



## INTERACCIÓN GENOTIPO - AMBIENTE PARA LA ESTABILIDAD DE RENDIMIENTO EN TRIGO EN LA REGIÓN DE MEXICALI, B.C., MÉXICO

### [GENOTYPE-ENVIRONMENT INTERACTION TO THE YIELD STABILITY IN WHEAT IN MEXICALI, B.C., MÉXICO REGION]

Rosario E. Rodríguez-González<sup>1</sup>; Juan F. Ponce-Medina<sup>1</sup>;  
Edgar O. Rueda-Puente<sup>2</sup>; Leonel Avendaño-Reyes<sup>1</sup>; Juan J. Paz Hernández<sup>1</sup>;  
Jesús Santillano-Cazares<sup>1</sup> y Manuel Cruz-Villegas<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Departamento de Administración Agropecuaria, Universidad de Sonora. Carretera Internacional y Avenida 16 de septiembre s/n. C.P. 84600, Santa Ana, Sonora, México.

\*E mail: [erueda04@santana.uson.mx](mailto:erueda04@santana.uson.mx)

\*Corresponding Author

#### RESUMEN

Con la finalidad de evaluar la estabilidad del rendimiento de variedades comerciales de trigo Cachanilla F-2000 (C), Yécora F-70 (Y) y Triguénio F-00 (TR), en el Valle de Mexicali, Baja California, bajo cuatro ambientes de prueba, usando el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI), se desarrollaron ensayos en el período 2007-2008, bajo un diseño experimental de bloques al azar con cuatro (4) repeticiones. Los resultados encontrados en el análisis de la interacción Genotipo X Ambiente resultó altamente significativa ( $P < 0.01$ ) para las variables de estudio. En la comparación de medias, para el rendimiento de grano y peso hectolítrico no se encontraron diferencias entre los genotipos (C) con respecto a (Y) y (TR), ni entre los genotipos (Y) y (TR). En el rendimiento de paja y panza blanca, el genotipo (C) tuvo mayor rendimiento y porcentaje de panza blanca con respecto a (Y) y (TR). El índice de cosecha fue menor en el genotipo (C) (0.45) con respecto a (Y) y (TR) (0.47 y 0.48 respectivamente). El genotipo (TR) presentó mayor porcentaje de proteína en grano y fuerza de gluten (12.5% y  $436.8 \times 10^{-4}$  J) con respecto a (Y) y (C). El modelo AMMI fue una herramienta útil para identificar variedades de alto rendimiento de trigo. Sin embargo, no todas las variables de rendimiento de grano, sus componentes y fuerza de gluten pueden ser evaluadas con el mismo modelo.

**Palabras Clave:** Interacción G x A; modelos multiplicativos; AMMI; trigo; estabilidad.

#### INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* y *T. durum* L.) es uno de los principales cultivos a nivel mundial, ya que se estimó una producción, en los años 2008 y 2009, de 683 millones de toneladas (Canimolt, 2008). La

#### SUMMARY

With the finality to evaluate yield stability of varieties of wheat Cachanilla F-2000 (C), Yécora F-70 (Y) and Triguénio F-00 (TR), in El Valle de Mexicali, Baja California, under four environments of test, using the additive main effects and multiplicative interaction model (AMMI), was developed trials during the period from 2007 to 2008, with an experimental random block design with four (4) replicates. The results showed that the analysis of genotype x environment interaction was highly significant ( $P < 0.01$ ) for the study variables. In the comparison of means, for grain yield and test weight were no differences between genotypes (C) with respect to (Y) and (TR), or between genotypes (Y) and (TR). Performance of straw and white belly, genotype (C) had greater percentage of white belly and over (Y) and (TR). The harvest index was lower in the genotype (C) (0.45) with respect to (Y) and (TR) (0.47 and 0.48 respectively). The genotype (TR) had a higher percentage of grain protein and gluten strength (12.5% and  $436.8 \times 10^{-4}$  J) with respect to (Y) and (C). The AMMI model was a useful tool to identify high-yielding varieties of wheat. However, not all variables grain yield, its components and gluten strength can be evaluated with the same model.

**Key Words:** G x E interaction; multiplicative models; AMMI; wheat; stability.

producción de trigo en México en el año 2008 fue de 3.3 millones de toneladas, de las cuales 1.9 millones fueron trigos cristalinos y 1.4 millones destinados para la panificación (INFORURAL, 2008). Este cultivo es uno de los principales granos para la alimentación mexicana, pues con él se elaboran varios

productos de consumo masivo como panes, tortillas, pastas, galletas, atoles, papillas, obleas y pasteles. De igual forma, este cultivo es uno de los principales en la temporada otoño –invierno en el noroeste de México y forma parte de la cultura agrícola de los estados de Sinaloa, Sonora y Baja California. En este último, el Valle de Mexicali representa la zona de mayor producción, ya que en los últimos diez años, la superficie promedio sembrada en este Valle ha sido de 80,000 ha/año, con una producción superior a las 500 mil toneladas y un rendimiento medio de 6.2 ton ha<sup>-1</sup>, beneficiando a más de 2000 productores y sus familias. En el año 2008, el estado de Baja California generó una producción de 532,450 ton (Pronespere, 2008).

La mayoría de los procesos de selección de germoplasma para la liberación comercial de semillas involucran generalmente varias variables productivas, sin embargo, en México estos procesos solo han enfatizado en el rendimiento de grano (González *et al.*, 2007; Lozano del Río *et al.*, 2009). En la mecánica de estos procesos, las semillas son sometidas a pruebas ricas en nutrientes y ambientes muy específicos. Sin embargo, cuando las semillas son liberadas, estas se siembran bajo diferentes condiciones de manejo como densidad y fecha siembra, fertilización, control de plagas, tipos de suelo, pH, duración de horas luz (fotoperiodo), temperatura, etc. Esto hace que al sembrarse en ambientes diferentes, su rendimiento varíe, lo cual se define como interacción genotipo x ambiente o estabilidad fenotípica. La estabilidad fenotípica del rendimiento ha tenido varias interpretaciones, siendo dos de ellas la biológica y la agronómica. La biológica es cuando el genotipo presenta mínima variación a través de los ambientes, mostrando un rendimiento constante en cualquier condición de producción. La agronómica es cuando existe una mínima interacción genotipo x ambiente, lo cual está asociado a la pretensión de obtener un incremento del rendimiento en respuestas para su evaluación, con una amplia variedad de condiciones para la obtención de genotipos estables (Becker, 1981).

En este sentido, para evaluar el comportamiento agronómico de los cultivares, generados de los programas de mejoramiento genético de cualquier rubro agrícola, es necesario medir la estabilidad relativa de los genotipos sometidos a la totalidad de los ambientes predominantes en una región potencial de adaptación. Las etapas finales de estos programas incluyen experimentos de evaluación en diferentes localidades durante varios años.

La ocurrencia a menudo de interacción genotipo ambiente (G x A) en este tipo de ensayos exige la realización de estudios adicionales con el propósito de precisar la selección de individuos con adaptabilidad

general y específica. La interacción G x A es frecuentemente descrita como la inconsistencia del comportamiento entre genotipos desde un ambiente a otro, y cuando ésta ocurre en gran proporción reduce el progreso genético de la selección (Yang y Baker, 1991; Magari y Kang, 1993). Varios procedimientos estadísticos han sido usados para el análisis de la interacción G x A, incluyendo métodos univariados y multivariados (Hill, 1975; Lin *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 AMMI (Efectos principales aditivos e interacción multiplicativa) propuesto por Zobel *et al.* (1988); Gauch y Zobel (1988 y 1996). Hasta el presente, el método ha sido utilizado en muchos cultivos como oleaginosas, entre otros (Crossa *et al.*, 1990; Van Eeuwijk, 1995; Marín, 1995; Annicchiarico, 1997; Aulicini *et al.*, 2000; Medina *et al.*, 2002; Marín *et al.*, 2004).

El método AMMI no sólo permite estimar estabilidad, sino, también evaluar localidades y como consecuencia clasificar los ambientes (Crossa *et al.*, 1990). El procedimiento AMMI consiste en combinar las técnicas del análisis de varianza y el análisis de componentes principales (CP) en un solo modelo, donde el análisis de varianza permite estudiar los efectos principales de los genotipos y ambientes y los análisis de CP la interacción G x A la cual es tratada de forma multivariada para su interpretación. Este modelo ha demostrado ser más eficiente que otras técnicas tradicionales de análisis donde es imprescindible discernir en detalle sobre las características de la interacción G x A (Kempton, 1984; Zobel *et al.*, 1988; Nachit *et al.*, 1992; Yan, 1995; Yan *et al.*, 2000).

Con base a lo anterior descrito y considerando que no existe información de investigación en variedades de trigo relacionada con rendimiento, sus componentes y la calidad harinera en estos sistemas de rotación hortalizas-trigo con regímenes de fertilidad residual y fertilización comercial, se realizó esta investigación con el objeto de evaluar la estabilidad de rendimiento de variedades comerciales de trigo Cachanilla F-2000, Yécora F-70 y Triguénio F-00, en Valle de Mexicali, Baja California, bajo cuatro ambientes de prueba, determinando la magnitud y naturaleza de la interacción G x A. y evaluando la estabilidad del rendimiento, usando el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI), en el periodo 2007-2008.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción de las localidades de los experimentos

Los experimentos se realizaron durante dos años consecutivos, en el ciclo otoño-invierno del año 2007-08, en terrenos de un agricultor cooperante del Ejido Mezquital que se localiza en el Valle de Mexicali, Baja California, México, a una latitud norte de  $32^{\circ} 24' 40''$  y  $115^{\circ} 11' 46''$  de longitud oeste. 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 *et al.*, 1985).

### Arreglo de tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos del presente experimento fueron el uso de la fertilidad residual proveniente de un cultivo anterior (cebollín), y el otro fue la utilización de la fertilidad residual más fertilización comercial. La fertilidad residual más fertilización comercial fue ajustada de acuerdo a las recomendaciones para este cultivo de acuerdo a las recomendaciones 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 Trigueno F-00 (TR).

La siembra se hizo en surcos con una densidad de (40 kg ha<sup>-1</sup>) en cada año. El diseño experimental fue bloques completos al azar y cuatro repeticiones. El factor de bloqueo fue la heterogeneidad del suelo.

En los ciclos 2007-08 y 2008-09 previo a la siembra, se realizaron análisis de suelos en cada una de las 24 parcelas. Las muestras se obtuvieron a una profundidad de 30 cm de tres puntos de cada parcela, se obtuvo un promedio por parcela y éstos se utilizaron para obtener un promedio general del área del experimento 1. Se obtuvo un promedio de 147 kg de N ha<sup>-1</sup> y 27 kg de P<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. Estos valores se consideraron como fertilidad residual (FR).

La FR consistió en la no adición de fertilizante N y 29 kg de P<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> durante el periodo de desarrollo del cultivo, mientras que la FR+FC consistió en la adición de 185 kg de N ha<sup>-1</sup> y de 29 kg de P<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. Así, el tratamiento de FR tuvo una fertilización de 147-56-00, N, P y K, respectivamente, mientras que el tratamiento FR+FC tuvo una fertilización de 332-56-00, N, P y K, respectivamente.

La fuente de P<sub>2</sub>O 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). La fuente de N utilizada fue UAN-32 y fue 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 ó sub fase 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 75.0%) y “Buffex”, regulador del pH y dureza del agua a 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.

### Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: Rendimiento de grano (RG) en Kg ha<sup>-1</sup> y sus componentes: Rendimiento de paja (RP) en Kg ha<sup>-1</sup>, Panza blanca (PB), Peso hectolítrito (PH) en Kg hL<sup>-1</sup>, (5) Índice de cosecha (IC), (6) Proteína en grano (PG) en %, y calidad harinera: Fuerza de gluten (W) y  $(W = R \times 10^{-4} J)$ , donde R= Valor cuantitativo y J= Joules, y , 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 estadístico de los resultados

Se realizaron análisis de varianza de bloques completos al azar para estudiar el efecto de la interacción para las diferentes variables agronómicas (Cuadro 1), adicionalmente se corrieron contrastes ortogonales para evaluar posibles diferencias entre los genotipos para las variables: rendimiento de grano, sus componentes (panza blanca, peso hectolítrico, índice de cosecha, rendimiento de paja) y calidad harinera (Fuerza de gluten): contraste 1a: (C vs Y+TR) y el contraste 1b: (Y vs TR) para el rendimiento del grano, panza blanca, peso hectolítrico, índice de cosecha, rendimiento de paja, respectivamente. El contraste 2a: (YR vs C+Y) y el contraste 2b: (C vs Y) para proteína en grano, fuerza de gluten en los dos años y con los tratamientos con FR y FR+FC. Estos análisis se realizaron con un nivel de significancia de 0.05 utilizando el programa SAS (SAS, 2000).

## Análisis estadísticos para evaluar parámetros de estabilidad

Para los análisis de estabilidad fenotípica se utilizó el Modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (Modelo AMMI), el cual explica inicialmente los efectos principales de genotipos y ambientes mediante un análisis de varianza convencional y posteriormente describe la parte no aditiva correspondiente a la interacción genotipo x ambiente por medio de un análisis multivariado de componentes principales (CPI, CP2, CPn) (Crossa, 1990). A partir del primer componente principal y el resto de los componentes, en caso de representar un porcentaje aceptable de la interacción (60%), es posible generar un Figura (biplot) con el programa infogen y representar las similitudes de genotipos o de ambientes.

El modelo AMMI está representado por la ecuación (Zobel *et al.*, 1998)

$$Y_{ij} = \mu + G_i + a_j + \sum_{k=1}^k \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = es el rendimiento del i-ésimo genotipo en el j-ésimo ambiente

Los parámetros aditivos son:  $\mu$  = media general;  $G_i$  = Efecto del i-ésimo genotipo;  $a_j$  = Efecto del j-ésimo ambiente;  $\lambda_k$  = Valor propio del componente principal K;  $\alpha_{ik} * \gamma_{jk}$  = Valor del componente principal k de genotipo y localidad

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental

Para la representación gráfica del CPI en función de un variable se utilizaron las siguientes abreviaciones: (C)= Genotipo Cachanilla F-2000, (Y)= Genotipo Yécora F-70, (TR)= Genotipo Triguénio F-00, A= Fertilidad residual- 2007, B= Fertilidad residual+ Fertilización comercial-2007, C= Fertilidad residual - 2008 y D= Fertilidad residual+ Fertilización comercial -2008.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Análisis de varianza combinado

La Interacción genotipo x Ambiente (IGA), resultó altamente significativa ( $P < 0.01$ ) para las variables rendimiento de grano, sus componentes y calidad harinera, las cuales fueron evaluadas en cuatro ambientes de prueba durante dos años. Estos resultados demuestran que los genotipos tienen un comportamiento desigual en los diferentes ambientes probados (Cuadro 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, obteniendo diferencias entre las líneas estudiadas, localidades y para la interacción línea por localidad. Estos mismos resultados concuerdan con lo obtenido por Gleenys *et al.* (2006), quienes estudiaron la IGA en 16 híbridos experimentales de maíz de grano blanco, en varios ambientes del estado Yaracuy, Venezuela, en el período 2000-2001, logrando 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 componentes de rendimiento en cuatro ambientes del valle de México, donde la IGA fue significativa para el rendimiento del grano. Estos mismo resultados coinciden con los obtenidos por 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 obteniendo que la IGA fue significativa para la mayoría de las variables, pero para el rendimiento de tortilla fría un híbrido respondió diferente a los ambientes debido a sus características genéticas particulares y por su respuesta en cada año agrícola. Estos mismos autores también observaron significancia en la IGA al evaluar el índice de floración del grano en 10 genotipos de maíz en dos ambientes.

### Comparación de medias entre genotipos

#### Rendimiento de grano

No se encontraron diferencias ( $P > 0.05$ ) entre el genotipo (C) con respecto a (Y) y (TR) (7721.9, 7600, 7251.3 Kg ha<sup>-1</sup> respectivamente), ni entre los genotipos (Y) y (TR) ( $P > 0.05$ ) (Cuadro 2). Estos mismo resultados concuerdan con los obtenidos por Syed *et al.* (2007), quienes evaluaron el análisis de estabilidad del trigo en pre y post anthesis bajo condiciones de estrés hídrico, los resultados indican que no se encontraron diferencias significativas entre el genotipo Rawal-87 y Potohar-93.

#### Rendimiento de paja

Se encontraron diferencias entre el genotipo (C) con respecto a (Y) y (TR) ( $P < 0.05$ ), mientras que entre el genotipo (Y) y (TR) no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ; Cuadro 2). Estos resultados se deben principalmente a que el genotipo (C) es un genotipo de porte alto, es decir, presentó el rendimiento promedio más alto de 9848.5 Kg ha<sup>-1</sup>, en el caso de (Y) es un genotipo clasificado como triple enano (tres genes para enanismo) y presentó un rendimiento promedio menor de 8624.8 Kg ha<sup>-1</sup>, siendo similar a (TR) (Cuadro 5).

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

Fuente	RG Kg ha <sup>-1</sup>	RP Kg ha <sup>-1</sup>	PB (X+1) <sup>1/2</sup>	PH Kg hL <sup>-1</sup>	IC	PG (X) <sup>1/2</sup>	W Joules
Genotipo x Ambiente	26327329.4* *	6699574.7**	4.84**	1119.6**		0.008357**	0.0552**
CV (%)	11.13	7.91	50.85	16.17		7.73	1.58
R <sup>2</sup>	0.92	0.98	0.75	0.74		0.68	0.86

\*Significativo (P= 0.01); \*\*Altamente significativo (P= 0.0001); C.V.=Coeficiente de variación;

R<sup>2</sup>=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.

### Panza blanca

Se encontraron diferencias (P<0.05) entre el genotipo (C) con respecto a (Y) y (TR), mientras que entre el genotipo (Y) y (TR) no se encontraron diferencias (P>0.05) (Cuadro 2). La media más alta de panza blanca fue observada en el genotipo (C), mientras que en (Y) y (TR) fue similar (P>0.05) (2.31, 0.85 y 0.82 % respectivamente), lo que se puede atribuir a que el genotipo (C) tuvo también un mayor rendimiento de grano que los demás genotipos, por lo que tiene mayores necesidades de absorción de nitrógeno por su porte alto y, por ende, contiene menor contenido de proteína que (Y) y (TR) (11.4, 12.1 y 12.5% respectivamente). Se ha demostrado que el carácter de panza blanca está fuertemente asociado con una disminución del contenido de proteína en el grano (Robinson *et al.*, 1977; Solís *et al.*, 2001). También se reconoce que su expresión es debido a factores genético-ambientales (Sivori, 1980; Valenzuela, 1990).

Por otro lado, Sivori (1980) indica que si el tiempo de maduración de la semilla se prolonga más allá de lo normal por efecto de bajas temperaturas y alta humedad relativa, la planta no asimila suficiente nitrógeno, lo que eleva el contenido de hidratos de carbono y disminuye la proteína.

### Peso hectolítrico

No se encontraron diferencias significativas (P>0.05) entre el genotipo (C) con respecto a (Y) y (TR), ni tampoco entre (Y) y (TR) (Cuadro 2). El genotipo (C) presentó media similares a (Y) y (TR), siendo de 80, 80, 79 Kg hL<sup>-1</sup> respectivamente, lo que significa que los genotipos tienen la capacidad de absorber la misma cantidad de agua para el llenado del grano. Valenzuela y Martínez (1992) encontraron un alto grado de asociación entre el peso de 1000 semillas y el peso hectolítrico, así también, observaron que el endospermo aumenta conforme aumenta el peso hectolítrico en diferentes fechas de siembra. Estos

mismos autores encontraron que la disminución, se debe a las temperaturas máximas (32<sup>0</sup>C) que se presentan durante el periodo de floración-madurez fisiológica, lo cual repercute en el tamaño y peso de la semilla. Por consiguiente ellos recomiendan que la mejor época de siembra para producir semilla en donde la calidad sea menos afectada es durante el mes de diciembre. Es decir, las temperaturas de estas épocas otoño- invierno muestran condiciones más favorables para el desarrollo de las variedades de esta región.

### Índice de cosecha

Se encontraron diferencias significativas (P<0.05) entre el genotipo (C) con respecto a (Y) y (TR), mientras que entre genotipo (Y) y (TR) no se encontraron diferencias significativas (P>0.05) (Cuadro 2). Estos resultados se deben principalmente a que el genotipo (C) es de porte alto, es decir, tiene mayor rendimiento de paja (9848.5 Kg ha<sup>-1</sup>) y mayor rendimiento de grano (7721.9 Kg ha<sup>-1</sup>) con un índice de cosecha de 0.45. Se ha observado que las plantas de trigo desarrollan una estructura de hojas y tallos muy grande en relación al rendimiento de grano y que hay un desequilibrio entre el período de crecimiento vegetativo y el de madurez de los granos (Singh y Stoskopf, 1971). Caso contrario para el genotipo (Y) que es clasificado como triple enano (tres genes para enanismo), su porte es pequeño, es decir, presenta menor media de rendimiento de paja respecto a (C), 8624.8 Kg ha<sup>-1</sup>, y con índice de cosecha de 0.47, no obstante tiene un comportamiento similar con (TR) con índice de cosecha de 0.48. Los índices de cosecha con valores mayores a 0.5 indican una mayor eficiencia de absorción de nitrógeno para el rendimiento de grano, lo que se debe principalmente a que las plantas tienen una mayor capacidad fotosintetizadora, con una mayor distribución de la asimilación en los granos y una menor en la paja (hojas y tallos) (Barriga, 1974). Los índices de cosecha menores a 0.5 indican mayores necesidades de nitrógeno para el rendimiento de grano. Syme (1970) y

1972) encontró una alta correlación entre el índice de cosecha y peso seco del grano (rendimiento).

### Proteína en grano

Se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), entre el genotipo (TR) con respecto a (C) y (Y), y entre el genotipo (C) con respecto a (Y) (Cuadro 2). La variedad (TR) presenta mayor porcentaje de proteína con respecto a (C) y (Y) (12.5, 11.4, 12.1 % respectivamente). En relación a esta variable, Kramer (1979) define que la variación en el contenido de proteína no solo se debe al genotipo, también a la influencia ambiental (fertilización nitrogenada, densidad de siembra, método de siembra, entre otros).

### Fuerza de gluten

Se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre el genotipo (TR) con respecto a (C) y (Y), mientras que entre el genotipo (C) con respecto a (Y) no encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) (Cuadro 2). Esto resultados indican que el genotipo (C) presentó menor fuerza de gluten que (Y) y (TR) (338.8, 367.8 y 436.8  $\times 10^{-4}$  J respectivamente), y con un porcentaje de proteína de 11.4, 12.1 y 12.5% respectivamente. Esto se debe a las variaciones en el

contenido total de proteína y las variaciones del contenido de gluten, en consecuencia, por eso a mayor cantidad y calidad de proteína mayor será la fuerza del gluten, siendo un parámetro de calidad importante para la comercialización (Mohan y Martino, 1997).

### Modelo AMMI para rendimiento de grano y sus componentes

Los materiales experimentales (C), (Y) y (TR) son formados en ocasiones en ambientes muy particulares, que requieren probarse bajo las diferentes condiciones de manejo que prevalecen en una región antes de ser liberados para su explotación comercial, así como la selección de aquellos que muestren un mayor potencial de rendimiento y calidad bajo esas condiciones. Es necesario demostrar la estabilidad de producción de estas variedades en diferentes ambientes de prueba. Efectos significativos para IGA justifican la continuidad del análisis para determinar su interacción en el comportamiento de las diferentes variedades a través de ambientes.

En base a lo anterior, una de las metodologías más utilizadas actualmente para medir la estabilidad es el modelo AMMI se discute a continuación.

Cuadro 2. Comparación de medias para rendimiento de grano, sus componentes y calidad en tres genotipos de trigo de gluten fuerte durante los años 2007 y 2008.

Variables de estudio	Genotipos			Contrastes y valor de P		
	(C)	(Y)	(TR)	(C) vs (Y)+(TR)	(Y) vs (TR)	DE
<b>RG</b>	7721.9	7600.0	7251.3	0.25	0.25	837.64
<b>RP</b>	9848.5	9848.5	9848.5	<0.01	0.53	711.07
<b>PB</b>	2.31	0.85	0.82	0.05	0.96	0.77
<b>PH</b>	80	80	79	0.58	0.34	0.37
<b>IC</b>	0.45	0.47	0.48	0.04	0.91	0.036
<b>PG</b>	11.4	12.11	12.5	<0.01	<0.01	0.05
<b>W</b>	338.8	367.8	436.8	0.87	<0.01	34.56

(C)= Cachanilla F-2000; (Y)= Yécora F-70; (TR)= Triguénio F-00; RG=Rendimiento de grano Kg ha<sup>-1</sup>; DE= Desviación estándar

RP= Rendimiento de paja Kg ha<sup>-1</sup>; PB= Panza blanca (%); PH= Peso hectolítrico Kg hL<sup>-1</sup>; IC= índice de cosecha; PG= Proteína en grano (%); W= Fuerza de gluten  $\times 10^{-4}$  J; Contrastes: (C) vs (Y)+(TR)= Cachanilla F-2000 contra Yécora F-70+ Triguénio F-00; (Y) vs (TR)= Yécora F-70 contra Triguénio-F00.

Cuadro 3. Análisis de varianza AMMI en trigos de gluten fuerte bajo fertilidad residual y complementaria durante los ciclos 2007 y 2008.

Fuente	Proteína en grano			Rendimiento de paja Kg ha <sup>-1</sup>			Peso hectolítrico Kg hL <sup>-1</sup>			Rendimiento en grano %			
	gl	SC	CM	%	SC	CM	%	SC	CM	%	SC	CM	%
<b>Modelo</b>	23	0.6514	0.0283**	–	738942608.91	32127939.51	–	13659.10	593.87**	–	297703264.58	12943620.19**	–
<b>Repeticiones</b>	12	0.0441	0.037 <sup>ns</sup>	–	1989406.49	165783.88	–	1343.92	111.99 <sup>ns</sup>	–	9847891.67	820657.64 <sup>ns</sup>	–
<b>Ambientes (A)</b>	3	0.778	0.0259**	–	710383691.41	236794563.81**	–	3532.06	1177.35**	–	277384539.58	92461513**	–
<b>Variedad (G)</b>	2	0.1930	0.0965**	–	18314340.042	9157170.02**	–	2199.09	1099.55*	–	167879.17	83939.58 <sup>ns</sup>	–
<b>G X A</b>	6	0.3364	0.0561**	–	8255170.95	1375861.82	–	6584.03	1097.34**	–	10302954.17	1717159.03*	–
<b>Error</b>	24	0.0650	0.0027	–	14812193	617174.71	–	3355.21	139.80	–	10280033.33	678334.72	–
<b>Total</b>	47	0.7174			753754801.91			17014.31			313983297.92		
<b>Términos AMMI</b>													
<b>G X A</b>	6	0.3364	0.0561**	–	8255170.95	1375861.82 <sup>ns</sup>	–	6584.03	1097.34**	–	10302954.17	1717159.03*	–
<b>CP1</b>	4	0.3349	0.0837**	99.5	5856191.94	1464047.99*	70.94	6561	1640.25**	99.65	10204035.90	255100897*	99.03
<b>CP2</b>	2	0.00156	0.00778	0.5	2398979.02	1199489.5 <sup>ns</sup>	29.06	23.03	11.25 <sup>ns</sup>	0.35	98918.27	49459.13 <sup>ns</sup>	0.97

SM, gl, CM, %, CP1, CP2 =Suma de cuadrados, Grados de libertad, Cuadrados medios, Porcentaje: Componente principal 1, Componente principal 2, respectivamente.\*Significativo (P= 0.01), \*\*Altamente significativo (P= 0.0001), ns=no significativa

El análisis de varianza para el modelo AMMI de las variables estudiadas se presentan en los cuadros 3 y 4, en estos se observa los resultados de la IGA, para RG el cual fue significativo ( $P < 0.05$ ). Estas diferencias se pueden observar en el biplot de la Figura 1. En ésta, el primer componente explica el 99.33 % de la varianza total y el segundo componente mostró el 0.67%, se diferencian cuatro sectores delimitados por líneas con círculos de color amarillo, lo que representa a un ambiente. En los vértices del polígono se ubican los genotipos con mayor interacción y éstos se muestran con círculos de color negro, por lo tanto, mayor adaptación específica a los ambientes del sector correspondiente. Así, en el sector superior se ubica el ambiente C y D donde se destaca el genotipo (Y), en el sector izquierdo los ambientes en los que se encuentran C y B con el genotipo (TR) como el más adaptado; en el sector inferior se ubica el ambiente D y A con el genotipo (C) como el más adaptado. Así, los genotipos más estables son los que se encuentran más cercanos al origen, y al alejarse de éste su comportamiento es más variable. El genotipo más estable fue (C) en el ambiente D. Respecto a los componentes principales, se puede observar que (Y) y (TR) se encuentra en posición opuesta en relación con el CP2.

Para RP, la IGA fue significativa ( $P > 0.05$ ). Esta interacción se puede observar en el biplot de la figura 2. En ésta el primer componente representó el 70.94% de la varianza total y el segundo componente representó el 29.06%; se diferencian cuatro sectores delimitados por líneas con círculos de color amarillo, lo que representa a un ambiente. En los vértices del polígono se ubican los genotipos con mayor interacción y éstos se muestran con círculos de color negro, por lo tanto, mayor adaptación específica a los

ambientes del sector correspondiente. Así, en el sector superior se ubica el ambiente A donde se destaca el genotipo (TR), en el sector izquierdo los ambientes en los que se encuentran C y D con el genotipo (C) como el más adaptado; en el sector inferior se ubica el ambiente B y D con el genotipo (Y) como el más adaptado. El genotipo más estable fue (Y) en el ambiente B. Respecto a los componentes principales, se puede observar que (Y) y (TR) se encuentra en posición opuesta en relación con el CP1; (TR) y (C) tuvieron comportamiento similar con referencia a CP1.

Para PB la IGA fue significativa ( $P < 0.05$ ). Estas diferencias se aprecian en el biplot de la Figura 3. En ésta el primer componente representó el 88.3% de la varianza total y el segundo componente el 11.69%; se diferencian cuatro sectores delimitados por líneas con círculos de color amarillo, lo que representa a un ambiente. En los vértices del polígono se ubican los genotipos con mayor interacción y éstos se muestran con círculos de color negro, por lo tanto, mayor adaptación específica a los ambientes del sector correspondiente. Así, en el sector superior se ubica el ambiente A donde se destaca el genotipo (C), en el sector izquierdo los ambientes en los que se encuentran C y D con el genotipo (TR) como el más adaptado; en el sector inferior se ubica el ambiente B con el genotipo (Y) como el más adaptado. Así los genotipos más estables son los que se encuentran más cercanos al origen, y al alejarse de éste su comportamiento es más variables. El genotipo más estable fue (Y) en el ambiente B. Respecto a los componentes principales, se puede observar que (Y) y (C) se encuentra en posición opuesta en relación con el CP2; (TR) y (C) tuvieron comportamiento similar con referencia a CP1.

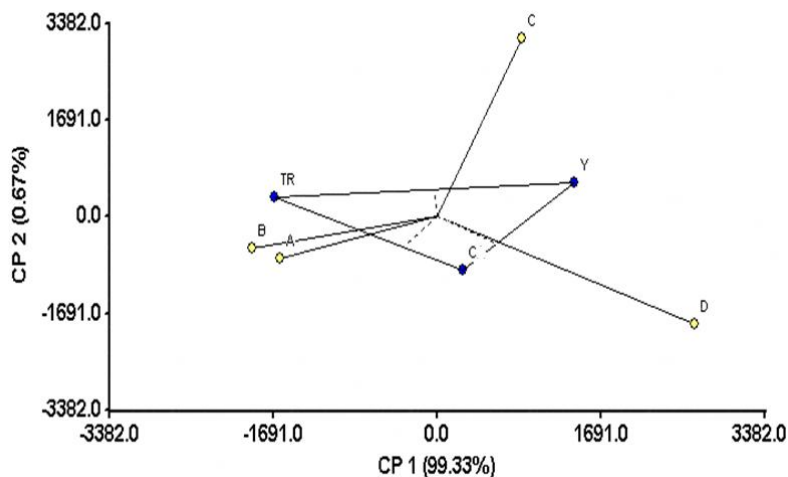


Figura 1. Representación gráfica de la asociación de los genotipos con los ambientes particulares respecto a los dos primeros ejes de componentes principales del análisis AMMI de rendimiento de grano evaluados en cuatro ambientes.



Cuadro 4. Análisis de varianza AMMI en trigos de gluten fuerte bajo fertilidad residual y complementaria durante los ciclos 2007 y 2008.

Fuente	gl	Panza Blanca			Índice de cosecha			Fuerza de gluten Joules		
		SC	CM	%	SC	CM	%	SC	CM	%
<b>Modelo</b>	2 3	72.54	3.15*	—	0.1026	0.0044*	—	150225.0 0	6531.52**	—
<b>Repeticiones</b>	1 2 3	19.705	1.6421**	—	0.0107 2	0.0009 <sup>ns</sup>	—	29562.83	2463.57*	—
<b>Ambientes (A)</b>	3 8	45.239	15.6421*	—	0.0649	0.0217*	—	16062.50	5354.17*	—
<b>Variedad (G)</b>	2	2.2562	1.1281*	—	0.0055	0.0027 <sup>ns</sup>	—	55893.04	27946.52*	—
<b>G X A</b>	6	4.6161	0.7693*	—	0.0214	0.0036*	—	48706.63	8117.77**	—
<b>Error</b>	2 4	4.11	0.178	—	0.0334	0.0013	—	25459.67	1060.82**	—
<b>Total</b>	4 7	76.65			0.1361			175684.6 7		
<b>G X A</b>	6	4.6161	0.7693*	—	0.0214	0.0036*	—	48706.63	8117.77	—
<b>CP1</b>	4	4.0522	1.0131 <sup>ns</sup>	88.3	0.0165	0.0041*	77.1	46399.29	11599.82	95.26
<b>CP2</b>	2	0.5362	0.2681 <sup>ns</sup>	11.6	0.0049	0.0024 <sup>ns</sup>	22.8	2307.33	1153.67	4.74

SM, gl, CM, %, ACP1, ACP2 =Suma de cuadrados, Grados de libertad, Cuadrados medios, Porcentaje de Componente principal 1, Componente principal 2, respectivamente.\*Significativo (P= 0.01), \*\*Altamente significativo (P= 0.0001), ns=no significativa

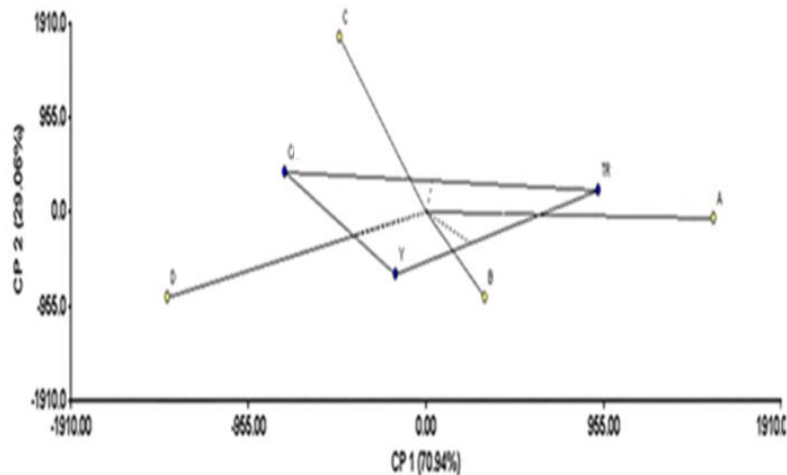


Figura 2. Representación gráfica de la asociación de los genotipos con los ambientes particulares respecto a los dos primeros ejes de componentes principales del análisis AMMI de rendimiento de paja evaluados en cuatro ambientes.

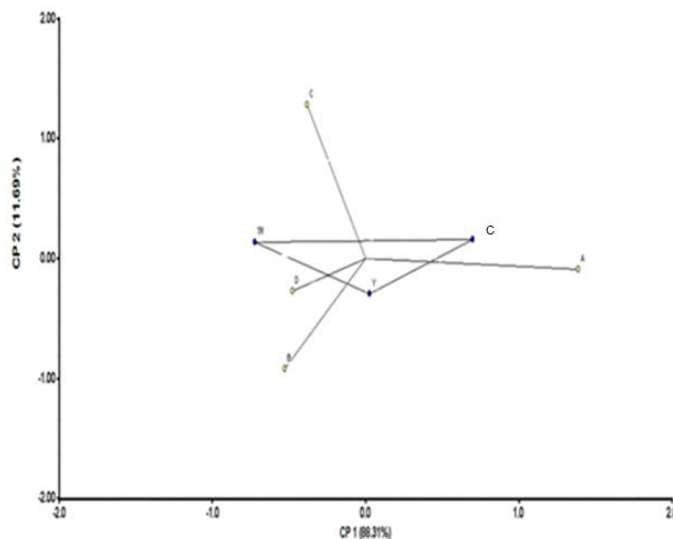


Figura 3. Representación gráfica de la asociación de los genotipos con los ambientes particulares respecto a los dos primeros ejes de componentes principales del análisis AMMI de panza blanca evaluados en cuatro ambientes.

Para PH la IGA fue significativo ( $P < 0.05$ ). Estas diferencias se pueden observar en el biplot de la Figura 4. En ésta el primer componente representó el 99.65% de la varianza total y el segundo componente representó el 0.35%; se diferencian cuatro sectores delimitados por líneas con círculos de color amarillo, lo que representa a un ambiente. En los vértices del polígono se ubican los genotipos con mayor interacción y éstos se muestran con círculos de color negro, por lo tanto, mayor adaptación específica a los ambientes del sector correspondiente. Así, en el sector superior se ubica el ambiente C donde se destaca el genotipo (Y) como el más adaptado, en el sector izquierdo los ambientes en los que se encuentran A y B con el genotipo (C) como el más adaptado; en el sector inferior se ubica el ambiente C con el genotipo (C) como el más adaptado. Así los genotipos más estables son los que se encuentran más cercanos al origen, y al alejarse de éste su comportamiento es más variables. Los genotipo más estable fue (Y) y TR en el ambiente C. Respecto a los componentes principales, se puede observar que (Y) y (TR) se encuentra en posición opuesta en relación con el CPI, tuvieron un comportamiento similar.

Para IC la IGA fue significativo ( $P < 0.05$ ). Estas diferencias se pueden observar en el biplot de la Figura 5. En ésta el primer componente representó el 77.11% de la varianza total y el segundo componente representó el 22.89%; se diferencian cuatro sectores delimitados por líneas con círculos de color amarillo, lo que representa a un ambiente. En los vértices del polígono se ubican los genotipos con mayor interacción y éstos se muestran con círculos de color negro, por lo tanto, mayor adaptación específica a los ambientes del sector correspondiente. Así, en el sector superior se ubica el ambiente A y D donde se destaca

el genotipo (C), en el sector izquierdo los ambientes en los que se encuentran A y B con el genotipo (TR) como el más adaptado. Los genotipo más estable fueron (Y), (C) y (TR) en el ambiente C, A y B respectivamente. Respecto a los componentes principales, se puede observar que (Y) se encuentra en posición opuesta en relación con el CP2; (TR) y (C) tuvieron comportamiento similar con referencia a CP2.

Para PG la IGA fue significativo ( $P < 0.05$ ). Estas diferencias se pueden observar en el biplot de la figura 6. En ésta el primer componente representó el 99.5% de la varianza total y el segundo componente representó el 0.5%; se diferencian cuatro sectores delimitados por líneas con círculos de color amarillo, lo que representa a un ambiente. En los vértices del polígono se ubican los genotipos con mayor interacción y éstos se muestran con círculos de color negro, por lo tanto, mayor adaptación específica a los ambientes del sector correspondiente. Así, en el sector superior se ubica el ambiente A donde se destaca el genotipo (Y), en el sector izquierdo los ambientes en los que se encuentran A y B con el genotipo (TR) como el más adaptado; en el sector inferior se ubica el ambiente C con el genotipo (C) como el más adaptado. Así los genotipos más estables son los que se encuentran más cercanos al origen, y al alejarse de éste su comportamiento es más variables. El genotipo más estable fue (Y) en el ambiente A. Respecto a los componentes principales, se puede observar que (Y) y (TR) se encuentra en posición opuesta en relación con el CPI; (Y) y (C) tuvieron comportamiento similar con referencia a CP2.

Para W la IGA fue significativo ( $P < 0.05$ ). Estas diferencias se pueden observar en el biplot de la Figura 7. En ésta el primer componente representó el

99.26% de la varianza total y el segundo componente representó el 4.73%; se diferencian cuatro sectores delimitados por líneas con círculos de color amarillo, lo que representa a un ambiente. En los vértices del polígono se ubican los genotipos con mayor interacción y éstos se muestran con círculos de color negro, por lo tanto, mayor adaptación específica a los ambientes del sector correspondiente. Así, en el sector superior se ubica el ambiente C donde se destaca el

genotipo (C), en el sector izquierdo los ambientes en los que se encuentran A y B con el genotipo (TR) como el más adaptado; en el sector inferior se ubica el ambiente A con el genotipo (Y) como el más adaptado. El genotipo más estable fue (Y) en el ambiente A. Respecto a los componentes principales, se puede observar que (C) y (TR) se encuentra en posición opuesta en relación con el CP2; (Y) y (TR) tuvieron comportamiento similar con referencia a CP2

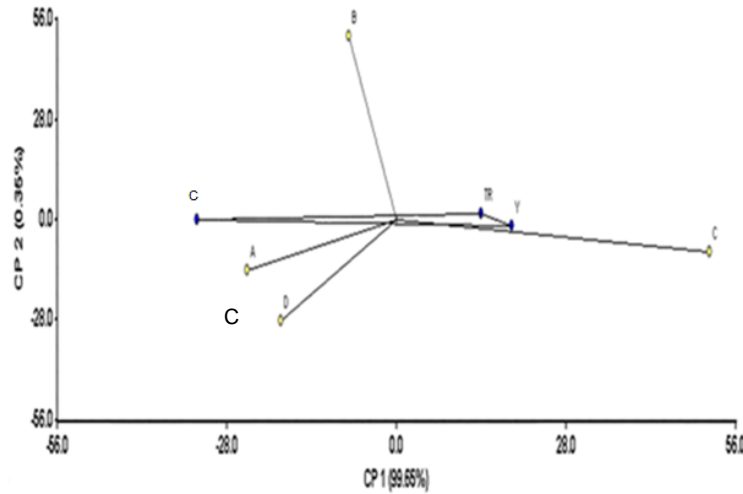


Figura 4. Representación gráfica de la asociación de los genotipos con los ambientes particulares respecto a los dos primeros ejes de componentes principales del análisis AMMI de peso hectolítrico evaluados en cuatro ambientes.

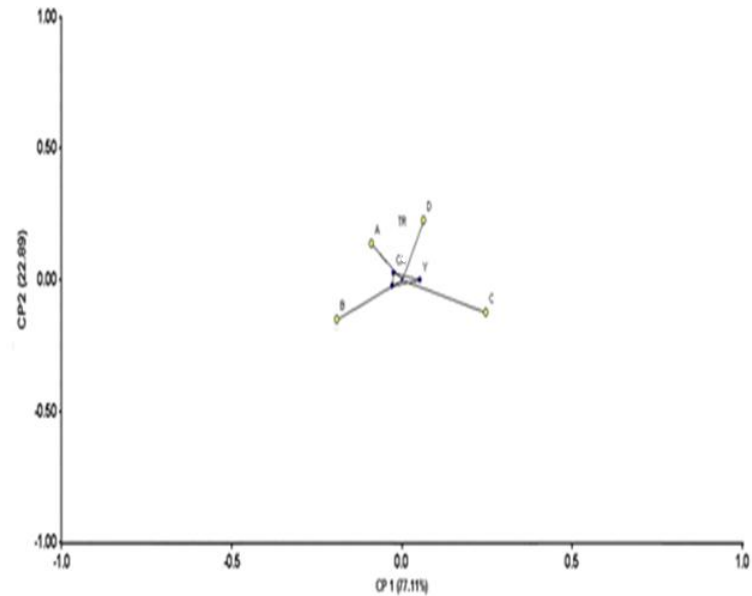


Figura 5. Representación gráfica de la asociación de los genotipos con los ambientes particulares respecto a los dos primeros ejes de componentes principales del análisis AMMI de índice de cosecha evaluados en cuatro ambientes.

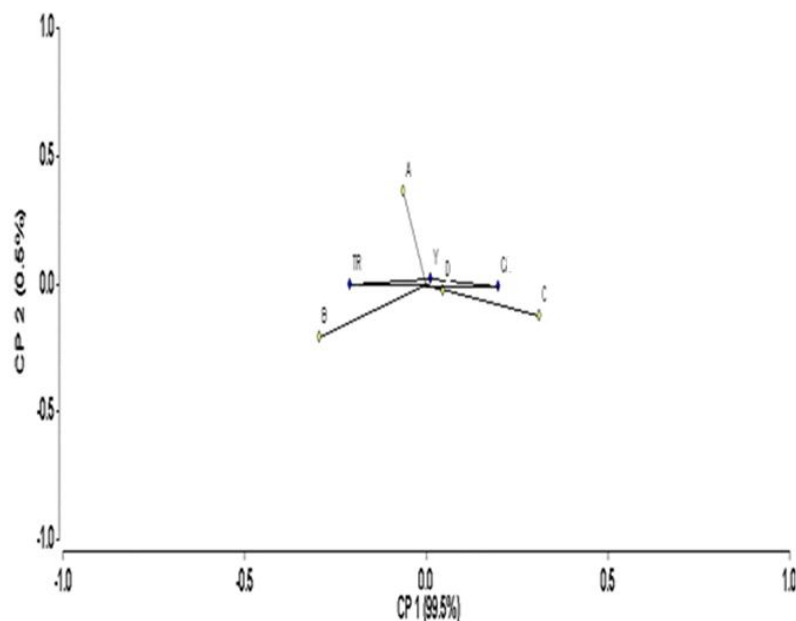


Figura 6. Representación gráfica de la asociación de los genotipos con los ambientes particulares respecto a los primeros ejes de componentes principales del análisis AMMI de proteína en grano evaluados en cuatro ambientes.

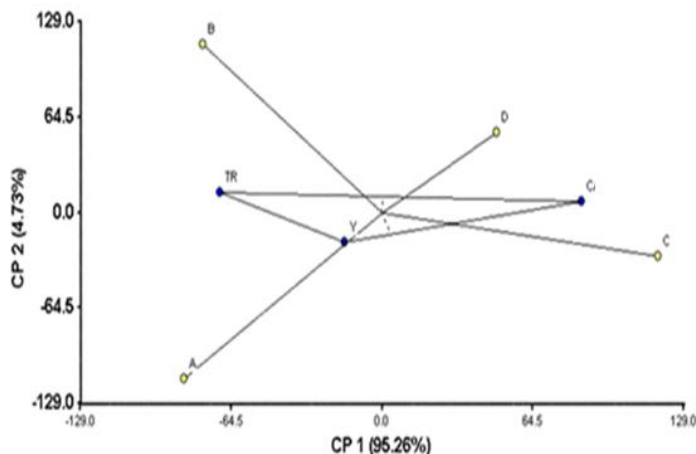


Figura 7. Representación gráfica de la asociación de los genotipos con los ambientes particulares respecto a los primeros ejes de componentes principales del análisis AMMI de fuerza de gluten evaluados en cuatro ambientes.

### CONCLUSIONES

La interacción Genotipo x Ambiente resultó altamente significativa para las variables rendimiento de grano, sus componentes y calidad harinera evaluadas en cuatro ambientes. En el rendimiento de grano y peso hectolítrico no se encontraron diferencias entre los genotipos (C) con respecto a (Y) y (TR) (7721.9, 7600, 7251.3 Kg ha<sup>-1</sup> y 80, 80, 79 Kg hL<sup>-1</sup>, respectivamente), ni entre los genotipos (Y) y (TR). En el rendimiento de paja y panza blanca, el genotipo (C) tuvo mayor rendimiento y porcentaje de panza blanca (9848.5 Kg ha<sup>-1</sup> y 2.31%, respectivamente) con respecto a (Y) y (TR), mientras que los genotipos (Y)

y (TR) fueron similares (8624.8 Kg ha<sup>-1</sup> y 0.85%; 8463.8 Kg ha<sup>-1</sup> y 0.82%, respectivamente). El índice de cosecha fue menor en el genotipo (C) (0.45) con respecto a (Y) y (TR), mientras que los genotipos (Y) y (TR) fueron similares para esta variable (0.4, 0.48, respectivamente). El genotipo (TR) presentó mayor porcentaje de proteína en grano y fuerza de gluten (12.5% y 436.8 x 10<sup>-4</sup> J) con respecto a (Y) y (C). Además, (Y) fue mayor a (C) (12.1% y 367.8 x 10<sup>-4</sup> J; 11.4% y 338.8 x 10<sup>-4</sup> J, respectivamente). Con el modelo de AMMI, los genotipos (C), (Y) y (TR) no resultó ser más efectivo para caracterizar la respuesta de los genotipos. No todas las variables de rendimiento de grano, sus componentes y fuerza de gluten pudieron

ser evaluadas con el mismo modelo. Por lo tanto, en base a estas diferencias es necesario evaluar otros modelos que proporcionen mayor información tales como la metodología de la varianza de estabilidad de Shukla, Lin y Binns, regresión de Finlay y Wilkinson, índices de Eskridge, entre otros.

### AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por brindarme la oportunidad mediante el otorgamiento de una beca para la realización de los estudios de doctorado. Al Instituto de Ciencias Agrícolas, por brindar la oportunidad de apoyar los estudios y brindar recursos humanos con excelencia académica. Al Ph. D. Mike Giroux. por la oportunidad para realizar una estancia de investigación en Plant Science Department of Montana State University.

### REFERENCIAS

- Allard, L. W. 1999. Principles of Plant Breeding. John Wiley and Sons. New York. 254pp.
- Allard, R. W. 1960. Principles of plant breeding. John Wiley and Sons. New York.
- Allard, R. W., y A.D. Bradshaw. 1964. Implications of genotype environment interactions in applied plant breeding. *Crop Science*. 4:503-508.
- Annicchiarico, P. 1997. Joint regression vs. AMMI analysis of genotype-environment interactions for cereals in Italy. *Euphytica*. 94(1):53-62.
- Aulicinio, M., F. Laos, M. Arturi, A. Suárez Y C. Greco. 2000. Análisis de la interacción genotipo – ambiente para rendimiento forrajero en cebadilla criolla. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.* 15(3):169-180.
- Avendaño, R. L., D. Álvarez, A.C. Calderón, S. S. Quintero, F. R. Acuña, J. V. Zárate, C.
- Baena, D., J.A. Escobar, y J.E. Muñoz. 1991. Metodologías para determinar la estabilidad y adaptabilidad. Mimeografiado. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias agropecuarias, Palmira. 24p.
- Balbuena, M.A., González, H.A., Rosales. R.E., Domínguez, L.A., Franco, M.O, y Pérez, L.D. 2008. Identificación de genotipos sobresalientes de trigo en el Valle de Toluca. *Agricultura técnica en México*. 43(7):257-262.
- Barriga, B.P. 1974. Índice de cosecha en trigo de primavera. *Agro sur*. 2(1): 153-158.
- Becker, H.C.1981. Correlations among some statistical measures of phenotype stability. *Euphytica*. 30:835-840.
- Becker, H.C.1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breed.* 101:1-23.
- Canimolt, 2008. Camara nacional de la industria molinera de trigo 3: 1-48.
- Carballo, C. A., y S.F. Márquez. 1970. Comparación de variedades de maíz del Bajío y la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia*. 1:129-146.
- Chaves, L. J. 2001. Interacción genotipo por ambiente. Edición. Lourenço Nass, Afonso Celso Candelaria Valois, Itamar Soares de Melo, María Cléria Valadares Rondonópolis: Fundação MT. 673-713p.
- Crossa, I., H. Gauch And R. Zobel. 1990. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Science*. 30:493-500.
- Crossa, J. 1996. Statistical analyses of multiplication trials. *Advances in Agronomy*.44: 55-85.
- Crossa, J., B. Wescott, y C. González. 1988. Analysing yield stability of maize genotypes using a spatial model. *Theoretical and Applied Genetics*. 75: 863-868.
- Crossa, J., P. N. Fox, W. H. Pfeiffer, S. Rajaram, y H. G. Gauch. 1991. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. *Theoretical and Applied Genetic* . 81:27-37.
- Crossa, J.,H.G. Gauch, y R.W. Zobel. 1990. Addive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Science*. 30: 493-500.
- Cubero, J.I., y F. Flores. 1994. Métodos estadísticos. Para el estudio de la estabilidad varietal en ensayos agrícolas. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla, España. 176p.
- Dyke, G. V., P. W. Lane, y J. F. Jenkyn. 1995. Sensitivity (stability) analysis of multiple variety trials with special reference to data expressed as proportions or percentages, *Exploration. Agricultural*. 31:75-87.
- Eberhart, S. A., y W.A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 6:36-40.
- Eberhart, S.A., y W.A. Russell.1968. Yield and stability for a. 10-line diallel of single-cross and double-cross maize hybrids. *Crop Science*. 9: 357-361.

- Eberhart, S.A., y W.A. Russell. 1970. Factors effecting efficiencies of breeding methods. *Africa Soils*. 15: 655-667.
- Evenson, R.E., y Y. Kislev. 1975. *Agricultural Research and Productivity*, New Haven, CT, Yale University Press.
- Víctor F., S. Segovia, y E. Paterniani. 1985. Estabilidad fenotípica para rendimiento en poblaciones de maíz sometido a la selección para prolificidad. *Agronomía tropical*. 35(1-2):33-41.
- Finlay, K.W., y G.N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*. 14: 742-754.
- Flores, F., T. Moreno And J. Cubero. 1998. A comparison of univariate and multivariate methods to analyze G x E interaction. *Field Crops Res.* 47:117-127.
- Flores y P.H. Robinson. 2007. Evaluación de un sistema de enfriamiento aplicado en el período seco de ganado lechero durante el verano. *Técnica Pecuaria México*. 45(2):209-225.
- Fox, B. A., y A. G. Cameron. 1997. *Ciencia de los alimentos, nutrición y salud*. Primera reimpresión. Editorial Limusa. México. D. F. 122-128p.
- 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.
- Gauch, H. And R. Zobel. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. *Theoretical Applied Genetics*. 79:753-761.
- Gauch, H. And R. Zobel. 1996. AMMI analysis of yield trials. **In:** M.S. Kang y H.G. Gauch. (eds.). *Genotype-by-Environment interaction*. CRC Press, Boca Ratón. pp. 85-122.
- Gauch, H.G., y H. W. Zobel. 1988. Predictive and positive success of statistical analysis of yield trials. *Theoretical and Applied Genetic*. 79: 753-761.
- Gauch, H.G.JR. 1992. *Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs*. Elsevier Science Publisher. B.V. 279pp.
- 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(3):369-384.
- 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(1):31-40.
- Heinrich, G. M., C. A. Francis, y J. D. Eastin. 1983. Stability of grain sorghum yield genotype-environment interaction in durum wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 83(5):597-601.
- Hill, J. 1975. Genotype-environment interactions a challenge for plant breeding. *Journal of Agriculture Science, Cambridge*. 85:477-493.
- Inforural, 2008: [www.inforural.com.mx/noticias.php?&id\\_rubrique=182&id\\_article=29295](http://www.inforural.com.mx/noticias.php?&id_rubrique=182&id_article=29295)
- INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones forestales agrícolas y pecuarias. <http://www.inifap.gob.mx>
- Hanson, W.D. 1970. Genotypic stability. *Theoretical and Applied Genetics*. 40: 226-231.
- JAOAC. 1968. *Journal Association of Official Analytical Chemists*. 51: 766-770.
- Kempton, R. A. 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *Journal of Agricultural Sciences* 103:123-135.
- Kramer, 1979. Environmental and genetic variation for protein content in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica*. 28(2):209-218.
- Laing, D. R. 1978. Adaptabilidad y estabilidad en el comportamiento de plantas de frijol común. Documento presentado en la reunión de discusión sobre viveros internacionales de rendimiento y adaptación de frijol. CIAT. 24p
- León, H.C., y C. Becker. 1988. Repeatability of Some Statistical Measures of Phenotypic Stability - Correlations between Single Year Results and Multi Years Results. *Plant Breeding*. 100 (2): 137-142.
- Lin, C. S., M. R. Binns, y L.P. Lefkovitch. 1986. Stability analysis: where do we stand? *Crop Science*. 26:894-900.
- Lin, C., M. Binns And P. Lefkovitch. 1986. Stability analysis: Where do we stand? *Crop Sci*. 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(2):129-133.
- Lozano, A.J., V.M. Zamora, L. Ibarra, S.A. Rodríguez, C. Lázaro, M.R. Ibarra. 2009. Análisis de la Interacción genotipo-ambiente mediante el modelo AMMI y potencial de producción de Triticales Forrajeros(x *Triticosecale* Wittm). *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*. 25(31): 81-92.
- Magari, R. And M. Kang. 1993. Genotype selection via a new yield stability statistic in maize yield trials. *Euphytica* 70:105-111.
- Marín, 1995. Diseño muestral y análisis de encuestas para evaluar adopción de tecnología de producción de yuca en la costa Atlántica de Colombia. Centro internacional de agricultura tropical (CIAT).
- Marín, C. 1995. Estimación y comparación de parámetros de estabilidad del rendimiento en cultivares de maíz (*Zea mays* L.) con fines de selección y recomendación en función de los ensayos regionales del FONAIAP, año 1992. Trabajo de Grado. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 126 p.
- Marín, C., F. San Vicente Y V. Segovia. 2004. Métodos recientes para el análisis de la interacción genotipo-ambiente en pruebas regionales de cultivares de maíz (*Zea mays* L.). **In:** VI Jornada Científica del Maíz. Maracay (Venezuela). Fasc. 1:6 p.
- Medina, S., C. Marín, V. Segovia, A. Bejarano, Z. Venero, R. Ascanio Y E. Meléndez. 2002. Evaluación de la estabilidad del rendimiento de variedades de maíz en siete localidades de Venezuela. *Agronomía Trop*. 52(3):255-275.
- Mohan, M., K.M. Mohap, y D. Martino.1997. Explorando altos rendimientos de trigo. INIA la estanzuela, Uruguay.
- Mooers, C.A. 1921. The agronomic placement of varieties. *Journal American Society of Agronomy*.13:337-352.
- Nachit M., M., G. Nachit, H. Ketata, H. G. Gauch And R. W. Zobel. 1992. Use of AMMI and linear regression models to analyse
- Nachit, M.N., G. Nachit, H. Ketata, H.G. Gauch, y R.W. Zobel. 1992. Use of AMMI and regression models to analysis genotype-environment interaction in durum wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 83:597-601.
- NMX-FF-036-1996. Productos alimenticios no industrializados, cereales, trigo (*Triticum aestivum* L y *Triticum durum*), especificaciones y métodos de prueba.
- Ortega, A. J., y O.S. Magaña. 1992. PARAM: Sistema de análisis de parámetros de estabilidad. Congreso Nacional de fitogenética. Tuxtla Gutierrez, Chiapas. Resumen. 363.
- Pandey, S., y J.E. Vargas.1985. La interacción fenotipo-medio ambiente y su importancia en el mejoramiento intrapoblacional en las plantas cultivadas. Trabajo presentado en el VII Congreso Latinoamericano de Genética- I Congreso Colombiano de Genética. Mimeografiado. 38p.
- Pérez, J.C., H. Ceballos, E. Ortega, y J. Lenis. 2005. Análisis de la interacción genotipo por ambiente en yuca (*Manihot esculenta* Crantz) usando el modelo AMMI. *Fitotecnia Colombiana*. 5(2):11-19.
- Perkins, J.M., y J.L. Jinks. 1968. Environmental and genotype x environmental components of variability: III multiple lines and crosses. *Heredity*. Edinburgh. 23: 339-356.
- Pla, L. E. 1986. Análisis multivariado: Método de componentes principales. Universidad Nacional Experimental Francisco Miranda. *Crop Science*. 35: 1230-31.
- Pronespres. Programa Nacional de estimaciones de superficie, producción y rendimiento 2007-2008: <http://www.oeidrus-bc.gob.mx/sispro/trigobc/pronespre.html>
- Puertas, M. J. 1992. Genética fundamentos y pespectivas. 1ª Ed. M.C. Graw. Hill, Interamericana de España.
- Rea, R. And O. De Sousa. 2002. Genotype x environment interaction in sugarcane yield trials in the central-western region of Venezuela. *Interciencia* 27:620-624 Cary, NC.USA.
- Riggs, T.J., 1986. Collaborative spring barley trials in europe 1980-1982: analysis of grain yield. *Plant Breeding*. (96):289-303.
- Robinson, F.E., D.W. Cudney, W.F.Lehman.1977. Yellow berry of wheat linked to protein content. *California Agriculture*. 31(3):16-17.
- Serna. S., S.R.O.1996. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales, Editorial AGT S.A. México, D.F.
- Shafii, B., K.A. Mahler, K.M. Pric, y J.F. Pederson. 1992. Genotype x environment interaction effects on winter rapeseed yield and oil content. *Crop Science*, 32:922-927.

- Simmonds, N. W. 1979. Principles of Crop Improvement. Longman. NY. 408 p.
- Sivori, M., and E. Motaldi. 1980. Fisiología Vegetal. Editorial Hemisferio sur. Buenos Aires Argentina.
- Snedecor, G. N., y W.G. Cochran. 1980. Statistical methods. 7th ed. IOWA, State University Press. Ames, IA
- Solís, E., y J.G. Díaz. 2001. Efecto de los factores controlables de la producción sobre el rendimiento y la panza blanca sobre el grano de trigo duro. *Terra Latinoamericana* 19(4):375-383.
- Sprague and Eberhart. 1977. Cor breeding. In. Corn and Corn improvement. Ed. Sprague. G.K. Madison. American Society Agronomy. 305-362.
- Stelling, D.E., y W. Link. 1994. Yield stability in faba beans, *Vicia faba* L. 2. Effect. Of heterozygosity and heterogeneity. *Plant Breed.* 112: 30-39.
- Syed, A. M., A. Rehana, y M. Ghulam. 2007. Yields stability analysis conferring adaptation of wheat to pre-and-post-anthesis drought conditions. *Pak. J. Bot.* 39(5): 1623-1637.
- Thomson, N.J., y R.B. Cunningham. 1979. Genotype x environment interactions and evaluations of cotton cultivars. *Australian Journal of Agriculture Research.* 30: 105-112.
- Van Eeuwijk, F. 1995. Linear and bilinear models for the analysis of multi-environment trials: I. An inventory of models. *Euphytica.* 84:1-7.
- Wallace, D.H., 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. Cinc method Zer Ertussog der Okojogischen Streobrelte in Felder. *Versochen Z. Oflanzenzucht.* 47: 92-96.
- Yan, S. 1995. Regression and AMMI analysis of genotype-environment interaction. An empirical comparison. *Agron. J.* 87:121-126.
- Yan, W. L., A. Hunt, Q. Sheng And Z. Szlavncs. 2000. Cultivars evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. *Crop Sci.* 40:597-605.
- Yan, W., y M.S. Kang. 2003. GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC press. USA, 1-19p.
- Yang, R. And R. Baker. 1991. Genotype – environment interactions in two wheat crosses. *Crop Sci.* 31:83-87.
- Yates, F., y W.C. Cochran. 1938. The analysis of groups of experiments. *Journal of Agricultural science.* 28: 556-580.
- Zadok, J.C., T.T. Chang, y F.C. Konzak. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Res.* 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(7): 124-128.
- Zobel, R., M. Wright And H. Gauch. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agron J.* 80:388-393.
- Zobel, R.W., M.J. Wrigth, M.J. Gauch. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal.* 80:388-393. Zobel, R.W. 1990. A powerful statistical model for understanding genotype-by environment interaction and plant breeding. 126-140. MS Kang ed. Proc. Genotype by environment interaction and plant breeding. Louisiana State University.

*Submitted September 24, 2010 – Accepted December 02, 2010*  
*Revised received January 07, 2011*