

DETERMINACIÓN DE LA ADAPTABILIDAD DE HÍBRIDOS DE MAÍZ, UTILIZANDO EL ANÁLISIS BIPLLOT GGE, EN LA REGIÓN DE AZUERO, PANAMÁ. 2002.

Román Gordón ¹; Ismael Camargo ²; Jorge Franco ³; Andrés González ³

RESUMEN

Con el objetivo de recomendar el registro de los cultivares de maíz más sobresalientes en el país se sembró un ensayo utilizando 11 ambientes contrastantes de la Región de Azuero. El material genético de este ensayo consistió de 16 híbridos blancos y amarillos experimentales del IDIAP, PRM y de las compañías Pioneer, Monsanto y Cristiani Burkard. Se utilizó el diseño experimental de Bloques Completos al Azar con tres repeticiones; las parcelas experimentales consistieron de dos surcos de 5.2 m de largo, separadas a 0.8 m. A los datos se les realizó un análisis de varianza combinado y las medias se separaron mediante las diferencias mínimas significativas (DMS). Para estimar la adaptabilidad y estabilidad de híbridos a los ambientes, se usó el modelo de Efectos Principales Aditivos e Interacciones Multiplicativas (AMMI) y la técnica Biplot GGE (Genotipo + interacción Genotipo-Ambiente). Los análisis estadísticos indicaron diferencias significativas ($P < 0.01$) entre genotipos, ambientes y la interacción Genotipo-Ambiente, indicando la respuesta diferencial de los híbridos ante los diferentes ambientes. El grupo conformado por C-8007, X-1358K, 30K-75 y P-0102 sobresalieron por su alto rendimiento y buenas características agronómicas a través de todos los ambientes. El análisis de estabilidad identificó a C-8007, X-1358K y P-0102 como los más estables. Este mismo análisis identificó tres grupos-ambientales asociados principalmente a la época de siembra y al número de plantas cosechadas. El primer grupo ambiental estuvo formado por la localidad de El Ejido. El segundo incluyó las cinco localidades sembradas antes del 10 de septiembre y el tercero por las localidades que fueron sembradas después de esta fecha. En el segundo grupo se observó un alto rendimiento (media de 6.8 t/ha), superando significativamente al tercer grupo ambiental (media de 4.38 t/ha). Dada la escasez de lluvia en los meses de noviembre y diciembre, los ensayos sembrados antes del 10 de septiembre, durante el proceso de llenado del grano, no fueron afectados por el estrés hídrico del presente año. El ensayo de El Ejido, a pesar de ser sembrado en agosto, el rendimiento (5.48 t/ha) se vio afectado por la baja población de plantas a la cosecha (media de 4.83 plantas/m²). De acuerdo al análisis de estabilidad este ambiente fue totalmente diferente a los dos grupos-ambientales mencionados anteriormente.

PALABRAS CLAVES: Maíz; *Zea mays*; Biplot GGE; híbridos; evaluación de cultivares; híbridos; análisis de estabilidad; Panamá.

¹ Ing Agrónomo, M.Sc. Entomología. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero "Ing. Germán De León", Los Santos, Panamá. e-mail: rgordon@idiap.gob.pa

² Ph.D. Fitomejoramiento. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Recursos Genéticos. Rio Hato, Panamá. e-mail: icamargo@idiap.gob.pa

³ Agrónomo. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero "Ing. Germán De León", Los Santos, Panamá. IDIAP.

DETERMINATION OF CORN HYBRIDS ADAPTABILITY USING GGE BILOT ANALYSES. AZUERO, PANAMA, 2002.

With the objective of recommending the outstanding corn cultivars in the country was carried out an experiment throughout 11 contrasting environments in the Azuero Region. The genetic materials of this trial consisted of 16 experimental white and yellow hybrids of the IDIAP, PRM and of the companies Pioneer, Monsanto and Cristiani Burkard. A Complete Randomized Block Design with three replications was used. The experimental plots consisted of two rows of 5.2 m of length, separates by 0.8 m. A combined analysis of variances was done and the means was separated by the Least Significant Differences (LSD). To estimate adaptability and stability of hybrids to the environments, it was used the Additive Main effects and Multiplicative Interaction (AMMI) and Biplot GGE technique (Genotype plus Genotype-Environment interaction). The statistical analysis indicated significant differences ($P < 0.01$) among genotypes, environments and the genotype-environment interaction, indicating the differential response of hybrids at different environments. The hybrid group formatted by C-8007, X-1358K, 30K-75 and P-0102 outstanding by its high yield and well agronomics characteristics throughout all environments. The stability analysis identified at C-8007, X-1358K and P-0102 like to most stables. The same analysis identified three environments groups associated mainly to planting date and the number of harvested plants. The first environmental group was formed by the El Ejido site. The second group included the five sites planted before September 10 and the third by the sites planted after this date. In the second group, a high yield was observed (mean of 6.8 t/ha), overcoming significantly to the third environmental group (mean of 4.38 t/ha). Due to the rainfall scarcity on November and December, the trials planted before September 10, escaped during the grain filling process to the hydric stress at the present year. The El Ejido experiment, in spite of it was sowed on August the yield (5.48 t/ha) was affected by the low number of harvested plants (mean of 4.83 plants/m²). According to stability analyses this site was completely different to the both environmental groups mentioned previously.

KEYWORDS: Corn; *Zea mays*; Biplot GGE; hybrids; evaluation of cultivars; stability analysis; Panama.

INTRODUCCIÓN

La interacción genotipo-ambiente es un fenómeno que afecta el comportamiento de los genotipos cuando son evaluados a través de ambientes contrastantes (localidades, épocas, años, etc.), 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 G x A (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 Genotipo-Ambiente; por ejemplo, el análisis de componentes principales (ACP), análisis de coordenadas principales, análisis de cluster (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, 1988; 1990; Crossa y col., 1990; 1991). Por otro lado, independientemente de la metodología empleada para estimar la interacción Genotipo-Ambiente, hay que tener claro a cual concepto de estabilidad se refiere. Becker (1981), Lin y col. (1986), Becker y León (1988) definen conceptos de estabilidad fenotípica que se complementan desde el punto de vista estadístico, biológico y agronómico.

Yan y col. (2000) desarrollaron la metodología Biplot GGE, en la cual se efectúa el análisis gráfico de datos obtenidos en ensayos a través de múltiples ambientes. El término GGE se refiere al efecto principal del Genotipo (G) más la interacción Genotipo-Ambiente (GE), las cuales son dos fuentes de variación muy importantes en la evaluación de cultivares. En una gráfica Biplot (Gabriel, 1971) se muestran simultáneamente tanto los efectos del genotipo como el de los ambientes. En la gráfica Biplot GGE se muestra la interacción Genotipo-Ambiente de datos de ensayos a través de múltiples

ambientes. Esta es construida utilizando los dos primeros ejes de los componentes principales (PCA 1 y PCA 2, los cuales también son referidos como efectos primarios y secundarios, respectivamente), derivados de la descomposición de la interacción Genotipo-Ambiente del análisis de varianza de los ensayos en múltiples ambientes.

La gráfica Biplot GGE muestra el comportamiento de cada genotipo a través de todos los ambientes más el comportamiento de cada genotipo en cada uno de los ambientes evaluados, utilizando para ello un polígono en donde se destacan los mejores cultivares en los vértices del mismo, así como la formación de grupos ambientales llamados en algunos casos Mega o Microambientes.

El presente trabajo tuvo como objetivos: Determinar la adaptabilidad y estabilidad de híbridos de grano amarillo y blanco generados por IDIAP, PRM, CIMMYT y compañías privadas; identificar genotipos promisorios con buena estabilidad de rendimiento y características agronómicas deseables, bajo diversos ambientes de Panamá y utilizar la metodología Biplot GGE para la toma de decisiones en relación a la selección y recomendación de híbridos para siembras comerciales en campos de los productores de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un experimento en 11 localidades de la Región de Azuero, en parcelas facilitadas por productores de maíz de las provincias de Herrera y Los Santos, durante la segunda época de siembra (coa) del año 2002 (Cuadro 1).

El grupo de cultivares evaluados provino de diferentes fuentes. Las compañías privadas suministraron 10 genotipos, mientras que el sector oficial contribuyó con seis híbridos. El ensayo incluyó dentro de sus materiales tres genotipos con grano de color blanco y el resto de color amarillo (Cuadro 2).

Todos los experimentos fueron sembrados en el sistema de preparación convencional del suelo. Este consistió en efectuar de dos a tres pases de semi-roma hasta dejar el suelo desmenuzado. La densidad inicial de siembra utilizada fue de 6.25 plantas/m²; esto se logró sembrando surcos separados a 0.80 m y dejando una planta cada 0.20 m. La fertilización consistió en la aplicación de 227 kg/ha de la fórmula química 13-26-6-7 al momento de la siembra, en forma de banda continua a 4 cm de la línea de siembra. Posterior a esta fertilización se realizaron dos aplicaciones suplementarias de urea; la primera, a los 20 días después de siembra (dds), a razón de 114 kg/ha y, una segunda, a los 37 dds a razón de 136 kg/ha.

El control de malezas consistió en la aplicación en pre-emergencia de la mezcla de atrazina y pendimetalina a razón de 1.5 y 1.65 kg i.a./ha. En algunas localidades se añadió a la mezcla el herbicida glifosato a razón de 1.84 kg i.a./ha, debido a que al momento de la siembra había malezas presentes. En las localidades de Guararé y Paraíso se tuvo que realizar una aplicación suplementaria a los 12 dds del herbicida halosulfurón metil, a razón de 60 g i.a./ha, para el control del *Cyperus rotundus*.

Los datos tomados incluyeron caracteres cuantitativos, que son altamente influenciados por el ambiente como: altura de planta y mazorca, rendimiento de grano y caracteres cualitativos, que son pocos influenciados por el ambiente como: días a floración femenina, número de plantas y mazorcas al momento de la cosecha, porcentaje de plantas acamadas, porcentaje de mazorcas podridas, humedad del grano, aspecto de planta y mazorca y la evaluación de las principales enfermedades al follaje (*Curvularia* sp. y *Physoderma maydis*).

Se tomaron datos de precipitación pluvial en ocho pluviómetros ubicados en zonas adyacentes a los ensayos. Los datos obtenidos en Pedasí, Pocrí, Las Cocobolas, Tablas Abajo y Regadío fueron suministrados por la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) y los otros tres por colaboradores del IDIAP (Ciénega Larga, El Ejido y París).

**CUADRO 1. UBICACIÓN, FECHA DE SIEMBRA Y COSECHA DE LAS
11 LOCALIDADES DEL ENSAYO DE LA PRUEBA REGIONAL DE
MAÍZ, AZUERO, PANAMÁ, 2002.**

Localidad	Provincia	Distrito	Latitud	Longitud	Fecha de siembra	Fecha de cosecha
1. Portobelillo	Herrera	Parita	8°02.540'	80°34.089'	11-Sep-02	11-Ene-03
2. Los Castillos	Herrera	Parita	7°58.276'	80°36.846'	12-Sep-02	13-Ene-03
3. El Ejido	Los Santos	Los Santos	7°54.488'	80°22.307'	29-Ago-02	28-Ene-03
4. Agua Buena	Los Santos	Los Santos	7°50.066'	80°24.307'	20-Sep-02	20-Ene-03
5. Regadío	Los Santos	Guararé	7°49.149'	80°17.436'	02-Sep-02	3-Ene-03
6. La Enea	Los Santos	Guararé	7°51.082'	80°16.467'	17-Sep-02	17-Ene-03
7. Tablas Abajo	Los Santos	Las Tablas	7°47.271'	80°15.209'	09-Sep-02	9-Ene-03
8. San José	Los Santos	Las Tablas	7°41.814'	80°13.586'	04-Sep-02	4-Ene-03
9. Paraiso	Los Santos	Pocrí	7°40.403'	80°09.043'	05-Sep-02	5-Ene-03
10. La Yeguada	Los Santos	Pocrí	7°40.110'	80°05.783'	10-Sep-02	10-Ene-03
11. Mariabé	Los Santos	Pedasi	7°33.304'	80°02.523'	24-Sep-02	24-Ene-03

El tamaño de las parcelas experimentales consistió de dos surcos de 5.2 m. Para la ejecución en campo se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar, con tres repeticiones, de acuerdo al siguiente modelo matemático:

$$X_{IJL} = \mu + G_I + B_{J/L} + A_L + (GA)_{IL} + e_{IJ}$$

en donde:

- X_{IJL} = Valor del carácter estudiado
 μ = Media general
 G_I = Efecto de genotipo
 $B_{J/L}$ = Efecto de bloques dentro de repetición
 A_L = Efecto de ambiente
 $(GA)_{IL}$ = Efecto de la interacción Genotipo Ambiente
 e_{IJK} = Error experimental

Se realizó un análisis de varianza combinado, considerando un modelo mixto (ambiente aleatorio y genotipo fijo). Para la separación de medias se utilizó el análisis de separación de medias de rendimiento, a través de las diferencias mínimas significativas (DMS). Para el análisis estadístico de las variables, porcentaje de plantas acamadas y porcentaje de mazorcas podridas, se realizó el análisis de la variable transformada por el método de la raíz cuadrada más un medio:

$$(\sqrt{x+0.5}).$$

Para el análisis de estabilidad se utilizó el modelo Efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI), que integra el análisis de varianza y el de componentes principales (Zobel y col., 1988; Yan y col., 2000). El modelo matemático es:

$$Y_{ge} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum^N \lambda_n Y_{gn} \delta_{en} + \rho_{ge}$$

en donde:

- Y_{ge} = Rendimiento medio de un genotipo g en un ambiente e
 μ = Media general
 α_g = Efecto de las desviaciones de las medias de los genotipos
 β_e = Efecto de las desviaciones de las medias del ambiente
 N = Número de PCA retenidos en el modelo
 λ_n = Es el valor singular para el PCA
 Y_{gn} = Son los valores de vectores de los genotipos (PCA)
 δ_{en} = Son los valores de los vectores para cada ambiente (PCA)
 ρ_{ge} = Residual

CUADRO 2. NOMBRE Y ORIGEN DE HÍBRIDOS EVALUADOS EN LA PRUEBA REGIONAL DE MAÍZ. AZUERO, PANAMÁ, 2002.

	Cultivar	Color del grano	Origen
1.	X-1358K	Amarillo	Pioneer
2.	3041	Amarillo	Pioneer
3.	3031	Amarillo	Pioneer
4.	3018	Amarillo	Pioneer
5.	P-0106	Amarillo	IDIAP
6.	P-0108	Amarillo	IDIAP
7.	PB-0105	Blanco	IDIAP
8.	C-806	Amarillo	Monsanto
9.	C-8007	Amarillo	Monsanto
10.	P-0104	Amarillo	IDIAP
11.	PB-0109	Blanco	IDIAP
12.	P-0102	Amarillo	IDIAP
13.	HS-10	Amarillo	Cristiani Burkard
14.	HS-21	Blanco	Cristiani Burkard
15.	30F-80	Amarillo	Pioneer
16.	30K-75	Amarillo	Pioneer

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado del rendimiento y algunas características agronómicas se puede observar en el Cuadro 3. El mismo indica una alta diferencia entre ambientes y cultivares para todas las variables estudiadas. La interacción genotipo-ambiente resultó altamente significativa ($P < 0.01$) para todas las variables estudiadas con excepción de la variable relación de la al-

tura de la mazorca con respecto a la altura de planta (Almz/Alpt). Las variables aspecto de planta y mazorcas no presentaron diferencias significativas para ninguna de las fuentes de variación que comprendía el modelo estudiado.

Efecto de Ambientes

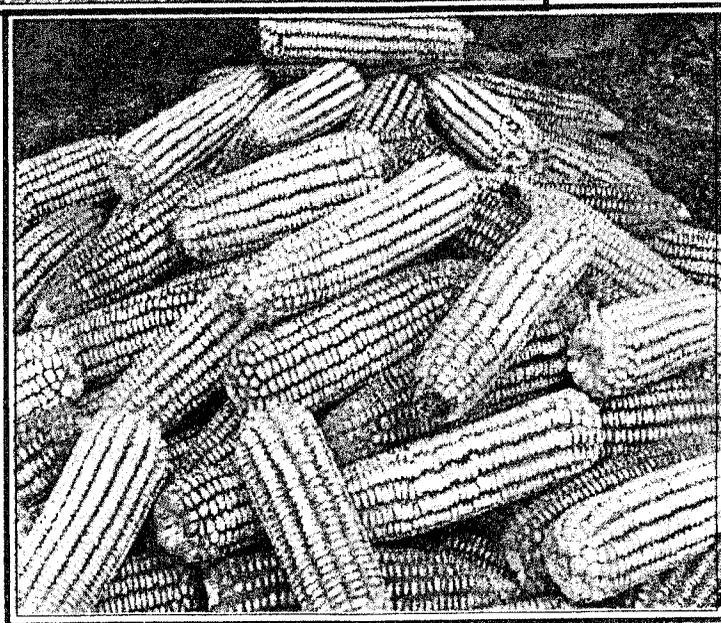
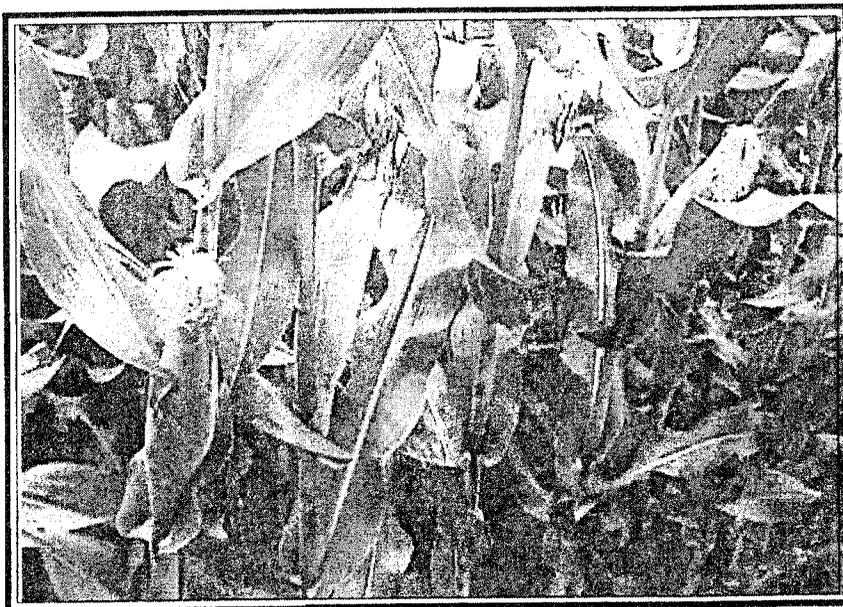
El año 2002 se caracterizó por tener una precipitación de 587.7 mm

en los meses anteriores a la siembra de los ensayos (abril-agosto); ésta se puede considerar dentro de los valores promedios de la precipitación del período 1995-2002 (601.5 mm de precipitación en dicho período). En relación a los meses de ejecución de los ensayos se observó una baja precipitación en el mes de septiembre en los distritos de Los Santos y Guararé, mientras que en Parita y Pedasí se observaron las mayores precipitaciones. El mes de octubre registró lluvias dentro los parámetros normales en la mayoría de las localidades, con excepción del Regadío de Guararé. Los meses de noviembre y diciembre se caracterizaron por una escasa precipitación, muy por debajo de los registros promedios para estos meses en la Región. De acuerdo al análisis de varianza, el ambiente capturó el 68% de la suma de cuadrados total del experimento, lo que sugiere que la mayor variabilidad del experimento se debió al efecto de los distintos ambientes. El Cuadro 4 presenta el rendimiento de grano y algunas de las variables medidas por localidad. El rendimiento promedio a través de las once localidades muestreadas fue de 5.57 t/ha, pero el mismo se vio afectado por la época de siembra de los ensayos.

Se pueden identificar tres grupos ambientales o dominios de recomendación de acuerdo a la fecha de siembra y al número de plantas cosechadas. El primer grupo (Grupo ambiental

A) lo conformó la localidad de El Ejido (sembrado el 29 de agosto y una densidad de 4.83 plantas/m² a la cosecha); el segundo grupo (Grupo ambiental B) lo conforman las localidades de Guararé, San José, Paraíso, Tablas Abajo y La Yeguada; este grupo tiene en común que todos los ensayos fueron sembrados entre el 2 al 10 de septiembre y densidad próxima a 6.00 plantas/m² a la cosecha. El tercer grupo (Grupo ambiental C) lo formaron las localidades de Portobelillo, Los Castillos, La Enea, Agua Buena y Mariabé, sembrados del 11 de septiembre en adelante y densidades de plantas similar al grupo B.

La baja precipitación pluvial de los meses de noviembre y diciembre afectó de manera significativa gran parte de la fase de llenado del grano. En especial, a la etapa que comprende de la antesis (50 dds) al estado R4 o Estado de Masa (80 dds). En cuatro de las cinco localidades del Grupo C se registró una precipitación menor a los 50 mm de lluvia (promedio de 44.7 mm) durante ese período (50-80 dds), lo que se tradujo en rendimientos menores de 5.23 t/ha y pesos de mazorcas menores de 90 g. Al observar la precipitación acumulada en esta fase crítica del desarrollo del cultivo en las localidades del Grupo B, se puede observar que en todas la lluvia sobrepasó los 100 mm (promedio de 218.1 mm). Esta situación se tradujo en que todas las localidades presentaron un rendimiento



CUADRO 3. CUADRADOS MEDIOS Y GRADOS DE LIBERTAD DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA COMBINADO DEL RENDIMIENTO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DEL ENSAYO DE LA PRUEBA REGIONAL DE MAÍZ. AZUERO, 2002.

F. de V	g.l.	Rend	Alpt	ptm ²	mzm ²	mz/pt	Pmz	Aca	Pud	Almz/ Alpt	Curv	Phys
Ambiente	10	83.75**	4700.3**	7.09**	4.94**	0.058**	21024.4**	0.45**	0.009**	0.023**	9.51**	3.21**
Rep (Amb)	22	2.10	531.9	0.35	0.50	0.003	313.6	0.02	0.001	0.007	0.31	0.15
Genotipo	15	8.14**	2448.1**	0.28**	0.61**	0.005**	1674.6**	0.14**	0.005**	0.014**	1.94**	0.23**
Gen x Amb	150	0.71**	146.8*	0.12**	0.22**	0.003**	201.1**	0.01**	0.001**	0.001 ^{n.s.}	0.14**	0.10**
Error	330	0.37	111.7	0.08	0.12	0.002	108.5	0.01	0.001	0.001	0.001	0.05
C.V. (%)		10.9	4.7	4.7	6.0	4.9	10.7	9.0	3.1	6.1	11.2	9.8

** , * = diferencias estadísticas P<0.01 y P<0.05, respectivamente ^{n.s.}= no hay diferencias significativas

Rend = Rendimiento de grano, Alpt = Altura de planta, Ptm² = Plantas por metro cuadrado, Mzm² = Mazorcas por metro cuadrado,

Mz/Pt = Mazorcas por planta, Pmz = Peso de mazorcas, Aca = % plantas acamadas, Pud = % mazorcas podridas, Curv = Curvularia,

Phys = Physoderma, Almz/Alpt = relación altura de mazorca y altura de planta.

CUADRO 4. FECHA DE SIEMBRA, PROMEDIO DE RENDIMIENTO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LA PRUEBA REGIONAL DE MAÍZ SEGÚN LOCALIDADES. AZUERO, PANAMÁ, 2002.

	Fecha. Siembra	ppt 50-80 dds	Rend (t/ha)	ptm ²	Alpt (cm)	Mz/Pt	Pmz (g)	Acame (%)	Pud (%)	Almz/ Alpt	Curv (1-5)	Phys (1-5)
Prom. 11 Localidades												
			5.57	5.87	227	0.98	97.2	33.3	5.9	0.54	2.6	2.4
Grupo A												
	29 Ago	139.0	5.48	4.83	212	1.05	108.5	42.2	8.6	0.55	2.6	
Grupo B (Localidades sin estrés hídrico)												
	2 Sep	109.3	7.71	6.15	232	0.99	126.2	36.8	2.7	0.54	3.3	2.7
	4 Sep	202.3	7.02	6.08	235	0.98	117.9	23.6	6.3	0.54	3.2	2.8
	5 Sep	332.3	6.09	6.12	239	0.98	101.8	59.9	8.6	0.51	2.4	2.2
	9 Sep	165.5	6.46	5.96	230	0.96	112.8	17.6	2.3	0.56	3.0	2.5
	10 Sep	281.3	6.62	5.95	237	0.99	113.4	27.8	6.9	0.52	2.2	2.2
	Promedio	218.1	6.78	6.05	235	0.98	114.4	33.2	5.4	0.53	2.8	2.5
Grupo C (Localidades con estrés hídrico)												
	11 Sep	74.0	3.74	6.09	217	0.97	63.5	29.9	4.9	0.55	2.7	2.1
	13 Sep	44.0	5.23	5.90	218	1.00	89.2	13.9	7.1	0.55	2.6	2.3
	17 Sep	40.0	4.80	5.55	228	0.97	89.3	36.8	5.8	0.54	2.0	2.2
	20 Sep	30.0	3.95	6.06	235	0.96	68.2	67.7	5.9	0.52	2.1	2.5
	24 Sep	35.7	4.20	5.93	214	0.90	78.5	9.7	5.5	0.59	2.2	2.0
	Promedio	44.7	4.38	5.90	223	0.96	77.7	31.6	5.8	0.55	2.3	2.2

ppt = precipitación, dds = días después de siembra.

superior a las 6.00 t/ha (media general de 6.78 t/ha) y pesos de mazorcas superiores a los 100 g. Este efecto se puede apreciar mejor al comparar las dos localidades del distrito de Guararé, cuya diferencia en época de siembra fue de 15 días (2 y 17 de septiembre).

Las diferencias en la época de siembra significó una diferencia de 70 mm de lluvia en la etapa de antesis-estado de masa; lo que se tradujo en una diferencia en rendimiento de aproximadamente 3.0 t/ha, con poblaciones de plantas al momento de la cosecha similares estadísticamente entre sí.

La localidad de El Ejido se comportó distinta a estos dos grupos. A pesar de escapar del estrés de agua y producir mazorcas con buen peso (media de 108 g), el rendimiento fue menor de 6.00 t/ha, debido principalmente a la baja población de plantas al momento de la cosecha (4.83 plantas/m²). Otra variable afectada por esta situación, se observó en el número de mazorcas por planta, las localidades del grupo B presentaron valores mayores (0.98 mz/planta) que las localidades del grupo C (media de 0.96). Las variables porcentaje de plantas acamadas, mazorcas por plantas, porcentaje de mazorcas podridas, enfermedades foliares y la posición de la mazorca con respecto al tamaño de plantas no difirieron significativamente entre los tres grupos.

El alto porcentaje de acame que se observó en localidades de Paraíso, Agua Buena y La Enea (59.9, 67.7 y 36.8%) se debió a que las mismas fueron afectadas por fuertes vientos en el desarrollo del cultivo. En la localidad de El Ejido el factor que incidió en el alto porcentaje de acame fue la cosecha de manera tardía, es decir, se cosechó a los 152 días después de la siembra. Las localidades con el menor porcentaje de plantas acamadas fueron Mariabé, Los Castillos y Tablas Abajo con 9.7, 13.9 y 17.6%, respectivamente.

Efecto de Genotipos

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre los distintos híbridos evaluados para la variable rendimiento de grano, logrando capturar el 10% de la suma de cuadrados del análisis de varianza de esta variable. El Cuadro 5 muestra la media de rendimiento de las 11 localidades, así como el comportamiento de los cultivares en los tres grupos ambientales definidos.

De los cultivares evaluados, 10 sobrepasaron la media general, sobresaliendo de manera significativa el híbrido C-8007 con una media de 6.71 t/ha. Le siguió a este híbrido el grupo de cultivares formado por los híbridos de Pioneer X-1358K y 30K-75 y el híbrido nacional P-0102 con medias de

rendimiento de 6.09, 5.95 y 5.87 t/ha, respectivamente. A estos cultivares le siguió un segundo grupo conformado por los híbridos nacionales PB-0109, PB-0105, P-0104 y los híbridos importados 3041, HS-21 y 30F-80. En cuanto a la población de plantas al momento de la cosecha, no se encontró diferencias estadísticas significativas entre ninguno de los cultivares mencionados, lo que sugiere que las diferencias en rendimientos se deben al potencial de rendimiento y adaptabilidad de cada uno de ellos y no de la cantidad de plantas cosechadas.

En relación a las otras características evaluadas se puede apreciar en el Cuadro 6, los promedios obtenidos para cada una de las variables medidas a través de las 11 localidades. Todos los cultivares son muy similares en su precocidad, es decir, el rango de valores de la floración osciló entre 53 a 55 dds. Con respecto a la altura de las plantas, el híbrido de menor estatura fue el 30K-75 (204 cm), seguido por los híbridos HS-10, C-806 y 30F-80. Las medidas de la altura de la mazorca variaron entre 114 a 133 cm, siendo los híbridos C-806 y X-1358K los cultivares con la posición más baja en este componente.

En cuanto a las principales enfermedades foliares (*Curvularia* sp. y *Physoderma maydis*), no se observó diferencias significativas entre los

cultivares evaluados. De acuerdo a la evaluación en campo, ninguno de los híbridos presentó una calificación superior a 3.0, lo que sugiere que este año, ambas enfermedades no se presentaron en intensidades suficientes para ser una limitante en el desarrollo del cultivo. La baja precipitación en los meses de noviembre y diciembre pudo haber sido el factor que indujo a esta baja incidencia de estos hongos. La otra enfermedad causante de pérdidas en el cultivo, lo es el complejo de hongos que ataca la mazorca (*Diplodia maydis* y *Fusarium* sp.). Al igual que las enfermedades foliares, el porcentaje de mazorcas podridas fue relativamente bajo. Los cultivares 30F-80, HS-21 y HS-10 presentaron los valores más bajos (3.2, 3.4 y 3.8%, respectivamente), mientras que los porcentajes más altos se obtuvieron con los cultivares C-806 y 3041.

En la evaluación del porcentaje de plantas acamadas se encontró diferencias altamente significativas entre los cultivares evaluados. Los altos porcentajes registrados este año, pueden estar estrechamente relacionados con la falta de humedad en las etapas finales del cultivo. Los cultivares de la casa Pioneer 30F-80, X-1358K y 30K-75 sobresalieron por presentar los valores más bajos (menos de 20% de acame). Este resultado puede estar asociado con la baja estatura de los mismos, así como la baja altura de la mazorca.

CUADRO 5. RENDIMIENTO POBLACION DE PLANTAS Y PESO DE MAZORCA DE LOS HÍBRIDOS EVALUADOS. PANAMÁ, 2002.

Cultivares	Rend (t/ha)									ptm ²									Pmz (gr)																																																																																																																																																																																																						
	11 loc.			A			B			C			11 loc.			A			B			C			11 loc.			A			B			C																																																																																																																																																																																							
1. C-8007	6.71	5.76	8.34	5.27	5.94	4.77	6.03	6.07	114.4	111.4	140.2	89.3	6.09	5.22	7.59	4.75	5.89	4.41	5.99	6.08	104.6	113.9	128.0	79.4	5.95	5.12	7.23	4.84	5.94	4.77	6.11	6.02	100.3	97.4	118.5	82.8	5.87	4.96	7.57	4.35	5.82	4.29	6.07	5.87	102.4	112.1	124.5	78.3	5.79	6.27	6.96	4.52	5.93	5.25	5.99	6.00	100.5	112.3	119.5	79.1	5.75	6.58	6.97	4.37	5.97	5.17	6.13	5.96	99.1	122.0	116.3	77.3	5.73	6.59	6.91	4.38	5.91	4.93	6.05	5.96	102.1	134.1	118.8	79.1	5.67	6.04	7.01	4.26	5.97	5.37	6.09	5.96	95.5	103.7	115.7	73.7	5.67	6.00	6.99	4.27	5.95	4.97	6.12	5.98	98.1	119.9	118.1	73.8	5.63	5.54	6.83	4.44	5.94	5.13	6.11	5.94	96.4	96.5	115.2	77.6	5.25	5.33	6.35	4.14	5.77	4.85	5.96	5.77	94.5	107.5	109.4	76.9	5.24	5.83	6.02	4.34	5.95	4.61	6.13	6.03	91.0	120.0	99.7	76.6	5.10	4.74	6.21	4.06	5.77	4.85	6.01	5.71	89.6	91.4	103.4	75.5	5.09	5.22	6.02	4.13	5.72	5.21	5.88	5.65	91.5	95.5	105.3	76.9	4.88	4.45	5.64	4.21	5.73	3.97	6.03	5.78	89.6	110.6	98.1	76.9	4.78	4.12	5.87	3.81	5.77	4.69	6.11	5.65	85.5	87.2	100.2	70.6	Promedio	5.57	5.48	6.78	4.38	5.87	4.83	6.05	5.90	97.2	108.5	114.4	77.7	0.29	0.93	0.45	0.41	0.13	0.68	0.13	0.19	5.04	24.1	7.6	6.9
Promedio	5.57	5.48	6.78	4.38	5.87	4.83	6.05	5.90	97.2	108.5	114.4	77.7	0.29	0.93	0.45	0.41	0.13	0.68	0.13	0.19	5.04	24.1	7.6	6.9																																																																																																																																																																																																	

CUADRO 6. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LA PRUEBA REGIONAL DE MAÍZ SEGÚN CULTIVARES. PANAMÁ, 2002.

	Flor días	Alpt cm	Almz cm	Maz/m ²	Maz/pt	Aca (%)	Mz pod (%)	Curv (1-5)	Phys (1-5)	Aspt (1-5)	Asmz (1-5)	Almz/ Almp
1. C-8007	53	228	123	5.87	0.99	47.5	5.8	2.6	2.6	3.2	2.4	0.54
2. X-1358K	54	231	115	5.81	0.99	16.0	4.4	2.3	2.4	3.0	3.2	0.50
3. 30K-75	53	204	116	5.93	1.00	16.0	7.7	2.5	2.5	2.8	2.9	0.57
4. P-0102	55	239	133	5.70	0.98	34.1	5.7	2.4	2.3	3.3	3.1	0.56
5. PB-0109	54	222	124	5.78	0.98	33.4	5.7	2.4	2.2	3.1	2.9	0.56
6. PB-0105	54	231	129	5.79	0.97	48.7	4.6	2.6	2.3	3.3	2.9	0.56
7. P-0104	53	230	127	5.64	0.95	43.7	4.4	2.7	2.3	3.3	2.9	0.55
8. 3041	54	230	121	5.93	0.99	25.2	8.8	2.5	2.3	2.9	3.3	0.53
9. HS-21	53	224	120	5.79	0.97	41.0	3.4	3.0	2.4	2.8	2.8	0.53
10. 30F-80	55	221	121	5.80	0.98	9.8	3.2	2.3	2.5	2.8	3.1	0.55
11. 3031	54	231	119	5.56	0.96	32.0	7.0	2.4	2.3	3.1	3.1	0.52
12. HS-10	53	219	125	5.78	0.97	43.4	3.8	2.5	2.3	3.2	3.2	0.57
13. P-0106	54	234	128	5.64	0.98	47.0	7.8	2.9	2.4	3.5	3.2	0.55
14. P-0108	54	238	129	5.56	0.97	35.5	5.9	3.0	2.4	3.4	3.0	0.54
15. 3018	54	230	118	5.49	0.96	31.2	7.2	2.6	2.4	3.1	3.2	0.51
16. C-806	53	220	114	5.58	0.97	27.8	8.8	2.4	2.4	3.1	3.3	0.52
Promedio	54	227	123	5.73	0.98	33.3	5.9	2.6	2.4	3.1	3.0	0.54
DMS		5	3.6	0.17	0.02	7.5	1.7	0.1	0.1			0.01

Los cultivares como el PB-0105, C-8007, P-0106, P-0104, HS-10 y HS-21 presentaron porcentajes de plantas acamadas superiores al 40%.

Interacción Genotipo-Ambiente

Para la interpretación de la interacción genotipo-ambiente se utilizó el modelo efectos principales aditivos e interacción multiplicativa conocido como AMMI (Cuadro 7). El resultado de este análisis indicó que los dos primeros ejes (PCA) explicaron el 52% de la interacción genotipo-ambiente con tan sólo el 31% de los grados de libertad. El PCA-1 explicó el 30%, mientras que el PCA-2 fue responsable del 22% con el 16 y 15% de los grados de libertad, respectivamente.

En el Cuadro 8 se presentan las puntuaciones o valores AMMI, tanto de los 16 cultivares como de las 11 localidades, los mismos presentan diferentes patrones de interacción. De acuerdo a las puntuaciones de ambos ejes (PCA-1 y PCA-2) los cultivares más estables y con mejor rendimiento fueron el C-8007, X-1358K y P-0102.

De acuerdo a Yan y col. (2000), al graficar las puntuaciones de ambos ejes principales (PCA1 y PCA2), se puede formar un polígono con los cultivares que quedan en la parte externa de la figura (C-8007, HS-21, P-0104, HS-10, 3018, P-0106, 30K-75 y X-

1358K). Los cultivares localizados en los vértices son considerados los mejores e inferiores dependiendo de su ubicación. En la Figura 1 se pueden identificar claramente tres grupos ambientales; el primer grupo (Grupo Ambiental A) lo forma la localidad de El Ejido (EJ), el segundo (Grupo Ambiental B) lo constituyeron las localidades de Regadío (GU), San José (SJ), Tablas Abajo (TA), Paraíso (PA) y La Yeguada (LY); este grupo de localidades se destacó por su alto potencial de rendimiento. El tercer grupo (Grupo Ambiental C) lo conforman las localidades de Portobelillo (PO), Los Castillos (LC), La Enea (LE), Agua Buena (AB) y Mariabé (MA), con un bajo potencial de rendimiento.

Con relación a la interacción de los genotipos y el ambiente, la Figura 1 muestra los cultivares que se comportaron mejor en cada uno, es decir, según los datos obtenidos, los híbridos C-8007, X-1358K, P-0102 y 30K-75 tuvieron muy buen comportamiento en las localidades de San José, Paraíso y Tablas Abajo. Esto se visualiza por estar en la misma dirección y cuadrante de estas localidades. Por otra parte, se puede observar que los cultivares 3031, P-0108, HS-10, 3018, C-806 y P-0106 tuvieron un mejor comportamiento en las localidades del Grupo Ambiental C. En la localidad de El Ejido se destacaron los cultivares PB-0109, PB-0105 y P-0104.

CUADRO 7. ANÁLISIS DE VARIANZA TIPO IV Y COMPONENTES PRINCIPALES (PCA) PARA LA VARIABLE RENDIMIENTO DE GRANO DE LA PRUEBA REGIONAL DE MAÍZ. AZUERO, PANAMÁ, 2002.

F de V.	g.l.	SC	C. M.	F	P > F
Rep	2	14.267	7.134	16.13	0.0001
Amb	10	837.527	83.753	189.37	0.0001
Gen	15	122.115	8.141	18.41	0.0001
Gen x Amb	150	106.673	0.711	1.61	0.0002
PCA-1	24	32.151	1.340	3.03	0.0000
PCA-2	22	23.873	1.085	2.45	0.0004
PCA-3	20	17.185	0.859	1.94	0.0094
Residuo	84	33.465	1.340	0.90	
Error	350	154.794	0.442		

CONCLUSIONES

Se logró identificar que el grupo de híbridos formado por C-8007, X-1358K, P-0102 y 30K-75 presenta una buena adaptabilidad y buen rendimiento de grano.

Bajo las condiciones climáticas del presente año se observó un efecto significativo en la época de siembra sobre el rendimiento de grano, siendo la siembra antes del 10 de septiembre la más recomendable para obtener buenos rendimientos.

Los híbridos nacionales PB-0109, PB-0105, P-0104 y los híbridos importados 3041, HS-21 y 30F-80 superaron la media de rendimiento de todas las localidades.

RECOMENDACIONES

Dado los resultados obtenidos en el presente trabajo se recomienda la inscripción de los nuevos híbridos C-8007, P-0102, 30K-75, PB-0105, PB-0109 y 30F-80.

CUADRO 8. PUNTUACIONES DE LOS DOS EJES CORRESPONDIENTES A LOS COMPONENTES PRINCIPALES (PCA) PARA LA VARIABLE RENDIMIENTO DE GRANO SEGÚN CULTIVAR Y LOCALIDAD. AZUERO, PANAMÁ, 2002.

Híbrido	Rend (t/ha)	Puntuación PCA-1	Puntuación PCA-2	Localidad	Rend (t/ha)	Puntuación PCA-1	Puntuación PCA-2
C-8007	(D07) 6.71	0.856	-0.100	El Ejido	5.48	-0.807	1.061
X-1358K	(58K) 6.09	0.645	-0.343	Regadio	7.71	0.695	0.550
30K-75	(K75) 5.95	0.226	-0.550	San José	7.02	0.564	0.081
P-0102	(P02) 5.87	0.766	-0.271	Paraiso	6.09	0.646	-0.085
PB-0109	(P09) 5.79	-0.175	0.348	Tablas Abajo	6.46	0.409	-0.708
PB-0105	(P05) 5.75	-0.147	0.464	La Yeguada	6.62	0.413	0.531
P-0104	(P04) 5.73	-0.215	0.725	Portobellillo	3.74	-0.722	-0.427
C-806	(C06) 4.78	-0.114	-0.212	Los Castillos	5.23	-0.351	-0.534
3041	(X41) 5.67	0.131	0.459	La Enea	4.80	0.053	-0.327
HS-21	(H21) 5.67	0.236	0.433	Agua Buena	3.95	-0.532	-0.143
30F-80	(F80) 5.63	0.115	0.493	Mariabé	4.20	-0.369	0.001
3031	(X31) 5.25	-0.232	0.015				
HS-10	(H10) 5.24	-0.765	-0.245				
P-0106	(P06) 5.10	-0.247	-0.635				
P-0108	(P08) 5.09	-0.491	-0.029				
3018	(X18) 4.88	-0.590	-0.552				

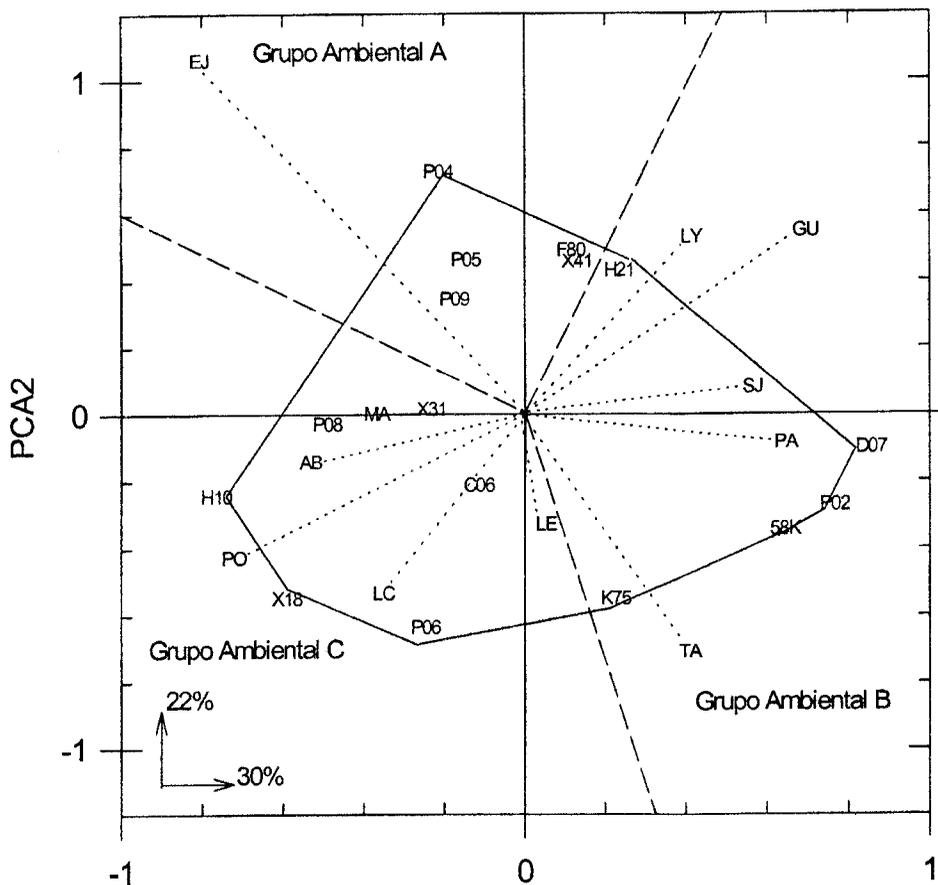


FIGURA 1. PUNTUACIONES DEL PRIMER Y SEGUNDO EJE DEL COMPONENTE PRINCIPAL DE 16 CULTIVARES DE MAÍZ EN 11 AMBIENTES DE PANAMÁ, 2002 (AMMI BIPLLOT).

BIBLIOGRAFÍA

- BECKER, H.C.; LEON, 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, H.G.; ZOBEL, JR., R.W. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Science* 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.
- DÍAZ-ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos y tejidos vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p.
- EBERHART, S. A.; W.A. RUSSELL. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop. Sci.* 6: 36-40.
- FINLAY, K.W., G.N. WILKINSON. 1963. The Analysis of Adaptation in plant breeding program. *Aust. J. Agric. Res.* 14: 742-754.
- GABRIEL, K. R. 1971. The biplot graphics display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika* 58: 453-467.
- GAUCH, H. G.; ZOBEL, R.W. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 76: 1-10.
- 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.
- WESTCOTT, B. 1986. Some methods of analyzing genotype environment interaction. *Heredity* 56: 243-253.
- YAN, W.; HUNT, L.A.; SHENG, Q.; SZLAVNICS, Z. 2000. Cultivar evaluation and Mega Environment Investigation based on the GGE Biplot. *Crop Sci.* 40: 597-605.
- ZOBEL R.W.; WRIGHT, M.J.; GAUCH, JR, H.G. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.* 80: 388-393.