11,4; 12,1 y 12,5%, respectivamente) (Rodríguez et al., 2011). El genotipo (TR) presentó un coeficiente de  $b_1$  menor a 1 y su desviación mayor a cero, por lo que se comportaría mejor en un ambiente desfavorable, con un promedio de 0,82% (Tabla 2). Baviacora M-92 presentó panza blanca en mayor o menor proporción en cualquier ambiente. Aunque el ambiente sea rico en nitrógeno, la panza blanca se manifiesta.

**Rendimiento de paja.** Los tres genotipos de trigo (C), (Y) y (TR) se comportaron estables, ya que sus coeficientes de regresión  $b_1$  tuvieron valores iguales a uno y sus desviaciones de la regresión fueron iguales a cero, con promedios de 9848,5; 8624,8 y 8463,8 kg/ha, respectivamente (Tabla 2).

**Índice de cosecha.** Los tres genotipos de trigo (C), (Y) y (TR) se comportaron estables, ya que sus coeficientes de regresión  $b_1$  tuvieron un valor igual a uno y sus desviaciones fueron iguales a cero, con índices promedio de 0,45; 0,47 y 0,48, respectivamente (Tabla 2). Wallace y Munger (1966) afirmaron que hay evidencias de que el éxito del mejoramiento de

**Tabla 1.** Cuadrados medios del análisis combinado para trigos de gluten fuerte evaluados en cuatro ambientes para rendimiento, sus componentes y calidad harinera.

**Table 1.** Mean squares of the combined analysis for strong gluten wheat evaluated in four environments for yield and its components and flour quality.

Fuente	RG kg/ha	RP kg/ha	PB (X+1) <sup>1/2</sup>	PH kg/hL	IC	PG (X) <sup>1/2</sup>	W Joules
Genotipo x Ambiente	26327329,4* *	6699574,7**	4,84**	1119,6**	0,008357**	0,0552**	10969,3**
CV (%)	11,13	7,91	50,85	16,17	7,73	1,58	9,07
R <sup>2</sup>	0,92	0,98	0,75	0,74	0,68	0,86	0,78

\*Significativo (p=0,01); \*\*Altamente significativo (p=0,0001); CV= Coeficiente de variación; R2= Coeficiente de determinación; RG= Rendimiento de grano; RP= Rendimiento de paja; PB= Panza blanca; PH= Peso hectolítrico; IC= Índice de cosecha; PG= Proteína en grano; W= Fuerza de gluten.

\*Significant (p=0.01); \*\*Highly significant (p=0.0001); CV= Variation Coefficient; R2= Determination Coefficient; RG= Grain yield; RP= Straw yield; PB= White belly; PH= Hectolitre weight; IC= Harvest index; PG= Grain protein; W= Gluten strength.

**Tabla 2.** Parámetros de estabilidad fenotípica en trigos de gluten fuerte con el método de Eberhart y Russell bajo fertilidad residual y complementaria durante los ciclos 2007 y 2008.

**Table 2.** Phenotypic stability parameters in strong wheat gluten with the method of Eberhart and Russell under residual and complementary fertility during 2007 and 2008.

VARIABLES EVALUADAS	VariEDAD	Media	S <sup>2</sup> d <sub>i</sub>	DESCRIPCIÓN
Rendimiento de Paja (kg/ha)	Cachanilla F-2000	9848,5	0	Estable
	Yécora F-70	8624,8	0	Estable
	Triguenio F-00	8463,8	0	Estable
Rendimiento de grano (kg/ha)	Cachanilla F-2000	7721,9	0	Estable
	Yécora F-70	7600	0	Estable
	Triguenio F-00	7251,3	0	Estable
Índice de cosecha	Cachanilla F-2000	0,45	0	Estable
	Yécora F-70	0,47	0	Estable
	Triguenio F-00	0,48	0	Estable
Panza Blanca (x+1) <sup>1/2</sup>	Cachanilla F-2000	2,31	0	Mejor respuesta en buenos ambientes y consistente
	Yécora F-70	0,85	0	Estable
	Triguenio F-00	0,82	>0	Mejor respuesta en ambientes desfavorables
Peso Hectolítrico (kg/hL)	Cachanilla F-2000	80	0	Estable
	Yécora F-70	80	>0	Estable
	Triguenio F-00	79	>0	Estable
Proteína en grano (X) <sup>1/2</sup>	Cachanilla F-2000	3,38	0	Estable
	Yécora F-70	3,48	0	Estable
	Triguenio F-00	3,53	0	Estable
Fuerza de gluten x 10 <sup>-4</sup> Joules (W)	Cachanilla F-2000	338,81	0	Estable
	Yécora F-70	367,75	0	Estable
	Triguenio F-00	436,75	0	Estable

variedades altamente productivas se ha debido, en parte, a una selección inconsciente por un índice de cosecha más alto. Esto se debería, según los autores, a que los órganos reproductivos, tales como los granos, son parte de la planta que posee un interés económico. Sin embargo, en el presente estudio, el índice de cosecha para la variedad (TR) fue de 0,48 y su rendimiento de grano de 7251,3 kg/ha, mientras que en la variedad (C) se obtuvieron 0,45 y 7721,9 kg/ha de índice de cosecha y rendimiento, respectivamente. Estos resultados no concuerdan con lo señalado por Wallace y Munger (1966).

**Proteína en grano.** Los genotipos de trigo (C), (Y) y (TR) se comportaron estables, de acuerdo a Eberhart y Russell, y presentaron coeficientes de regresión igual a uno y desviaciones iguales a cero, con promedios de 11,42; 12,11 y 12,46%, respectivamente (Tabla 2).

**Fuerza del gluten.** Los tres genotipos de trigo (C), (Y) y (TR) se comportaron estables, ya que sus coeficientes de regresión tuvieron valor igual a uno y sus desviaciones fueron iguales a cero, con promedios de 338,8 x 10<sup>-4</sup>; 367,8 x 10<sup>-4</sup> y 436,8 x 10<sup>-4</sup> J,

respectivamente (Tabla 2). Estos resultados muestran una fuerza de gluten promedio mayor: 314 x 10<sup>-4</sup>J (Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo). La ventaja de esto es que la harina de gluten fuerte se puede utilizar como mejorador de trigos de gluten débil, para establecer parámetros de calidad dirigidos a la elaboración de un producto en particular.

## CONCLUSIÓN

La interacción Genotipo x Ambiente resultó altamente significativa para las variables de rendimiento de grano y sus componentes agronómicos evaluadas en cuatro ambientes. Con el modelo de Eberhart y Russell, los genotipos (C), (Y) y (TR) se comportaron en forma estable para rendimiento de grano y peso hectolítrico ( $\beta=1$  y  $S^2d_i=0$ ). Para panza blanca sólo mostró estabilidad el genotipo (Y). Esto se podría deber a que (Y) quizás fue menos afectado por la fertilización nitrogenada que el resto de las variedades. Se comprobó la estabilidad de rendimiento de grano de las variedades comerciales de trigo liberadas en los años de 1970 y 2000. Por lo tanto,

este método de evaluación puede ser recomendado para evaluar la estabilidad de rendimiento de grano y sus componentes proteína en grano, rendimiento de paja, índice de cosecha y fuerza de gluten. Sin embargo, para panza blanca en una de las respuestas de este método, la interpretación fue de mejor respuesta en buenos ambientes y consistente. Esto significa que hay más panza blanca, que se manifiesta en ambientes desfavorables. En este caso, la interpretación puede ser cambiada como: Mayor respuesta y consistente.

## REFERENCIAS

- Balbuena, M.A., H.A. González, R.E. Rosales, L.A. Domínguez, M.O. Franco y L.D. Pérez (2008). Identificación de genotipos sobresalientes de trigo en el Valle de Toluca. *Agricultura Técnica en México* 34: 257-261.
- Becker, H.C. (1981). Correlations among some statistical measures of phenotype stability. *Euphytica* 30: 835-840.
- Canimolt (2008). Cámara nacional de la industria molinera de trigo 3: 1-48.
- Carballo, A. y F. Márquez (1970). Comparación de variedades de maíz de El Bajío y la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia* 5: 129-146.
- Crossa, I., H. Gauch y R. Zobel (1990). Additive main effect and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Science* 30: 493-500.
- Crossa, J., B. Wescott y C. González (1988). Analyzing yield stability of maize genotypes using a spatial model. *Theoretical and Applied Genetics* 75: 863-868.
- Eberhart, S.A. y W.A. Russell (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6: 36-40.
- Flores, F., T. Moreno y J. Cubero (1998). A comparison of univariate and multivariate methods to analyze G x E interaction. *Field Crops Research* 47: 117-127.
- Francis, T.R. y L.W. Kannenberg (1978). Yield stability studies in short season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science* 58: 1029-1034.
- García, E. (1985). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, 2a. México. D.F.
- Gleenys, A., P. Monasterio y R. Rea (2006). Análisis de la interacción genotipo-ambiente para rendimiento de maíz en la región maicera del estado Yaracuy, Venezuela. *Agronomía Tropical* 56: 369-384.
- González, A., L. Martín y L. Ayerbe (2007). Response of barley genotypes to terminal soil moisture stress. Phenology, growth and yield. *Australian Journal of Agricultural Research* 58: 29-37.
- González, A., D.J. Pérez, J. Sahagún, O. Franco, E.J. Morales, M. Rubí, F. Gutiérrez y A. Balbuena (2010). Aplicación y comparación de métodos univariados para evaluar la estabilidad en maíces del Valle Toluca Atlacomulco, México. *Agronomía Costarricense* 34: 129-143.
- Gutiérrez, E.D. y H. Fraga (1999). Comparación de respuestas de tres modelos de estabilidad aplicados a nueve genotipos de trigo ("*Triticum Aestivum*" L.) en cuatro ambientes de México. *ITEA Producción Vegetal* 95: 31-40.
- Hill, J. (1975). Genotype-environment interactions a challenge for plant breeding. *Journal of Agricultural Science* 85: 477-493.
- INIFAP Instituto Nacional de Investigaciones forestales agrícolas y pecuarias. [en línea]. México [fecha de consulta: 16 Marzo 2010]. Disponible en: <<http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/1674/Guia%20tecnica%20para%20el%20area%20de%20influencia%20del%20campo%20experimental%20valle%20de%20mexicali.pdf?sequence=1>>
- Lin, C.S., M.R. Binns y L.P. Lefkovich (1986). Stability analysis: where do we stand? *Crop Science* 26: 894-900.
- López, E., O. Cano, B. Villar, J. Cumpian, F. Ugalde y V. López (2001). Evaluación de líneas de frijol negro, en Veracruz y Chiapas, México. *Agronomía Mesoamericana* 12: 129-133.
- Lozano, A.J., V.M. Zamora, L. Ibarra, S.A. Rodríguez, C. Lázaro y M.R. Ibarra (2009). Análisis de la Interacción genotipo-ambiente mediante el modelo AMMI y potencial de producción de Triticales Forrajeros (x Triticum secale Wittm). *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo* 25: 81-92.
- NMX-FF-036-1996. Productos alimenticios no industrializados, cereales, trigo (*Triticum aestivum* L y *Triticum durum*), especificaciones y métodos de prueba.
- Ortega, A. y M.T. Octavio (1992). Parámetros de estabilidad en base al modelo propuesto por Eberhart y Russell (PARAM). INIFAP, México.
- Puertas, M. J. (1992). Genética fundamentos y perspectivas. 1a Ed. M.C. Graw. Hill, Interamericana de España.
- Rea, R. y O. De Sousa (2002). Genotype x environment interaction in sugarcane yield trials in the central-western region of Venezuela. *Interciencia* 27: 620-624.
- Rodríguez, G.R., P.M. Juan. R.P. Edgar, A.R. Leonel, P.H. Juan, S.C. Jesus y C.V. Manuel (2011). Interacción Genotipo - Ambiente para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, B.C., México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14: 543-558.
- Rueda, J.A y J.M. Cotes (2009). Evaluación de dos métodos de estabilidad fenotípica a través de validación cruzada. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 62: 5111-5123.
- SAGARPA Secretaría de Agricultura y Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [en línea]. México [fecha de consulta: 12 Enero 2012]. Disponible en: <<http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/bajacalifornia/Boletines/Paginas/B042012.aspx>>
- Shukla, G.K. (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity* 29: 237-245.
- Snedecor, G. N., y W.G. Cochran (1980). Statistical methods. 7th ed. IOWA, State University Press. Ames, I.A.
- Wallace, D.H. y H.M. Munger (1966). Studies of the physiological basis for yield differences. II. Variation in dry matter distribution among aerial organs for several dry bean varieties. *Crop Science* 6: 503-507.
- Wescott, B. (1986). Some methods of analyzing genotype-environment interaction. *Heredity* 56: 243-253.
- Wricke, G. (1962). On a method of understanding the biological diversity in field research. *Z. Pflanzenzuchtg* 47: 92-96.
- Zadoks, J.C., T.T. Chang, y F.C. Konzak (1974). A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421.
- Zepeda, B.R., C.A. Carballo y A.C. Hernández. (2009). Interacción genotipo-ambiente en la estructura y calidad de nixtamal-tortilla del grano en híbridos de maíz. *Agrociencia* 43: 124-128.