

ESTABILIDAD DEL RENDIMIENTO Y POTENCIAL AGRONÓMICO DE CULTIVARES DE MAÍZ DE ENDOSPERMO NORMAL Y QPM EN ZONAS AGROECOLÓGICAS DE VENEZUELA

YIELD STABILITY AND AGRONOMIC POTENTIAL OF MAIZE CULTIVARS WITH NORMAL AND QPM ENDOSPERM IN AGROECOLOGICAL ZONE OF VENEZUELA

Pedro J. García M.*, Samuel R. Cabrera P.*, Alberto A. Pérez C.*, Rubén J. Silva D.***, Rosa M. Álvarez P.*, Carlos A. Marín R.***, Pedro P. Monasterio**** y Mario D. Santella Q.*****

*Investigadores. INIA-Portuguesa. Venezuela. E-mail: pgarcia@inia.gob.ve; pejoga@cantv.net.

Investigador. INIA. Estación Experimental Valle de la Pascua. Estado Guárico. *Investigador INIA-CENIAP. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela. ****Investigador INIA-Yaracuy. San Felipe, estado Yaracuy. Venezuela.

*****Investigador INIA-Monagas. Maturín, estado Monagas. Venezuela.

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio fue determinar la estabilidad del rendimiento y el potencial agronómico de 9 cultivares de maíz, *Zea mays* L., de endospermo normal y un QPM, evaluados en los principales estados productores de Venezuela, utilizando el modelo de efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas (AMMI). Las evaluaciones se hicieron en 8 localidades del país, en el ciclo de lluvias de 2002. Se utilizó el diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones. La unidad experimental consistió de 2 hileras de 5 m de largo, separadas a 0,70 y 0,20 m entre planta. El análisis combinado se efectuó sobre el rendimiento (kg ha^{-1}), considerando un modelo mixto. Una vez detectada la interacción genotipo por ambiente (IGA), se procedió a estimar los parámetros de estabilidad del modelo. El comportamiento agronómico fue evaluado a través de 10 caracteres de planta y de mazorca. Los híbridos Portuguesa-2002, P-30R92 y Portuguesa-2012 resultaron con los rendimientos más altos y mayor consistencia a través de los ambientes. El híbrido INIA-QPM-2 presentó alto potencial de rendimiento y excelentes bondades agronómicas, por lo que puede competir favorablemente con otros híbridos presentes en el mercado nacional de semillas. El potencial productivo y agronómico observado en Turén-2000, sugieren que la misma puede representar una alternativa de producción, principalmente para pequeños y medianos productores del país. El rendimiento de grano no presentó efectos importantes de correlación fenotípica con el resto de caracteres agronómicos estudiados.

Palabras Clave: Maíz; *Zea mays* L.; análisis de estabilidad; modelo AMMI; cultivares.

SUMMARY

The main goal of this study was to determine the yield stability of nine maize, *Zea mays* L., cultivars, both normal and QPM endosperm, evaluated at the main states corn producers of Venezuela, using the additive main effects and multiplicative interactions (AMMI) model. The trials were conducted at 8 locations of Venezuela, during the 2002 rainy season. A randomized complete block design with 4 replications was used. The plot was 2 rows 5.0 m long, 0.70 m between rows and 0.20 m within plants. A combined analysis of variance was performed for yield (kg ha^{-1}) considering a mixed model. When a genotype by environment interaction (GEI) was detected, the stability parameters of the AMMI model were estimated. Ten character, both plant and ear, were used to evaluate the agronomic performance of cultivars. Portuguesa-2002, P-30R92 and Portuguesa-2012 were the hybrids with higher yields and high stability through the locations. The INIA QPM-2 hybrid got high yield and outstanding agronomic performance, which means that it can compete with other hybrids commercialized in the national seed market. The both, productive and agronomic potential observed at the Turén-2000 varieties suggest that it can be an alternative of corn production, mainly for small and intermediate country's farmer. Grain yield did not show important phenotypic correlation effects with others agronomics character studied.

Key Word: Corn; *Zea mays* L.; stability analysis; AMMI model; cultivars.

RECIBIDO: abril 25, 2009

ACEPTADO: agosto 07, 2009

INTRODUCCIÓN

En Venezuela, el maíz, *Zea mays* L., es un cultivo de alto valor estratégico, debido a su distribución geográfica, al papel que desempeña en la alimentación humana y animal, al constituir una de las principales fuentes de carbohidratos y proteínas, que de acuerdo a cifras de la FAO (2004) aporta alrededor del 23% de las calorías en la dieta del venezolano, representando alrededor del 12% de la producción del sub-sector agrícola vegetal, 10% del sector agrícola nacional y un poco más del 55% de la producción de cereales en el ámbito nacional.

La producción es fundamentalmente de maíz blanco, destinado en un 80% a la fabricación de harinas precocidas y el 20% restante al consumo fresco y las empresas que procesan maíz "pilado" (Cabrera y García, 1999).

A pesar de que el maíz se cultiva en casi todo el país, la producción nacional está concentrada principalmente en la región de los Llanos Occidentales (estados Portuguesa, Barinas y parte de Cojedes) con un 50%, Llanos Centrales (estado Guárico) con un 27% y el Valle Medio del Río Yaracuy (estado Yaracuy) con un 6%, lo que significa que más del 80% de la producción de maíz en Venezuela está concentrada en 3 áreas agroecológicas bien definidas, donde se pueden caracterizar los sistemas de producción utilizados por los productores, y utilizando ese basamento, logra evaluar las causas que han determinado su evolución y funcionamiento (Cabrera y García, 2003).

Más del 95% de la superficie de maíz en Venezuela se realiza basados en la utilización de híbridos, aunque en los últimos años se ha observado un aumento de la demanda de variedades de libre polinización, mediante algunos programas impulsados por el gobierno nacional destinados a pequeños productores.

Los altos costos de producción obligan al productor a lograr rentabilidad en el cultivo a través de una mayor productividad, por lo que éstos demandan cultivares que tengan alto potencial genético de rendimiento y muestren adaptabilidad a las condiciones ambientales donde será explotado comercialmente el cultivo. En consecuencia, el éxito de cualquier genotipo depende no sólo de su buen comportamiento con relación al rendimiento y a la tolerancia que muestre a las principales plagas, sino además, del desempeño que muestre en los diferentes ambientes donde sea probado. En este sentido, Córdova (1991) refiere que los programas de mejoramiento genético, nacionales e internacionales, necesitan contemplar dentro de sus objetivos básicos,

la producción de cultivares de maíz con alto potencial de rendimiento, características agronómicas deseables y que respondan bien tanto a ambientes ecológicos favorables como marginales. Esto implica, la necesidad de contemplar en las etapas avanzadas del programa, la evaluación de los genotipos a través de múltiples ambientes, para poder seleccionar los de comportamiento superior. No obstante, Epinat-le *et al.* (2001) refiere que la selección de los genotipos superiores y estables se dificulta, debido a la respuesta genotípica diferencial a condiciones ambientales variables.

Por su parte, Becker (1981) propuso 2 conceptos para la estabilidad fenotípica; el biológico, cuyo ideal es el genotipo de mínima variancia a través de los ambientes, mostrando por ende un rendimiento constante en cualquier condición de producción y agronómico, que representa una mínima interacción genotipo ambiente, asociado a la pretensión de obtener un incremento del rendimiento en respuesta a mejoras ambientales. Desde el punto de vista de la producción agrícola, el concepto de estabilidad agronómica es el que más interesa.

Diversas metodologías han sido empleadas para el estudio de la estabilidad de cultivares en diversos cultivos (Freire *et al.*, 2005; González *et al.*, 2007; Sobreira *et al.*, 2007; Bahrami *et al.*, 2008; Cargnelutti *et al.*, 2008). Dentro de éstas, el modelo de efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas (AMMI), ha sido considerado más eficiente que los modelos convencionales de efectos fijos Zobel *et al.* (1988), debido a diversos atributos, que incluyen: (I) parsimonia, dado que el modelo contiene relativamente pocos de los grados de libertad de la interacción, (II) efectividad, debido a que contiene la mayor parte de la suma de cuadrados de la interacción, con un residual que posee la mayor parte de los grados de libertad, pero con pequeña suma de cuadrados, lo que le proporciona una predicción estadística más precisa y eficiente (Ebdon y Gauch, 2002).

Adicionalmente, Gauch *et al.* (2008) consideran que la razón principal por la cual el modelo AMMI se considera apropiado para la investigación agrícola es que la parte del ANOVA de este modelo permite separar los efectos principales de genotipos y ambientes de los efectos de la interacción con relativa facilidad y adicionalmente, la parte relativa a los componentes principales permite separar la mayor proporción de la variación debida la IGA en los primeros CP's, mientras descarta la proporción de la variación debida al error en los últimos CP's.

De acuerdo a Gauch y Zobel (1996), 2 repeticiones con AMMI son más precisas que 3 a 6 repeticiones sin AMMI. El modelo fue propuesto originalmente por Gollob (1968), quien comparte el mérito con Zobel *et al.* (1988), los cuales acuñaron el término AMMI. Hasta la fecha, el modelo ha pasado por una serie de adecuaciones, hasta llegar a lo que hoy se conoce como gráfica GE. El procedimiento AMMI combina las técnicas del análisis de varianza (ANOVA) y el análisis de CPs en un sólo modelo, donde el ANOVA permite estudiar los efectos principales de genotipos y ambientes, mientras que la interacción es tratada de forma multivariada a través del análisis de los CP (De León *et al.*, 2005; Alejos *et al.*, 2006).

Con los resultados obtenidos en el modelo, es posible generar un gráfico de doble representación denominado "biplot", que tiene la particularidad de ser muy descriptivo para explicar los patrones de respuesta de los efectos principales y de la interacción (Zobel *et al.*, 1988; Crossa, 1990; Crossa *et al.*, 1991). Esta denominación obedece a que en la figura se clasifican los puntos en dos categorías, como por ejemplo, genotipos y ambientes (De León *et al.*, 2005).

El objetivo principal del presente estudio fue determinar la estabilidad del rendimiento, mediante la utilización

del modelo de efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas (AMMI) y evaluar el comportamiento agronómico de 9 cultivares de maíz de endospermo normal y QPM, evaluados en 8 ambientes ubicados en las principales zonas productoras del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo estuvo constituido por 7 potenciales cultivares más 2 testigos (Cuadro 1). Los potenciales cultivares lo integraron 5 híbridos de la serie Portuguesa y la Turen-2000, de endospermo normal, más el híbrido de alta calidad proteica INIA-QPM-2. Los híbridos Cargill-114 y Pioneer-30R92 fueron utilizados como testigos comerciales. Las evaluaciones se llevaron en 8 localidades, ubicadas en los principales estados y municipios productores de maíz en el país, en el ciclo de lluvias de 2002 (Cuadro 2). Se utilizó el diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones. La unidad experimental consistió de 2 hileras de 5 m. de largo, separadas a 0,70 y 0,20 m entre plantas. Se establecieron 2 semillas por punto de siembra y luego se efectuó un raleo aproximadamente a los 20 d de edad del cultivo, dejando sólo una planta por punto de siembra, lo que representó una densidad de población establecida de aproximadamente 71 500 plantas por hectáreas.

CUADRO 1. Cultivares de maíz blanco evaluados en 8 localidades de Venezuela en el ciclo de lluvias de 2002.

Entrada	Cultivar	Descripción
1	PORTUGUESA - 2002	Híbrido de tres líneas de endosperma normal
2	PORTUGUESA - 2004	Híbrido simple de endosperma normal
3	PORTUGUESA - 2012	Híbrido de tres líneas de endosperma normal
4	PORTUGUESA - 2010	Híbrido de tres líneas de endosperma normal
5	PORTUGUESA - 2008	Híbrido de tres líneas de endosperma normal
6	TURÉN - 2000	Variedad de libre polinización de endosperma normal, originada de la población Suwan-9222, (Mezcla Tropical Blanca) del CIMMYT.
7	CARGILL - 114	Testigo comercial
8	PIONEER - 30R92	Testigo comercial
9	INIA - HQPM-2	Híbrido de tres líneas de alta calidad de proteína

CUADRO 2. Localidades, fechas de siembra y ubicación política y geográfica de los ensayos.

Localidades	Fecha de siembra	Estado	Municipio	Latitud (N)	Longitud (W)	m.s.n.m.
1. Agua Blanca	04 /06 /02	Portuguesa	Agua Blanca	09° 32'	69° 6'	196
2. Sabana del Medio	24 /05 /02	Portuguesa	Araure	09° 37'	69° 13'	200
3. Colonia de Turén	28 /05 /02	Portuguesa	Turén	09° 16'	69° 5'	275
4. Las Caramas	05 /06 /02	Portuguesa	Turén	09° 11'	68° 38'	80
5. El Socorro	20 /06 /02	Guárico	El Socorro	09° 00' 37"	65° 37' 17"	165
6. Punta Gorda	30 /05 /02	Barinas	Barinas	08° 32' 43"	70° 08' 32"	180
7. Marfilar	12 /06 /02	Portuguesa	Guanare	08° 55'	69° 41'	130
8. Yaritagua	07 /06 /02	Yaracuy	Peña	10° 04'	69° 07'	375

Diferentes caracteres de planta y de mazorca fueron medidos en cada localidad, lo cual permitió evaluar el comportamiento agronómico de los cultivares: días a floración masculina y femenina (FM y FF, respectivamente) registrados como el número de días transcurridos entre la siembra y el momento cuando el 50% de las plantas en cada unidad experimental presentaron anthesis o estigmas de 2 a 3 cm de largo, respectivamente:

- ◆ Altura de planta (AP) como la longitud (en cm) desde el nivel del suelo hasta el nudo de inserción de la hoja bandera;
- ◆ Altura de mazorca (AM) la longitud (en cm) desde el nivel del suelo hasta el nudo de inserción de la mazorca más alta, utilizando la misma planta en que se midió la AP;
- ◆ Acame de raíz y de tallo (AcR y AcT, respectivamente), registrados como el porcentaje de plantas que al momento de la cosecha presentaron una inclinación superior a 30° respecto a la perpendicular en la base de la planta o tallos rotos por debajo de la mazorca más alta, respectivamente;
- ◆ Cobertura de mazorca (CM), fue el porcentaje de mazorcas con alguna porción de la mazorca expuesta;
- ◆ Mazorcas dañadas (MD) basado en porcentaje de mazorcas con granos visiblemente dañados. Para medir la textura de grano (TG) se consideró una escala de 1 a 5, donde 1 representó granos duros o cristalinos, 2 granos semiduros, 3 semidentados, 4 dentados y 5 harinosos.

- ◆ El rendimiento de grano (RG) fue estimado en función del peso de grano registrado en cada unidad experimental, expresado en kg ha⁻¹, ajustado a 12% de humedad.

Todos los ensayos fueron sembrados y cosechados en forma manual. El manejo agronómico estuvo acorde con las recomendaciones técnicas sugeridas para el cultivo en cada región.

Análisis estadísticos

Los análisis de varianza individuales y combinado fueron realizados basados en la media de cada unidad experimental, utilizando el procedimiento GLM del SAS (SAS Institute, 2002). En la derivación de los cuadrados medios esperados y para la realización de las pruebas de F, los cultivares se consideraron efectos fijos, mientras que las repeticiones, localidades y las interacciones con localidades fueron consideradas efectos aleatorios. Previo a la realización del ANOVA se comprobaron los supuestos básicos, conforme a Steel y Torrie (1988).

El análisis combinado se efectuó sobre el rendimiento de grano a 12% de humedad expresado en kg ha⁻¹, en 8 localidades, considerando un modelo mixto. Para estudiar el grado de asociaciones entre el rendimiento y características agronómicas de baja heredabilidad, como mala cobertura y pudrición de mazorca, se estimaron coeficientes de correlación simple, utilizando los valores medios de cada localidad. Para este análisis, las variables CM y MD fueron transformadas por Ln (X+0,5), mientras que AcR y AcT por Raíz cuadrada (X+0,5), para cumplir con los supuestos de normalidad y aditi-

vidad. Se realizaron contrastes ortogonales para realizar comparaciones entre la media del rendimiento de los cultivares experimentales con la observada en los testigos comerciales.

Análisis de estabilidad

Una vez detectada la presencia de la interacción genotipo por ambiente (IGA), se procedió a estimar los parámetros de estabilidad de los materiales mediante el modelo AMMI, conforme a Gauch y Zobel (1989) y Crossa (1990) y basados en los procedimientos establecidos por Vargas y Crossa (2000), cuando se utiliza toda la información referente a cada ambiente, genotipo y repetición, de acuerdo al siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} + \xi_{ij}$$

Donde: Y_{ij} representa la media del i -ésimo genotipo en el j -ésimo ambiente; μ es la media general; g_i y a_j son los efectos del i -ésimo genotipo y j -ésimo ambiente, respectivamente; n es el número de componentes principales (CP) retenidos en el modelo; λ_k es el valor singular para cada CP; γ_{ik} son valores de los vectores de los genotipos para cada CP; α_{jk} son los valores de los vectores de los ambientes para cada CP; ρ_{ij} es el residual de la interacción IGA y ξ_{ij} es el error experimental medio.

Para cada genotipo y ambiente, fueron obtenidos los escores genotípicos y ambientales por medio del procedimiento PROC IML del SAS (SAS Institute, 2002). Adicionalmente, la significancia de cada CP fue medida mediante una prueba de F aproximada al nivel 0,05 de probabilidad, comparando el cuadrado medio de cada CP, con el cuadrado medio del error experimental, conforme a Crossa *et al.* (1990). El número de ejes posibles (CP) que el modelo puede retener en AMMI es el mínimo (G-1; E-1). Aquellos ejes que resultaron no significativos se incluyeron en el residual. Los valores del CP1 y el rendimiento medio de genotipos/ambientes fueron utilizados para construir el gráfico de doble representación "Biplot".

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estabilidad del rendimiento de grano

El análisis de varianza combinado, para rendimiento de grano indicó que tanto los efectos principales como el de la interacción genotipo por ambiente (IGA) resultaron altamente significativos (Cuadro 3). Estas deducciones sugieren que el comportamiento de los genotipos estudiados, medido a través del rendimiento de grano, varió en función de la condición ambiental presente en cada localidad.

CUADRO 3. Análisis de varianza para los efectos lineales y multiplicativos según el modelo AMMI en 9 cultivares de maíz evaluados en 8 ambientes de Venezuela, ciclo de lluvias de 2002.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	Suma de cuadrados AMMI (%)	Acumulado (%)
Localidad (Lac)	7	69,77**		
Repetición /Loc	24	1,92**		
Genotipos (G)	8	14,63**		
G x Loc	56	1,68**		
PCA 1	14	4,07 **	60,61	60,61
PCA 2	12	1,75**	22,29	82,90
Residual	30	0,53	17,10	100,00
Error	192	0,57		
Total	287			

** Indica diferencias significativas al 1%.

Los 2 primeros ejes (CP) resultaron altamente significativos y entre ambos explicaron cerca del 83% de la varianza observada en el rendimiento de grano. Considerando sólo el primer eje, el modelo explicó el 77,47% de la varianza observada en los datos con 29 grados de libertad (Genotipos + ambientes + CP1) y el CPA1 explicó alrededor del 61% de la IGA.

En este caso, una alta proporción de la variación correspondiente a la IGA fue explicada por el modelo AMMI-1, con sólo el 25% de los grados de libertad de la interacción y el residual sólo representó el 17% de la IGA, proporción esta que no resultó estadísticamente importante ($P \leq 0,05$), lo que demuestra que el modelo fue apropiado para explicar la interacción genotipo ambiente.

De la misma manera, Crossa *et al.* (1990), Cabrera *et al.* (2001), Medina *et al.* (2002), San Vicente *et al.* (2005), entre otros, realizaron una interpretación similar de los resultados del anavar del modelo AMMI. Estos resultados son similares a los obtenidos en estudios previos realizados en el país (Cabrera *et al.*, 1997, Cabrera *et al.*, 2001, Medina *et al.*, 2002), pero difieren de lo observado por San Vicente *et al.* (2005), quienes evaluaron la estabilidad del rendimiento y el potencial agronómico de híbridos de alta calidad de proteína (QPM) en 18 localidades de Venezuela y encontraron que el CP1 explicó el 35% de la interacción. Ellos atribuyeron la falta de correspondencia a lo observado en trabajos previos, a la complejidad del carácter y a la diversidad de genotipos y localidades incluidas en los estudios.

Por otro lado, Alejos *et al.* (2006), evaluando 16 genotipos en 6 ambientes de Venezuela, encontraron que entre el CP1 y CP2 explicaron sólo 64% de la variación debida a la IGA; no obstante, el 36% restante de la variación resultó no significativa, por lo que concluyen que el modelo AMMI resultó apropiado para explicar la interacción.

Adicionalmente, Córdova (1991), evaluó 36 cultivares de maíz en 14 localidades de Centro América, Panamá y México y encontró que el CP1 capturó alrededor del 50% de la suma de cuadrados de la interacción, indicando, con ello que el CP1 tuvo valores con capacidad de predicción importantes, mientras que Crossa *et al.* (1990), encontraron que el CP1 explicó más de la mitad de la suma de cuadrados de la IGA con sólo el 8,9% de los grados de libertad de la interacción, resultando el residual sin valor para la predicción de la IGA.

Los híbridos Portuguesa-2002, P-30R92 y Portuguesa-2012, resultaron con los rendimientos más altos y mayor consistencia en las diversas localidades. De igual manera, el híbrido INIA-QPM-2 y la variedad Turén-2000, mostraron rendimientos superiores a la media general, pero la mejor respuesta fue observada en las localidades Agua Blanca y Marfilar (Ver Figura). El híbrido INIA-QPM-2 fue incluido en el estudio realizado por San Vicente *et al.* (2005), donde resultó uno de los cultivares más sobresalientes.

Los híbridos Portuguesa-2008 y Portuguesa-2010 también resultaron con valores CP1 cercanos a cero, lo que permite clasificarlos como estables; no obstante los niveles medios de productividad estuvieron por debajo de la media general.

Resultados similares fueron observados por Cabrera *et al.* (2001) y San Vicente *et al.* (2005), quienes utilizando el modelo AMMI para apreciar la estabilidad del rendimiento de diversos cultivares de maíz valorados en varias localidades del país, encontraron que varios de los híbridos que mostraron consistencia a través de los ambientes de evaluación, presentaron rendimientos inferiores a la media general.

Este tipo de estabilidad mostrada por los híbridos Portuguesa-2008 y Portuguesa-2009, la cual Becker (1981) clasificó como biológica, es poco útil en la agricultura, puesto que los productores demandan cultivares que presenten rendimientos consistentes a través de los ambientes, pero que a la vez respondan favorablemente a las mejoras ambientales (estabilidad agronómica), es decir, cultivares que expresen mejores niveles de productividad bajo cualquier condición ambiental.

De acuerdo a los valores AMMI, las localidades Las Caramas, El Socorro, Marfilar y la Colonia Agrícola de Turén presentaron menor interacción con los cultivares, considerándose ambientes neutrales.

Por otro lado, las localidades Agua Blanca, Punta Gorda, Sabana del Medio y Yaritagua resultaron ambientes con mejores condiciones para discriminar a los genotipos, al presentar los mayores valores AMMI, lo que sugiere que se pueden considerar ambientes claves para futuros estudios.

Estos resultados difieren, en parte, de lo observado por San Vicente *et al.* (2005), quienes incluyeron en su estudio la mayoría de las localidades utilizadas en este trabajo.

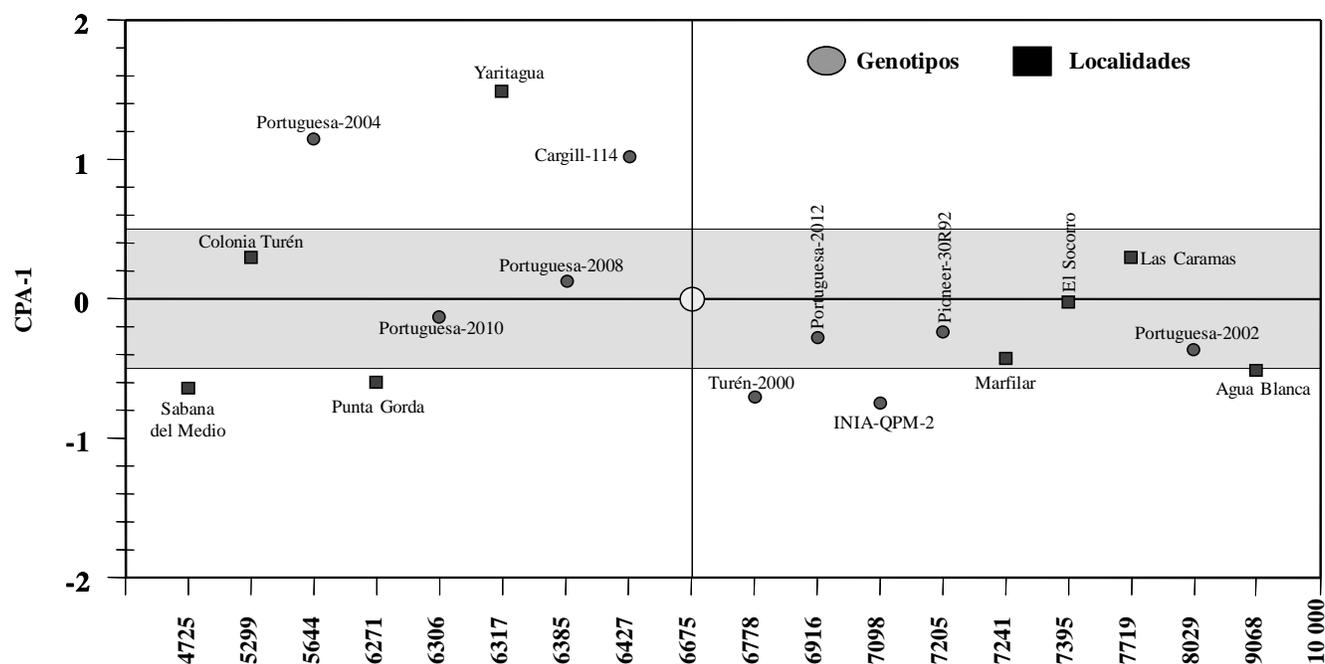


FIGURA. Representación gráfica de la estabilidad del rendimiento de 9 cultivares de maíz evaluado en ocho ambientes durante el ciclo de lluvias de 2002.

Por ejemplo, las localidades El Socorro, Colonia Agrícola de Turén y Marfilar (denominada San Nicolás por San Vicente *et al.*, 2005), fueron clasificadas por San Vicente *et al.* (2005) como ambientes con buena capacidad discriminadora de los genotipos. Lo contrario fue observado con la localidad Punta Gorda, mientras que hubo coincidencia con lo observado en las localidades Agua Blanca, Sabana del Medio y Yaritagua. Esta falta de correspondencia en alguno de los ambientes puede atribuirse a la variación ambiental que se presenta a través del tiempo y demuestra la importancia de realizar estas pruebas a través del espacio y tiempo.

En otras palabras, el que se use una misma localidad en diferentes años o incluso en diferentes épocas de un mismo año, no implica que se esté utilizando el mismo ambiente de evaluación, puesto que aún cuando las condiciones edáficas puedan ser las mismas de un año para otro, las diferencias climáticas entre años o épocas pueden ser relevantes.

Comportamiento agronómico

De los cultivares que presentaron rendimientos superiores a la media general, solamente el híbrido Portuguesa-2002 (8029 kg ha⁻¹) fue superior al mejor de los

cultivares testigos, el híbrido Pioneer-30R92, que mostró una productividad promedio de 7205 kg ha⁻¹ (Cuadro 4). Especial atención merece el híbrido INIA-QPM-2, primer híbrido de alta calidad de proteína en el grano producido en Venezuela, y la variedad Turén-2000, un cultivar de libre polinización originado de la población Suwan-9222 del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), ambos cultivares liberados para la producción comercial de semilla en Venezuela. El primer citado resultó entre los de mayor potencial de rendimiento, al ser evaluado por San Vicente *et al.* (2005) en 18 localidades de Venezuela.

De este modo, la variedad Turén-2000 presentó un promedio de rendimiento (6778 kg ha⁻¹) estadísticamente igual al promedio mostrado por los cultivares utilizados como testigos (6816 kg ha⁻¹) y superó en productividad a cerca del 50% de los híbridos probados. Medina *et al.* (2002) encontraron que algunas de las variedades evaluadas superaron en rendimiento a los híbridos comerciales utilizados como testigos.

El híbrido Portuguesa-2002, además de mostrar consistencia en el rendimiento de grano, también presentó excelente comportamiento agronómico, caracterizado por una adecuada sincronía floral, adecuada textura de

grano, buena cobertura de mazorca, con bajos niveles de mazorcas dañadas, buen desarrollo radical y calidad de tallo, siendo este comportamiento similar al observado en los cultivares testigos (Cuadro 5). Agronómicamente, el híbrido INIA-QPM-2 también se destacó, mostrando buena sincronía floral, con posición de mazorca alrededor de la mitad de la planta, bajos porcentajes de mazorcas descubiertas y de daños en los granos, bajos niveles de acame de raíz, tallo y adecuada textura de grano, lo cual lo hace un cultivar apropiado para el mercado venezolano. Resultados similares fueron observados por San Vicente *et al.* (2005) en este híbrido.

La Turén-2000 también mostró un adecuado comportamiento agronómico, excepto en la posición de la primera mazorca, la cual estuvo influyendo encima de la mitad de la planta, influyendo en el mayor nivel de acamamiento de raíz, que se ubicó cerca de 14% (Cuadro 5). No obstante, es un cultivar que puede recomendarse para la explotación comercial del cultivo, sobre todo para

pequeños y medianos productores, quienes pueden disponer de un material con alto potencial de rendimiento, buenas bondades agronómicas en general y a un menor costo, comparado con el de los híbridos.

Los coeficientes de correlaciones simples estimados en el análisis combinado indicaron que el rendimiento de grano sólo presentó niveles de asociación estadísticamente importantes con AM y AP, siendo la magnitud de esta asociación relativamente baja, con coeficientes de 0,34 y 0,28, respectivamente (Cuadro 6). Estos resultados difieren de los encontrados por Córdova (1991), quien determinó magnitudes importantes de asociación negativa entre el rendimiento de grano vs. caracteres de importancia agronómica, tales como mazorcas dañadas y acame de planta. Los valores más altos de correlación fueron observados entre los caracteres AM y AP ($r=0,98$), CM vs. AM y AP, con coeficientes de 0,59 y 0,63, respectivamente, y entre MD y CM, que mostraron un coeficiente de 0,61.

CUADRO 4. Rendimiento promedio de cultivares de maíz normales y QMP evaluados en 8 ambientes de Venezuela, ciclo de lluvias de 2002.

Entrada	Cultivar	Portuguesa					Barinas	Guárico	Yaracuy		Relación al promedio de testigos
		Agua Blanca	Colonia de Turén	Las Caramas	Sabana del Medio	Marfilar	Punta Gorda	El Socorro	Yaritagua	Combinado	
1	Portuguesa-2002	10 832	6 229	9 431	6 106	8 870	7 205	8 555	7 006	8 029	118
2	Portuguesa-2004	7 334	4 885	7 059	3 263	4 778	4 370	6 671	6 794	5 644	83
3	Portuguesa-2012	9 317	5 831	7 647	4 902	6 949	6 751	8 103	5 830	6 916	101
4	Portuguesa-2010	8 923	4 712	7 458	4 031	6 625	5 825	7 373	5 505	6 307	93
5	Portuguesa-2008	8 006	5 271	7 638	4 627	6 945	5 374	7 491	5 731	6 385	94
6	Turén-2000	9 881	5 130	7 317	5 234	7 849	6 621	6 663	5 528	6 778	99
7	Cargill-114	8 479	4 894	7 513	3 251	7 341	5 561	6 323	8 055	6 427	94
8	Pioneer-30R92	9 051	5 521	7 627	5 559	8 131	7 450	7 522	6 780	7 205	106
9	INIA-QPM-2	9 791	5 217	7 781	5 553	7 680	7 284	7 855	5 621	7 098	104
Promedio testigos		9 107	5 211	7 640	4 787	7 717	6 765	7 234	6 819	6 816	100
Media general		9 068	5 299	7 719	4 725	7 241	6 271	7 395	6 317	6 754	99
LSD		907	1 018	1 093	1 063	1 115	1 001	1 376	1 203	373	
CV (%)		6,9	13,2	9,7	15,4	10,6	10,9	12,8	13,1	11,2	

CUADRO 5. Valores promedios de 9 caracteres agronómicos evaluados en cultivares de maíz en 8 ambientes de Venezuela, ciclo de lluvias de 2002.

Cultivar	Floración masculina (días)	Floración femenina (días)	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)	Textura de grano (1-5)	Cobertura de mazorca (%)	Mazorcas dañadas (%)	Acame de raíz (%)	Acame de tallo (%)
Portuguesa-2002	55	56	215	117	2,6	2,00	3,78	6,77	7,40
Portuguesa-2004	56	57	205	100	3,6	10,32	29,70	1,84	2,37
Portuguesa-2012	55	56	215	115	2,0	2,54	7,09	4,52	4,89
Portuguesa-2010	55	56	212	112	2,3	2,71	8,79	6,46	4,63
Portuguesa-2008	55	56	218	116	2,0	3,07	6,28	6,28	5,01
Turén-2000	54	55	214	120	2,9	1,68	4,47	13,67	6,29
Cargill-114	54	55	190	99	2,3	1,18	5,49	4,32	5,87
Pioneer-30R92	55	56	212	119	1,8	4,54	5,34	7,61	2,78
INIA-QPM-2	55	56	217	110	1,9	1,29	4,69	4,90	7,15
Media	55	56	211	112	2,38	3,26	8,40	6,26	5,15
Promedio testigos	54	55	201	109	2,04	2,86	5,41	5,96	4,32
LSD	0,70	0,86	8,99	6,38					
CV (%)	1,40	1,69	5,43	7,26					

CUADRO 6. Correlación lineal simple entre caracteres agronómicos estimados en el análisis combinado en ambientes en el ciclo de lluvias de 2002.

Variable	Floración femenina	Floración masculina	Altura de mazorca	Altura de planta	Cobertura de mazorca	Mazorcas dañadas	Acame de raíz	Acame de tallo
Floración masculina	0,50**							
Altura de mazorca	0,02	-0,34**						
Altura de planta	-0,03	-0,38**	0,98**					
Cobertura de mazorca	0,06	-0,46**	0,59**	0,63**				
Mazorcas dañadas	0,37**	-0,15	0,27*	0,30*	0,61**			
Acame de raíz	-0,34**	-0,27**	-0,42**	-0,44**	-0,34**	-0,31**		
Acame de tallo	-0,32**	-0,48**	-0,18	-0,14	-0,02	-0,15	0,46**	
Rendimiento	-0,03	-0,17	0,34**	0,28*	-0,12	-0,19	-0,05	0,04

* y ** Indican correlaciones significativas a 1% y 5%, respectivamente.

De acuerdo a Falconer (1990), la correlación fenotípica entre caracteres puede ser de origen genético y ambiental. La pleiotropía es la principal causa genética de la correlación entre caracteres, aunque el ligamiento es una causa de correlación temporaria. El grado de correlación que se produce por la pleiotropía expresa el grado en el cual 2 caracteres están influidos por los mismos genes.

En este sentido, los grados de asociación encontrados entre los caracteres AP vs. AM y CM vs. AP y AM pueden estar determinadas principalmente por causas genéticas, mientras que la correlación observada entre MD vs. CM, puede estar más influenciada por factores ambientales, ya que es de esperarse que cultivares que presenten mayor porcentaje de mazorcas con puntas descubiertas sean más vulnerables al ataque de patógenos que causan pudrición de los granos; de allí la importancia de seleccionar genotipos que presenten buena cobertura de mazorca, como la observada en los híbridos Portuguesa-2002, INIA-QPM-2 y la Turén-2000, entre otros.

CONCLUSIONES

- El análisis AMMI es una metodología de fácil interpretación y apropiada para los estudios de estabilidad.
- Los híbridos Portuguesa-2002, P-30R92 y Portuguesa-2012, resultaron con los rendimientos más altos y mayor consistencia en las diversas localidades, por lo que podrían recomendarse ampliamente para las diferentes zonas productoras del país.
- La Turén-2000 mostró un elevado potencial de rendimiento y en general un adecuado comportamiento agronómico, lo cual permite su recomendación como cultivar comercial, sobre todo para pequeños y medianos productores del país.

BIBLIOGRAFÍA

- Alejos, G., 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 Trop.* 56(3):369-384.
- Bahrami S., B. M. Reza, M. Salari, M. Soluki, A. Ghanbari, S. A. Vahabi and A. Kazemipour. 2008. Yield stability analysis in Hulled Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Asian Jour. Of Plant Sci.* 7(6):589-593.
- Becker, H. C. 1981. Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica* 30:835-840.
- Cabrera, S., P. García, F. Morillo y C. Sánchez. 2001. Estabilidad del rendimiento de híbridos blancos de maíz (*Zea mays* L.) en diferentes zonas agroecológicas de Venezuela, *Revista UNELLEZ de Ciencia y Tecnología*, 19:182-198.
- Cabrera, S. R., y P. García. 1999. El Cultivo de Maíz en Venezuela. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP), Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Portuguesa (CIAEP). 15 p.
- Cabrera, S. y P. García. 2003. Evolución del cultivo del Maíz en Venezuela. **In:** IX Curso sobre producción de maíz. Cabrera S. (Ed.). INIA, ASOPORTUGUESA. Araure, Portuguesa. Pp. 54-67.
- Cabrera, S., C. Marín, P. Romero, L. Hernández, F. Morillo y C. Sánchez. 1997. Análisis de estabilidad del rendimiento en híbridos de maíz (*Zea mays* L.), en zonas productoras de los estados Portuguesa y Barinas. *Revista Científica de la Fundación para la Investigación Agrícola DANAC*. <http://www.danac.org.ve>.
- Cargnelutti, F. A., L. Storck, L. S. Riboldi y J. P. Guadagnin. 2008. Association between adaptability and stability methods in corn. *Cienc. Rural* [En línea]. [Consultado el 21 /02 /2009]. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/cr/2008nahead/a80cr570.pdf>.
- Córdova, H. 1991. Estimación de parámetros de estabilidad para determinar la respuesta de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) ambientes contrastantes de Centro América, Panamá y México. *Agro. Mesoamer.* 2:01-10.
- Crossa, J. 1990. Statistical analysis of multilocations trials, Academic Press, *Advances in Agronomy*, 44:55-85.
- Crossa, J., H. G. Gauch Jr. and R. W. Zobel 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Cro Sci.* 30: 493-500.
- Crossa, J., N. Fox, W. H. Pfeiffer, S. Rajaram and H. G. Gauch Jr. 1991. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. *Theor. Appl. Genet.* 81:27-37.

- De León, H., F. R. Sánchez, M. H. Reyes, D. S. Garduño, G. M. Zambrano, R. C. Cadenas y J. D. Cárdenas. 2005. Potencial de rendimiento y estabilidad de combinaciones germoplásmicas formadas entre grupos de maíz. *Rev. Fit. Mex.* 28(2):135-143.
- Ebdon, J. S. and H. G. Gauch Jr. 2002. Additive Main Effect and Multiplicative Interaction Analysis of National Turfgrass Performance Trials: II. Cultivar Recommendations. *Crop Sci.* 42:497-506.
- Epinat-Le Signor, C., S. Dousse, J. Lorgeou, J.-B. Denis, R. Bonhomme, P. Carolo and A. Charcosset. 2001. Interpretation of genotype x environment interaction for early maize hybrids over 12 years. *Crop Sci.* 41:663-669.
- Falconer, D. S. 1990. Introducción a la genética cuantitativa. Tercera Impresión. Comp. Edit. Continental, S. A. De C. V. México D.F. 383 p.
- Freire F., F. R., M. Maurisrael de, Q. R. Valdenire Â. C. Lopes de. 2005. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão-caupi. *Ciência Rural, Santa Maria*, 35(1):24-30.
- Gauch, H. G., H. P. Piepho and P. Annicchiarico. 2008. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. *Crop Sci.* 48:866-889.
- Gauch, H. G. Jr., and R. W. Zobel. 1989. Accuracy and selection success in yield trial analysis, Theoretical and Applied Genetics. 77:473-481.
- Gauch, H. G. 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.
- Gollob, H. F. 1968. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. *Psychometrika* 33:73-115.
- González, T., E. Monteverde, C. Marín y P. M. Madriz. 2007. Comparación de tres métodos para es timar estabilidad del rendimiento en nueve variedades de algodón. *Interciencia* 32(5):344-348.
- 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.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2004. FAO. Statistical Yearbook. 2004.
- San Vicente, F., C. Marín y D. Díaz. 2005. Estabilidad del rendimiento y potencial agronómico de híbridos de maíz de alta calidad de proteína (QPM) en Venezuela. *Agronomía Trop.* 55(3):397-410.
- SAS Institute. 2002. SAS/STAT 9 user's guide. SAS Inst., Cary, NC.
- Sobreira H., E., F. F. Correia, R. Vencovsky e E. Curvêlo Freire. 2007. Estabilidade fenotípica de genótipos de algodoeiro no Estado do Mato Grosso. *Pesq. Agropec. Bras.* 42(5):695-698.
- Steel, R. y J. Torrie 1988. Bioestadística: Principios y procedimientos. 2da edición, McGraw-Hill /Interamericana, México. 622 pp.
- Vargas, H. M. y J. Crossa. 2000. El análisis ammi y la grafica del biplot en sas. CIMMYT, INT. Apdo. Postal 6-641 06600 México DF México. 42 p. Consultado el 011 /11 /2009). pp. 26-42. Disponible en: www.cimmyt.cgiar.org/biometrics.
- Zobel, R. W., M. J. Wright and H. G. Gauch. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.* 80:388-393.