

ESTIMACIÓN Y COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE ESTABILIDAD PARA DETERMINAR LA RESPUESTA DE RENDIMIENTO DE GRANO EN CULTIVARES DE MAÍZ, PANAMÁ, 1996-98.

Ismael Camargo B.¹ y Román Gordón M.²

RESUMEN

La obtención de genotipos que interaccionan lo menos posible con el ambiente ha sido un objetivo que persiguen los fitomejoradores, esto con la finalidad de desarrollar materiales que garanticen una buena productividad a través de ambientes contrastantes. Existen diferentes métodos de análisis de la interacción genotipo-ambiente (Westcott, 1986; Becker y León, 1988; Crossa, 1990), sin embargo, la aplicación de cualquiera de estas metodologías puede implicar conceptos diferentes de estabilidad fenotípica (Lin y col., 1986; Becker y León, 1988). Este estudio se realizó con el objetivo de estimar y comparar parámetros de estabilidad de ocho cultivares de maíz evaluados en 25 ambientes (tres años) usando modelos de regresión lineal de Finlay y Wilkinson (1963) (F&W); modelo de Eberhat y Russell (1966) con tres variantes: 1) todos los ambientes (E&RG); 2) solamente los ambientes con índices positivos (E&RP) y 3) ambientes con índices negativos (E&RN), análisis de componentes principales (ACP) y modelo AMMI. A pesar de que los análisis de varianza con los diferentes modelos detectó la significación de la interacción genotipo ambiente, AMMI es el que ofrece el análisis estadístico más apropiado para estimar la respuesta de los cultivares al ambiente. En este sentido, la gráfica AMMI Plot (PCA1) explica solamente el 42% de la interacción; en cuanto al AMMI Biplot (PCA1 vs PCA2), explica el 73% de la interacción genotipo ambiente en este estudio. Por otro lado, el modelo E&R permite una mejor interpretación del comportamiento de los genotipos cuando se evalúa su b_i en ambientes de alto y bajo rendimiento. Los parámetros estimados por estos modelos fueron correlacionados entre sí, se observaron coeficientes de correlación altos y significativos entre E&R vs F&W (0.98), E&R vs ACP (-0.97) y E&RP vs AMMI (0.88).

1 Fitomejorador. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.

2 Ing. Agrónomo, M.Sc., Entomología. IDIAP-CIAAzuero.

ESTIMATION AND COMPARISON OF STABILITY PARAMETERS TO DETERMINE GRAIN YIELD RESPONSE OF CORN CULTIVATIONS. PANAMÁ, 1996-98.

Obtention of genotypes that less possible interact with environment has been the objective that follow plant breeders. This is with the goal of developing materials that guarantee good productivity through the contrast environments. There are different methods of genotype-environmental interactions ((Westcott, 1980; Becker and Leon, 1988, Crossa, 1990); however, the application of any of these methodologies can imply different concepts of phenotypic stability (Lin y col, 1986; Becker y León, 1988). This study was implemented with the objective of estimate and compare stability parameters of eight corn cultivations evaluated in 25 environments (three years) using linear regression analysis of Finlay and Wilkinson (1963) (F&W); Eberhart and Russell (1966) model with three variants: 1) all environments (E&RG); 2) only environments with positive indexer (E&RP), and 3) environments with negative indexer (E&RN); principal component analysis (PCA) and AMMI model. Despite of the analysis of variance with the different models, detected significant genotype-environmental interaction, AMMI is the one that offer the most appropriated statistical analysis to determinate the cultivation response to the environment. In this sense, AMMI plot (PCA1) explains only 42% of the interaction; furthermore, AMMI Biplot (PCA1 vs PCA2), explains 73% of the genotype-environmental interaction in this study. On the other hand, ER model recovers best interpretations of genotype behaviors when evaluate their bi in high and low yield environments. Estimated parameters from the models were correlated among them and it was observed high and significant correlation coefficients between E&R vs F&W (0.98), E&R vs PCA (-0.97) and E&R vs AMMI (0.88).

INTRODUCCIÓN

La interacción genotipo ambiente (GxA) es un fenómeno que afecta el comportamiento de los genotipos cuando son evaluados a través de ambientes contrastantes (localidades, épocas, años, otros), dificultando la identificación y selección de los genotipos superiores. El análisis de varianza y regresión conjunta, es una metodología empleada ampliamente para explicar la interacción

GxA (Finlay y Wilkinson, 1963; Eberhart y Russell, 1966; Perkins y Jinks, 1968).

Técnicas multivariadas también han sido usadas para estudiar los efectos de la interacción GxA; por ejemplo, el análisis de componentes principales (ACP), análisis de coordenadas principales, análisis de conglomerados (Crossa, 1990; Westcott, 1986). El desarrollo del modelo AMMI

(Efectos principales aditivos e interacción multiplicativa), que integra análisis de varianza y de componentes principales (Zobel y col., 1988) ha mostrado su eficiencia para explicar una proporción de la suma de cuadrados de la interacción, superior a la obtenida con el análisis de varianza y regresión conjunta (Gauch y Zobel, 1988; 1989; Zobel y col., 1988), Crossa, 1990; Crossa y col., 1990; Crossa y col., 1991). Por otro lado, independientemente de la metodología empleada para estimar la interacción GxA, hay que tener claro a cual concepto de estabilidad se refiere. Becker (1981), Lin y col. (1986) y Becker y León (1988) definen conceptos de estabilidad fenotípica que se complementan del punto de vista estadístico, biológico y agronómico.

La obtención y recomendación de genotipos con baja interacción GxA ha sido uno de los propósitos del proyecto de mejoramiento genético de maíz. Para definir el modelo más eficiente en discriminar los genotipos sobre la base de su respuesta diferencial con los ambientes se hizo el presente trabajo con el objetivo de: 1) Comparar la eficiencia de los análisis de varianza basándose en la estructura del ANOVA, modelos de regresión, análisis de componentes principales y el modelo AMMI; 2) Comparar y correlacionar entre sí los parámetros de estabilidad que estiman estos modelos y 3) Determinar la respuesta de los genotipos a

los ambientes a través de los modelos estudiados y definir cuál de ellos ofrece mayor confianza para fines de recomendación comercial de cultivares. La hipótesis planteada es la similitud de los métodos en cuanto a su poder para explicar la interacción genotipo-ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un ensayo uniforme de rendimiento durante tres años consecutivos. En total se realizaron 25 experimentos durante este mismo período, estableciéndose 11, 7 y 7 localidades para los años 1996, 1997 y 1998, respectivamente.

En cada localidad fueron evaluados ocho cultivares de maíz, provenientes de las empresas privadas que disminuyen semilla en el país (X-3018, X-3001W, X-3031 y HS-6) y del Proyecto de maíz del IDIAP (P-8916, G-8128, P-9490 y P-9422). El diseño experimental utilizado fue Bloques Completos al Azar con tres repeticiones. De acuerdo al siguiente modelo matemático:

$$X_{i,j,l} = \mu + g_i + b_{j,l} + a_l + (g a)_{i,l} + e_{i,j,l}$$

En donde:

- $X_{i,j,l}$ = Valor del carácter estudiado
- μ = Media general

- g_i = Efecto de Genotipo
 b_{jL} = Efecto de bloques dentro de repetición
 a_L = Efecto de ambiente
 $(g a)_{iL}$ = Efecto de la interacción Genotipo Ambiente
 e_{ijk} = Error Experimental

El análisis de varianza por localidad y combinado se realizó considerando un modelo mixto (ambiente aleatorio y genotipo fijo). Las unidades experimentales estuvieron constituidas de dos hileras de 5.5 m de longitud, espaciadas a 75 cm entre hileras y 50 cm entre posturas, con dos plantas por postura después del deshielo. El resto del manejo agronómico de estos ensayos es el que propone el IDIAP (Gordón y col., 1996).

Para estimar la interacción genotipo por ambiente, los datos de rendimiento fueron sometidos a un análisis estadístico combinado usando el programa MATMODEL (Gauch, 1986; Gauch y Furnas, 1991). MATMODEL realiza análisis de varianzas (ANOVA), análisis de regresión lineal (Método Finlay y Wilkinson, 1963), análisis de componentes principales (ACP) y análisis de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (Modelo AMMI). Los modelos matemáticos involucrados en estos análisis son presentados por Finlay y Wilkinson 1963; Zobel y col., 1988; y Crossa, 1990.

Adicionalmente, estos datos fueron sometidos al análisis de estabilidad propuesto por Eberhart y Russell (1966), así como a una modificación a este modelo propuesta por Verma y Chahal (1978). Los diferentes estadísticos que estiman la estabilidad o respuesta de los genotipos al ambiente, obtenidos con cada modelo fueron correlacionados entre sí, por medio de la correlación de Pearson para estimar la relación lineal entre ellos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Análisis de Varianzas

En el Cuadro 1 se presentan los resultados de los análisis de varianzas (ANOVA, F&W, ACP y AMMI). En el ANOVA se observa que el efecto ambiental captura 48% de la suma de cuadrados total (SCT) poniendo en evidencia la gran variabilidad ambiental, en tanto que el efecto de los genotipos capturó apenas el 12%. La interacción GxA fue altamente significativa capturando 20% de la SCT, excediendo la proporción obtenida para el efecto principal de genotipo; ésta es una situación típica de ANOVA (Zobel y col., 1988). En el análisis de F&W, la regresión conjunta fue significativa, capturando apenas el 4% de la SC de la interacción. El análisis de regresión completo explica el 13% de la SC de la

interacción GxA, con el 17.9% de los grados de libertad. La dependencia que existe entre el promedio de los genotipos y los promedios de los ambientes explica la ausencia de significación observada en las fuentes de variación (Regr. Amb. y Regr. Gen.), tal vez por el bajo número de genotipos, es decir, menos de 15 (Freeman y Perkins, 1971). A pesar de que este modelo de regresión analiza los efectos principales y la interacción, en ocasiones, puede confundir estos efectos reduciendo el poder estadístico de la prueba de significancia (Wright, 1971). Esta metodología permite un conocimiento adecuado de la interacción GxA cuando

los ambientes no son tan contrastantes (Yau, 1995). En este estudio, la amplia diversidad de ambientes y no el número de ambientes (25) fue un factor que afectó la efectividad de este modelo de regresión (Westcott, 1986).

El análisis de componentes principales captura en el PCA1 el 49% de la SCT, lo que indica una alta eficiencia estadística, pero no describe los efectos principales aditivos ni la interacción, sugiriendo además, que el modelo puede confundir la información sobre

CUADRO 1. ANÁLISIS DE VARIANZA, F&W, ACP Y ANÁLISIS AMMI, PARA PRODUCCIÓN DE GRANO DE OCHO GENOTIPOS EN 25 AMBIENTES. PANAMÁ 1996-1998.

F de Var	GL	SC	CM	%(a)
ANOVA				
Total	599	892.818	1.491	—
Ambiente	24	425.245	17.718**	47.629
Genotipo	7	106.712	15.245**	11.952
G x A	168	177.194	1.055**	19.847
Error	350	130.398	0.373	
F & W				
Regr.	1	6.980	6.980**	3.939
Regr. Amb.	23	12.556	0.546 ^{n.s.}	7.086
Regr. Gen.	6	3.577	0.596 ^{n.s.}	2.019
Residual	128	154.081	1.117**	86.956
ACP				
PCA1	32	438.493	13.703**	49.113
PCA2	30	119.573	3.986**	13.393
Residual	137	151.085	1.103**	16.922
AMMI				
PCA ₁	30	74.685	2.489**	42.149
PCA ₂	28	54.099	1.932**	30.531
Residual	110	48.411	0.440 ^{n.s.}	27.320

** = P<0.05 y 0.01 respectivamente n.s. = P>0.05

% a = % de la SC respecto a SCT

% b = % de la SC respecto a SC de GxA

las medias asociadas a genotipo-ambiente y a la interacción de manera inadecuada (Zobel y col., 1988).

Es notable que el modelo AMMI completo captura el 94.6% de la SCT y el residuo apenas el 5.4%. El primer eje del componente principal (PCA1) implica el 42% de la suma de cuadrado de la interacción con 18% de los grados de libertad, indicando su importancia en las estimaciones de las puntuaciones

para medir la respuesta de los genotipos a los ambientes. El PCA1 con el mismo número de grados de libertad que el modelo de regresión, explica 3.23 veces más la SC de la interacción. Por otro lado, el PCA2 captura el 31% de la SC de la interacción. Entre el PCA1 y PCA2 explican el 73% de la interacción GxA, justificando el uso de ambos ejes en la elaboración del gráfico Biplot para la identificación de los genotipos que menos interaccionan con el ambiente (Gabriel 1971, Kempton, 1984). El primer eje del componente principal (PCA1) maximiza la variación entre genotipos, en cuanto que en el segundo eje (PCA2) maximiza la variación remanente (Crossa, 1990). Entre los cuatro modelos comparados (ANOVA, F&W, ACP y AMMI), AMMI es el más versátil. Zobel y col. (1988) consideró que los otros tres modelos son subcasos del modelo

AMMI. La importancia de AMMI desde el punto de vista agronómico aumenta con el empleo de los gráficos AMMI Plot (Figura 1) y AMMI Biplot (Figura 2), ya que ambos permiten visualizar claramente el comportamiento de los genoti-pos, los ambientes y su interacción facilitando su interpretación (Zobel y col., 1988; Crossa, 1990).

2. Parámetros de Estabilidad

En el Cuadro 2 se observan los parámetros de estabilidad estimados a través de los modelos de regresión propuestos por Finlay y Wilkinson (1963) y Eberhart y Russell (1966). La estabilidad de los genotipos es definida en función del coeficiente de regresión (b_i) y de su rendimiento medio (\bar{y}_i). En el caso del modelo de F&W, cuando el genotipo exhibe el $b_i=0$, se aplica el

CUADRO 2. MEDIAS DE RENDIMIENTO DE GRANO (t/ha) Y COEFICIENTES DE REGRESIÓN (b_i) DE OCHO GENOTIPOS EN 25 LOCALIDADES SEGÚN DISTINTOS MODELOS.

Genotipos	F&W		E&R		E&R (LAR)		E&R (LBR)	
	Rend	b_i	Rend	b_i	Rend	b_i	Rend	b_i
P-8916	5.02	0.12	5.02	1.17	5.72	1.14	4.03	0.99
G-8128	4.00	-0.38	4.00	0.68	4.53	0.51	3.62	0.70
P-9490	5.34	0.14	5.34	1.13	6.00	1.23	4.49	1.40
P-9422	5.08	-0.03	5.08	1.02	5.86	0.50	4.43	2.09
X-3018	4.76	0.11	4.76	1.07	5.35	1.44	3.98	0.79
X-3001W	5.46	0.08	5.46	1.08	6.38	1.33	4.72	0.38
X-3031	5.19	-0.02	5.19	0.99	5.65	1.08	4.28	1.04
HS-6	4.92	-0.03	4.92	0.93	5.49	1.28	4.13	0.56
Promedio	4.97	25 Loc's	4.97	25 Loc's	5.62	14 Loc's	4.21	11 Loc's

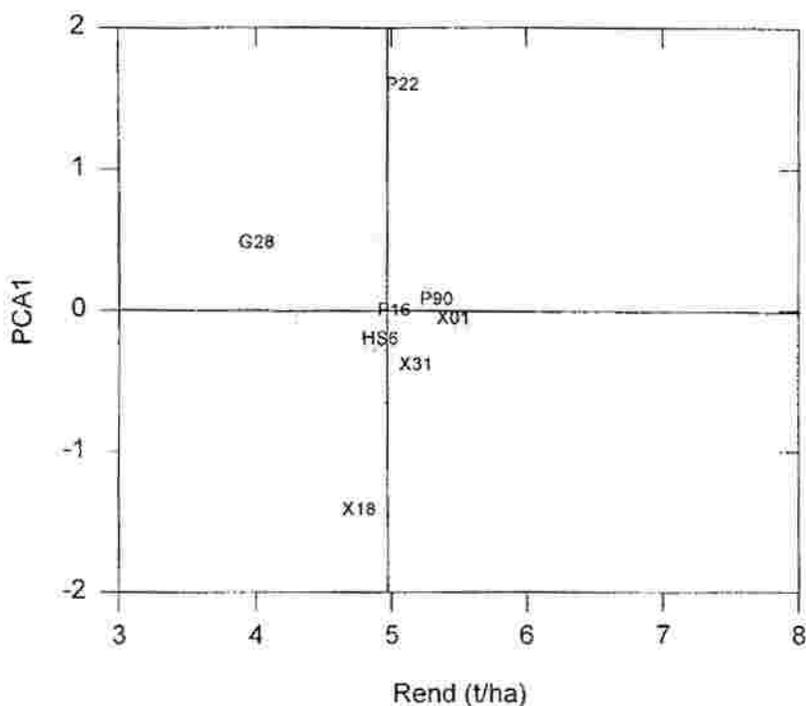


FIGURA 1
MEDIAS DE RENDIMIENTO Y PUNTUACIONES DEL PRIMER EJE
DEL COMPONENTE PRINCIPAL DE OCHO CULTIVARES DE MAÍZ
EN 25 AMBIENTES DE PANAMÁ
(AMMI Biplot)

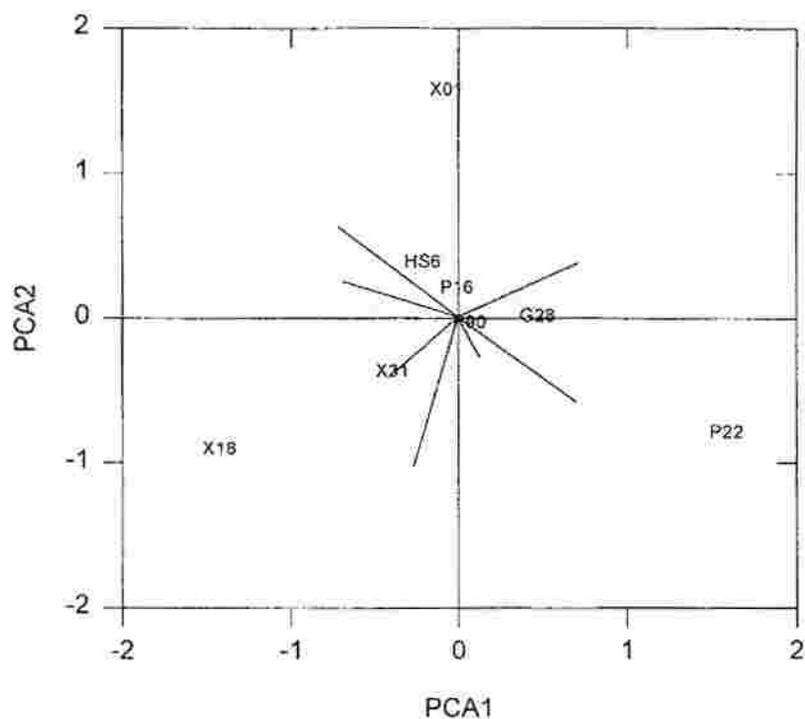


FIGURA 2
PUNTUACIONES DEL PRIMER Y SEGUNDO EJE DEL
COMPONENTE PRINCIPAL DE OCHO CULTIVARES DE MAÍZ EN
25 AMBIENTES DE PANAMÁ
(AMMI Biplot)

concepto de estabilidad en sentido biológico, que equivale a un cultivar que muestra un desempeño constante con la variación del ambiente. Por otro lado, cuando el cultivar exhibe un $b_i=1$, corresponde al concepto de estabilidad en sentido agronómico, se refiere al genotipo de baja interacción con el ambiente (Ramalho y col., 1993). Los conceptos de estabilidad en sentido biológico y agronómico fueron definidos por Becker (1981).

Para Eberthart y Russell (1966), el cultivar ideal es aquel que representa un $b_i=1$, $S^2d_i=0$ y con media de rendimiento alta. Esta metodología está en concordancia con el concepto agronómico de estabilidad de Becker (1981). Por otro lado, Westcott (1986) y Crossa (1988, 1990) destacan algunas limitaciones estadísticas y biológicas observadas con los modelos de regresión para estimar estabilidad en el modelo de Eberthart y Russell (1966); por ejemplo, cuando ambientes muy contras-

tantes son considerados en el análisis, ocasionan variaciones substanciales en las estimaciones de los b_i , debido a la dependencia que existe entre el promedio de los genotipos y los promedios marginales de los ambientes usados para calcular los índices ambientales. Para minimizar esta debilidad del modelo, Verma y Chahal (1978) propusieron subdividir los ambientes en dos grupos en función del signo del índice ambiental. De esta manera, los ambientes con índices negativos son clasificados como localidades de bajo rendimiento (LBR) y aquellos con índices positivos, como localidades de alto rendimiento (LAR). Así, para cada genotipo se estiman dos coeficientes (b_i). La estabilidad de los genotipos es determinada por la combinación de su b_i en LBR y LAR. Verma y Chahal (1978) y Crossa (1988) proponen una clasificación de los genotipos basados en su b_i en LBR y LAR (Cuadro 3).

CUADRO 3. CLASIFICACIÓN DE GENOTIPOS SOBRE LA BASE DEL COEFICIENTE DE REGRESIÓN (b_i) ESTIMADOS EN DOS GRUPOS DE AMBIENTES.

b_i		Genotipos:
LBR	LAR	
<1.0	<1.0	Con adaptación a LBR
>1.0	<1.0	Con adaptación LBR
<1.0	=1.0	Ideal
<1.0	>1.0	Ideal
>1.0	>1.0	Con adaptación a LAR

Los valores de los ejes en el análisis de componentes principales, describen los patrones de respuesta de los genotipos, por medio de un índice de sensibilidad. Los puntajes positivos describen los genotipos con mejor comportamiento en ambientes de alto rendimiento, lo contrario ocurre con los puntajes negativos (Cuadro 4). Si es un valor de cero o próximo a

CUADRO 4. MEDIAS DE RENDIMIENTO Y PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE OCHO GENOTIPOS EN 25 LOCALIDADES, SEGÚN LOS MODELOS ACP Y AMMI.

Genotipos	Rend	ACP		AMMI	
		PCA1	PCA2	PCA1	PCA2
P-8916	5.02	-1.366	0.019	-0.010	0.198
G-8128	4.00	-0.619	1.949	0.469	0.002
P-9490	5.34	-1.412	-0.514	0.650	-0.040
P-9422	5.08	-1.161	0.177	-0.215	0.376
X-3018	4.76	-1.373	0.869	-1.428	-0.918
X-3001W	5.46	-1.216	-1.186	-0.070	1.561
X-3031	5.19	-1.216	-0.237	-0.397	-0.379
HS-6	4.92	-1.628	0.037	1.586	-0.799

éste, indica que el genotipo tiene una sensibilidad media (Cruz, 1992).

En cuanto a las puntuaciones AMMI, las mismas no miden propiamente la estabilidad, sino el grado de interacción del genotipo con el ambiente. Cuando un genotipo presenta en el PCA un valor próximo a cero, indica una interacción pequeña; cuando ambos valores del PCA tienen el mismo signo, su interacción es positiva; si son diferentes, es negativa (Crossa, 1990). Este mismo autor indica que el modelo AMMI ha sido de utilidad para una mejor interpretación de la interacción GxA para la obtención de una mejor estimación del rendimiento, en consecuencia, de la respuesta de los genotipos en una amplia gama de ambientes.

En el Cuadro 5 se observa cuatro correlaciones altas y significativas. Es notable la alta correlación observada entre los parámetros obtenidos por los métodos de regresión de E&R vs F&W y de ambos métodos de regresión vs ACP (E&R vs ACP y F&W vs ACP). La elevada asociación entre ambos parámetros puede deberse a que el análisis multiplicativo es considerado una generalización natural del análisis de regresión conjunta (Cruz, 1992; Crossa, 1990).

Los coeficientes bi estimados para E&RP y E&RN vs AMMI estuvieron correlacionados, lo que hace esta estratificación de ambientes una herramienta interesante en el estudio de la interacción genotipo-ambiente.

3. Respuesta de los Cultivares

Los parámetros de estabilidad que definen la respuesta de los genotipos al ambiente en los cuatro modelos comparados se observan en los Cuadros 2 y 3 y en las Figuras 1 y 2. El modelo de F&W identificó como genotipos estables ($b_i=0$), al P-9422, X-3001W y X-3031; estos mismos cultivares fueron detectados como los de mayor estabilidad por el modelo E&R. Estos resultados explican la alta correlación encontrada entre ambos modelos (Cuadro 5).

CUADRO 5. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN ENTRE PARÁMETROS DE ESTABILIDAD PARA RENDIMIENTO DE GRANO EN OCHO CULTIVARES DE MAÍZ.

	E&R	E&RP	E&RN	F&W	ACP
E&R	—				
E&RP	0.44 ^{n.s.}	—			
E&RN	0.23 ^{n.s.}	0.68 [⊗]	—		
F&W	0.98 ^{**}	0.56 ^{n.s.}	0.13 ^{n.s.}	—	
ACP	-0.97 ^{**}	-0.56 ^{n.s.}	-0.10 ^{n.s.}	-0.99 ^{**}	—
AMMI	-0.24 ^{n.s.}	0.88 [*]	0.64 [⊗]	-0.38	0.35

⊗ *, ** = P<0.10, P<0.05 Y P<0.01 respectivamente.

No obstante, cuando se determinó el bi de Eberhart y Russell (1996), según la modificación de Verma y Chahal (1978), se consideró al híbrido P-9422 como un genotipo ideal, mientras que el X-3001W es considerado con buena adaptación para ambientes neutrales. El X-3031 fue clasificado con buen comportamiento en ambientes favorables.

La estratificación de los ambientes sugeridos por Verma y Chahal (1978) permitió un análisis más completo de la respuesta de los genotipos al ambiente, si es comparado con el modelo original. Sin embargo, pone en evidencia una de las críticas a este modelo en el sentido de que las magnitudes del bi sufren cambios significativos cuando ambientes muy contrastantes son considerados en el análisis (Wescott, 1986; Crossa, 1990). Por otro lado, la aplicación de la modificación propuesta puede ser limitada por el número de ambientes considerados en estudios específicos.

De acuerdo a lo discutido anteriormente, el modelo AMMI es el más eficiente de los modelos comparados para explicar con más detalles la interacción genotipo ambiente. Al considerar las puntuaciones del primer eje del componente principal de este modelo, los genotipos que menos interaccionaron con el ambiente fueron los híbridos P-8916 y X-3001W. La gráfica de AMMI Plot (Figura 1) que explica el 42% de la interacción, también refleja esta respuesta.

Por otro lado, la gráfica que muestra el AMMI Biplot (que explica el 73% de la interacción en este caso) indica que los cultivares P-9490, G-8128 y P-8916 son más estables porque están próximos al cruce de los ejes, en donde los valores de PCA1 y PCA2 son cercanos a cero, o sea, no hay interacción (Figura 2). De la misma forma, los ambientes L1 y L2 que están más cerca del centro discriminan menos los genotipos. Contrario a las localidades L6, L9, L18 y L20, que están más alejadas del centro, interaccionan más con los genotipos. Al comparar el análisis de ambos gráficos, se observa que el gráfico de AMMI Biplot explica mejor la interacción entre los genotipos y el ambiente, siendo éste, el método más recomendable para hacer las sugerencias de los cultivares que se van a utilizar a escala comercial.

CONCLUSIONES

- ➔ Todos los modelos estudiados fueron capaces de identificar la interacción genotipo-ambiente; sin embargo, el modelo AMMI fue el más eficiente para explicarla.
- ➔ Hubo una alta correlación entre los parámetros de estabilidad estimados a través de los modelos de regresión (F&W vs E&R) y el análisis de los componentes principales.

- ➔ La estratificación de los ambientes en dos grupos (alto y bajo rendimiento) permitió la estimación de los coeficientes de regresión que estuvieron correlacionados con el PCA1 de AMMI, sugiriendo que esta modificación de modelo de E&R es una herramienta interesante para el estudio de la interacción genotipo-ambiente.
- ➔ La interpretación de la gráfica AMMI Biplot ofreció un análisis más completo para explicar la interacción genotipo-ambiente y seleccionar los cultivares comerciales.

BIBLIOGRAFIA

- BECKER, H.C.; LEÓN, J. 1988. Stability Analysis in plant breeding. *Plant Breeding* 101:1-23
- BECKER, H.C. 1981. Correlation among some statistical measure of phenotypic stability. *Euphytica* 30: 835-840.
- CROSSA, J. 1988. A comparison of results obtained with two methods for assessing yield stability. *Theor. Appl. Genet* 75: 460-467.
- CROSSA, J. 1990. Statistical analysis of multi location trials. *Advances in Agronomy* 44: 55-85
- CROSSA, J.; GAUCH, JR., H.G.; ZOBEL, R.W. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop. Sci.* 30: 493-500.
- CROSSA, J.; FOX, P.N.; PFEIFFER, W.H.; RAJARAM, S.; GAUCH, JR., H.G. 1991. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. *Theor Appl. Genet.* 81:27-37.
- EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop. Sci.* 6: 36-40.
- FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. 1963. The Analysis of Adaptation in plant breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.* 14: 742-754.
- FREEMAN, G.H.; PERKINS, J.M. 1971. Environmental and genotype environmental components of variability. VIII. Relation between genotypes grown in different environments and measures of these environments. *Heredity* 27: 15-23.
- GABRIEL, K.R. 1971. The biplot graphical display of matrices with applications to principal component analysis. *Biometrika* 58: 453-467.

- GAUCH, H.G.; FURNAS, R.E. 1991. Statical analyses of yield trials with Matmodel. *Agron. J.* 83: 916-920.
- GAUCH, H.G.; ZOBEL, R.W. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 76: 1-10.
- GAUCH, H. G.; ZOBEL, R.W. 1989. Accuracy and selection success in yield trial analyses. *Theor Appl. Genet.* 77: 443-481.
- GORDÓN, R.; GONZÁLEZ, A.; FRANCO, J. 1996. Parcela de manejo integral del cultivo de maíz, Los Santos, Panamá, 1996. IDIAP. *En edición.* 4 p.
- KEMPTON, R. 1984. The use of biplot in interpreting variety by environment interactions. *J. Agron. Sci.* 103: 123-135.
- LIN, C.S.; BINNS, M.R.; LEFKOVITH, L.P. 1986. Stability Analysis. Where do we stand? *Crop Sci.* 26: 894-900.
- PERKINS, J.M.; JINKS, J.L. 1968. Environmental and genotype-environmental components of variability. IV. Non-linear interactions for multiple inbred lines. *Heredity* 23: 525-535.
- RAMALHO, M.A.P.; BOSCO DOS SANTOS, J.; ZIMMERMANN, M.J. De O. 1993. Genética quantitativa em plantas autogamas; aplicaões ao melhoramento do feijoeiro. pp. 137-169.
- VERMA, M.M.; CHAHAL, G.S. 1978. Limitations of conventional regression analysis a proposed modification. *Theor. Appl. Genet.* 53: 89-91.
- WESTCOTT, B. 1986. Some methods of analyzing genotype environment interaction. *Heredity* 56: 243-253.
- WRIGHT, A.J. 1971. The analysis and prediction of some two-factor interactions in grass breeding. *J. Agron. Sci.* 76: 301-306.
- YAU, S.K. 1995. Regression and AMMI analyses of genotype x environment interactions: An empirical comparison. *Agron. J.* 87:121-126.
- ZOBEL, R.W.; WRIGHT M.J.; GAUCH, JR., H.G. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.* 80: 388-393.