

DETERMINACIÓN DE LA ADAPTABILIDAD Y ESTABILIDAD DE 18 HÍBRIDOS DE MAÍZ DE GRANO BLANCO, A TRAVÉS DE AMBIENTES CONTRASTANTES. AZUERO, PANAMÁ, 2002.

Román Gordón¹; Ismael Camargo²; Jorge Franco³; Andrés González³

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar y seleccionar los híbridos experimentales de maíz con mayor estabilidad y adaptabilidad en el país, se estableció un ensayo en 11 ambientes contrastantes de la Región de Azuero. El material genético consistió de 18 híbridos de grano blanco provenientes del IDIAP y PRM. Se utilizó el diseño experimental de Bloques Completos al Azar con tres repeticiones. La unidad experimental consistió de dos surcos de 5.2 m de largo, separados a 0.8 m. A los datos se les realizó un análisis de varianza combinado y las medias se separaron utilizando la DMS. Para la interpretación de la interacción genotipo por ambiente se usó el modelo Efectos Principales Aditivos e Interacciones Multiplicativas (AMMI), mediante el procedimiento Biplot GGE_{SREG} . El manejo agronómico de los ensayos respecto al control de malezas, plagas y fertilización dependió de su incidencia y de las recomendaciones de la guía para el manejo integrado de maíz mecanizado del IDIAP. El análisis de varianza indicó diferencias significativas ($P < 0.01$) entre genotipos, ambientes y la interacción genotipo-ambiente ($G \times A$), indicando la respuesta diferencial de los híbridos ante los diferentes ambientes. El grupo conformado por PB-0105, PRM-1 y PRM-14, sobresalieron por su alto rendimiento y buenas características agronómicas. El análisis Biplot GGE_{SREG} identificó a los dos primeros como genotipos ideales por presentar un valor alto en el eje PCA-1, asociado a alto rendimiento y un bajo PCA-2, asociado a buena estabilidad. Por otro lado, los híbridos PRM-12 y PRM-2 presentaron el comportamiento más pobre. El modelo separó los sitios en dos grupos ambientales asociados principalmente a la época de siembra. El primer grupo ambiental estuvo formado por cuatro localidades sembradas antes del 10 de septiembre y, el otro, por cuatro localidades que fueron sembradas después de esta fecha. En el primero se observó un alto rendimiento promedio (6.04 t/ha), superando significativamente al otro grupo ambiental (promedio de 4.42 t/ha). Dado la escasez de lluvia de los meses de noviembre y diciembre, los ensayos sembrados antes del 10 de septiembre pudieron escapar al estrés hídrico. Tres localidades, El Ejido, Los Castillos y Tablas Abajo presentaron el mismo patrón discriminatorio. Entretanto, Guararé y San José fueron las localidades que mejor discriminaron los genotipos.

PALABRAS CLAVES: *Zea mays*; maíz blanco; análisis de adaptabilidad y estabilidad; Biplot GGE_{SREG} ; AMMI.

¹ Ing. Agr., M.Sc. Entomología. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero "Ing. Germán De León". Los Santos, Panamá. e-mail: rgordonm@cwpanama.net

² Ph.D. Fitomejoramiento. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Recursos Genéticos (CIARG). e-mail: icamargo@cwpanama.net

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

DETERMINATION OF 18 WHITE CORN HYBRIDS ADAPTABILITY AND STABILITY AMONG CONTRASTING ENVIRONMENT. AZUERO, PANAMÁ. 2002.

With the objective of choosing the experimental corn hybrids with the best stability and adaptability in the country was carried out an experiment throughout 11 contrasting environments in the Azuero Region. The genetic materials of this trial consisted of 18 experimental white hybrids of the IDIAP and PRM. 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 variance was done and the means was separated by the Least Significant Differences (LSD). To estimate adaptability and stability of hybrids and environments, it was used the Additive Main effects and Multiplicative Interaction (AMMI) and GGE Biplot technique. Agronomic management used regarding to weeds and pest control and fertilization depended of its incidence and the recommendation of IDIAP integral corn management guide. The statistical analysis indicated significant differences ($P < 0.01$) among genotypes, environments and the Genotype-Environment Interaction, indicating the differential response of hybrids in front the different environments. The hybrid group formatted by PB-0105, PRM-1 and PRM-14 outstanding by its high yield and well agronomics characteristics throughout all environments. The GGE_{SREG} Biplot analysis identified at both first hybrid like to most stables due to present PCA-1 high scores, associated to high yield and PCA-2 low score associated to good stability. By the way, PRM-12 and PRM-2 presented the worst behavior. The model separated the environments in two environmental groups, associated to planting dates. The first environmental group was formed by four localities sowing after September 10 and the other group formed by four localities sowing before this date. The first group presented high yield (6.04 t/ha), and was significant different to other environmental groups (4.42 t/ha). Due to rainfall scarcity in November and December, the trials planting at the beginning could escape to water stress. El Ejido, Los Castillos and Tablas Abajo presented the same discriminatory canon. In the meantime, Guararé and San José were the environments with the best discriminatory canon.

KEY WORDS: *Zea mays*; white corn; stability analysis and adaptability; GGE_{SREG} Biplot; AMMI.

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de híbridos de maíz, el valor de las líneas endogámicas está definido por su capacidad de combinación, así como por el comportamiento *per se* a través de ambientes contrastantes. Genéricamente, el término capacidad de combinación significa la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros; dicha capacidad es medida por

medio de su progenie en campo (Márquez, 1991). Los conceptos de Capacidad Combinatoria General (CCG) y Capacidad Combinatoria Específica (CCE) fueron introducidos por Sprague y Tatum (1942). En la práctica, éstos permiten seleccionar líneas con buen comportamiento promedio en una serie de cruzamientos e identificar combinaciones híbridas específicas con un comportamiento superior a lo esperado en base al promedio de los

progenitores; según el modelo o los objetivos planteados, son numerosas las metodologías a emplear (Comstock y Robinson, 1948; Griffing, 1956; Hayman, 1954; Gardner y Eberhart, 1966).

La interacción genotipo-ambiente es un fenómeno que se observa en 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 son metodologías empleadas ampliamente para explicar la interacción G x A (Finlay y Wilkinson, 1963; Eberhart y Russell, 1966; Perkins y Jinks, 1968).

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; Zobel y col., 1988; Crossa, 1988; Crossa, 1990; Crossa y col., 1990; Crossa y col., 1991).

Por otro lado, independientemente de la metodología empleada para estimar la interacción genotipo-ambiente, hay que determinar el 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, que consiste en un análisis gráfico de datos del comportamiento de cada genotipo obtenido en ensayos a través de múltiples ambientes. Se utiliza un polígono en donde se destacan los mejores cultivares en los vértices del mismo, así como la formación de grupos ambientales con características parecidas que discriminan de manera similar los cultivares evaluados.

El presente trabajo tuvo como objetivos determinar la adaptabilidad y estabilidad de 18 híbridos de grano blanco generados por IDIAP y PRM; identificar genotipos promisorios con buena estabilidad de rendimiento y características agronómicas deseables, bajo diversos ambientes de la región de Azuero 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 productores de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se ejecutó en 11 localidades de la región de Azuero, en par-

CUADRO 1. UBICACIÓN, FECHA DE SIEMBRA Y COSECHA DE LAS 11 LOCALIDADES DEL ENSAYO DE EVALUACIÓN DE HÍBRIDOS BLANCOS 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'	13-sep-02	13-ene-03
3.	El Ejido	Los Santos	Los Santos	7°54.488'	80°22.307'	29-ago-02	29-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'	03-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.	Paraíso	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	Pedasí	7°33.304'	80°02.523'	24-sep-02	24-ene-03

celas facilitadas por productores de maíz, durante la segunda época de siembra del año 2002 (Cuadro 1). Esta región se caracteriza por tener dos épocas bien marcadas de humedad, una seca (enero-mayo) y otra lluviosa (mayo-diciembre) con una media anual de 1,200 mm de lluvia. Los suelos son del orden Alfisol del grupo Haplustalf. La región está ubicada entre los 80-81° longitud Oeste y 7-8° latitud Norte. El grupo de cultivares evaluados provienen del Proyecto de Mejoramiento Genético del IDIAP en conjunto con el Programa Regional de Maíz (PRM) (Cuadro 2); en su mayoría consistió en cruzar las líneas élites del PRM con el probador CML247 x CML254 del CIMMYT.

La densidad inicial de siembra utilizada fue de 6.25 pt/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 13-26-6-7 al momento de la 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. Todos los experimentos fueron sembrados en terrenos cuya preparación del suelo consistió de dos a tres pases de Roma semi-pesada.

El control de malezas consistió en la aplicación en pre-emergencia de la mezcla de atrazina y pendimetalina,

a razón de 1.50 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 variables como: altura de planta y mazorca, rendimiento de grano, 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 maidis*).

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

CUADRO 2. NOMBRE Y ORIGEN DE HÍBRIDOS EVALUADOS EN EL ENSAYO DE EVALUACIÓN DE HÍBRIDOS BLANCOS DE MAÍZ. AZUERO, PANAMÁ. 2002.

Cultivar	Genealogía
1. PRM-1	(CML247 x CML254) * Pob.29(STE)C2-1707-189-5-1
2. PRM-2	(CML247 x CML254) * Pob.21(STE)C2-1701-14-1-2
3. PRM-3	(CML247 x CML254) * Pob.23(STE)C2-1703-23-1-1
4. PRM-4	(CML247 x CML254) * Pob.23(STE)C2-1703-61-3-3
5. PRM-5	(CML247 x CML254) * Pob.25(STE)C2-1705-40-4-4
6. PRM-6	(CML247 x CML254) * Pob.29(STE)C2-1707-198-1-1
7. PRM-7	(CML247 x CML254) * Pob.29(STE)C2-1707-218-1-1
8. PRM-8	(CML247 x CML254) * Pob.29(STE)C2-1707-64-2-3
9. PRM-9	(CML247 x CML254) * Pob.73TLC3#-74-1-2-2-1-#-B
10. PRM-10	(CML247 x CML254) * Pob.73TLC3#-74-1-2-2-2-#
11. PRM-11	(CML247 x CML254) * Pob.73TLC3#-74-2-5-2-B
12. PRM-12	(CML247 x CML254) * Pob.73TLC3#-105-1-2-1-1-#
13. PRM-13	(CML247 x CML254) * CL-02157
14. PRM-14	(CML247 x CML254) * CLG2409
15. PRM-15	(CL-02168 x CL00303) * CLG2409
16. PRM-16	P73NIC2 x P76SAL1. (Sint. 1 x Sint. 2-Ensayo Sints. 2001)
17. 247 x 254	CML247 x CML254
18. PB-0105	(CML 247 x CML254) * Pob 23 (STE) C2-1703-61-3-3

IDIAP (Ciénega Larga, El Ejido y París). 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:

$$X_{ijl} = \mu + G_i + B_{j(i)} + A_l + (GA)_{il} + e_{ijl}$$

en donde:

- X_{ijl} = valor del carácter estudiado
 μ = media general
 G_i = efecto de genotipo
 $B_{j(i)}$ = efecto de bloques dentro de repetición
 A_l = efecto de ambiente
 $(GA)_{il}$ = efecto de la interacción genotipo-ambiente
 e_{ijl} = 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 a través de las diferencias mínimas significativas (DMS).

Para el análisis estadístico de las variables porcentaje de plantas acamadas y de mazorcas podridas, se realizó el análisis de la variable transformada por el método de la raíz cuadrada más un medio.

Luego del análisis combinado para el rendimiento se realizó un análisis de

covarianza a cada localidad y uno al combinado, utilizando la variable plantas/m² como covariable.

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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado del rendimiento y algunas características agronómicas se presenta en el Cuadro 3. Se observó una diferencia significativa entre ambientes y cultivares para todas las variables estudiadas. La interacción genotipo ambiente resultó altamente significativa ($P < 0.01$) para

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	gl	Rend	Rend ¹ cov	Alpt	Ptm ²	Mzm ²	Mz/Pt	Pmz	Aca %	Pud %	Almz/ Alpt	Phys
Ambiente	10	73.53**	74.722**	6709**	5.40**	3.67**	0.074**	25374**	0.676**	0.007**	0.016**	3.568**
Rep (Amb)	22	0.86	0.774	554	0.29	0.28	0.006	222	0.032	0.001	0.003	0.126
Genotipo	17	6.74**	4.967**	1133**	1.45**	1.96**	0.013**	1688**	0.055**	0.004**	0.006**	0.165 ^{ns}
Gen x Amb	170	0.68**	0.557**	138*	0.19**	0.31**	0.005 ^{ns}	182**	0.007**	0.001**	0.001*	0.064 ^{ns}
Error	367	0.35	0.308	109	0.134	0.20	0.004	107	0.005	0.0005	0.0009	0.055
Ptm ²	1		14.81**									
CV (%)		11.10	10.50	4.50	6.70	8.50	6.80	10.40	7.20	3.10	5.60	10.20

* = Diferencia significativa (P<0.05), ** = Diferencia altamente significativa (P<0.01), ns = no hay diferencia significativa

¹ Cuadros medios del análisis de covarianza para la variable rendimiento, los grados de libertad del error es 366 y de la covariable 1
 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, Almz/Alpt = relación altura de mazorca y altura de planta, Phys = Physoderma.

CUADRO 4. CUADROS MEDIOS Y GRADOS DE LIBERTAD DE LAS FUENTES DE VARIACIÓN DEL ANÁLISIS DE COVARIANZA DE LA VARIABLE RENDIMIENTO DE GRANO POR LOCALIDAD. AZUERO, PANAMÁ. 2002.

F de V	gl	Ejido	Guar	S. José	T. Abajo	Paraiso	Yeguada	Port.	L. Cast.	Enea	A. Buena	Mariabé
Rep	2	1.603**	1.839**	0.662 ^{ns}	0.550 ^{ns}	0.996 ^{ns}	0.517 ^{ns}	0.632 ^{ns}	0.656*	0.016 ^{ns}	0.354 ^{ns}	0.220 ^{ns}
Genotipo	17	0.807**	1.847**	1.746**	1.228**	1.110**	0.617*	0.519*	0.628**	0.588**	0.331 ^{ns}	0.149 ^{ns}
Error	33	0.222	0.264	0.593	0.395	0.374	0.337	0.271	0.243	0.187	0.306	0.192
Ptm ²	1	2.324**	2.604**	5.023**	0.441 ^{ns}	1.380*	2.824**	0.000 ^{ns}	2.388*	1.484**	0.132 ^{ns}	1.433**
CV (%)		8.1	6.9	13.6	12.8	10.4	8.8	13.1	8.9	8.8	16.3	10.1

*= Diferencia significativa (P<0.05), ** = Diferencia altamente significativa (P<0.01), ns = no hay diferencias significativas

todas las variables estudiadas, con excepción para la variable mazorca por planta (Mz/Pt) y calificación de *Physoderma*.

En el año 2002 se registró una precipitación de 587.7 mm en los meses anteriores a la siembra de los ensayos (abril-agosto); ésta se considera igual a la media de la precipitación del período 1995-2002 (601.5 mm de precipitación en dicho período). El mes de septiembre presentó una baja precipitación en los distritos de Los Santos (71.0 mm) y Guararé (90.0 y 78.1 mm), mientras que en Parita (220.0 mm) y Pedasí (309.7 mm) se observaron las mayores precipitaciones. El mes de octubre registró lluvias dentro los parámetros normales en la mayoría de las localidades (214.8 mm), con excepción de El Regadío de Guararé (72.6 mm). Los meses de noviembre y diciembre se caracterizaron por una escasa precipitación (89.6 y 9.2 mm, respectivamente), la cual estuvo muy por debajo de los registros promedios (1995-2002) para estos meses en la Región (Cuadro 5).

Efecto de localidades

De acuerdo al análisis de varianza, el ambiente capturó el 66% 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 5 presenta el rendimien-

to de grano y algunas de las variables medidas por localidad. El rendimiento promedio a través de las 11 localidades muestreadas fue de 5.30 t/ha, pero el mismo se vio afectado por la época de siembra de los ensayos.

Se logró identificar dos grupos ambientales o dominios de recomendación de acuerdo a la fecha de siembra. El primer grupo (Grupo ambiental A) lo conformaron los ensayos sembrados en las localidades de El Ejido, Guararé, San José, Paraíso, Tablas Abajo y La Yeguada; todas estas localidades fueron sembrados entre el 2 al 10 de septiembre. El segundo grupo (Grupo ambiental B) lo formaron las localidades de Portobelillo, Los Castillos, La Enea, Agua Buena y Mariabé, sembrados del 11 de septiembre en adelante.

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, se afectó la etapa de la anthesis (50 dds) al estado R2 (80 dds). Durante este período, en cuatro de las cinco localidades del Grupo B se registró una precipitación menor a los 50 mm de lluvia (promedio de 44.7 mm), lo que se tradujo en rendimientos menores de 5.0 t/ha, con pesos de 82.6 g/mazorca. En las localidades del Grupo A, la precipitación acumulada en esta fase del cultivo, no fue menor de 100 mm (promedio de 205.0 mm).

CUADRO 5. FECHA DE SIEMBRA, PROMEDIO DE RENDIMIENTO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LA PRUEBA REGIONAL DE MAÍZ SEGÚN LOCALIDADES, AZUERO, PANAMÁ, 2002.

Localidades	Fecha Siembra	Ppt 50-80 ods	Rend (t/ha)	Ptm ²	Alpt (cm)	Mz/Pt	Pmz (g)	Acame (%)	Pud (%)	Almz/Alpt	Phys (1-5)
Prom. 11 Localidades			5.30	5.48	230	0.98	99.6	42.2	6.4	0.55	2.3
Grupo A (Sin estrés hídrico)											
El Ejido	29 ago	139.0	5.82	4.81	210	1.06	115.4	34.2	7.3	0.57	2.6
Regadío	2 sep	109.3	7.43	5.68	243	1.00	132.2	44.1	4.5	0.58	2.5
San José	4 sep	202.3	5.72	5.42	231	0.93	111.6	40.5	8.5	0.53	2.8
Paraiso	5 sep	332.3	4.88	5.79	240	0.99	85.3	80.1	9.9	0.52	2.1
Tablas Abajo	9 sep	165.5	5.86	5.40	238	0.96	113.1	42.9	4.5	0.56	2.6
La Yeguada	10 sep	281.3	6.54	5.29	236	1.00	124.4	21.7	6.2	0.55	2.1
Promedio		205.0	6.04	5.40	233	0.99	113.7	43.9	6.8	0.55	2.5
Grupo B (Con estrés hídrico)											
Portobellillo	11 sep	74.0	3.95	5.78	226	0.97	71.2	43.6	4.4	0.55	2.2
Los Castillos	13 sep	44.0	5.53	5.70	227	0.99	97.7	15.0	5.2	0.57	2.1
La Enea	17 sep	40.0	4.88	5.09	234	0.99	97.2	55.6	6.1	0.54	2.1
Agua Buena	20 sep	30.0	3.39	5.49	235	0.94	66.1	73.3	5.4	0.55	2.2
Mariabé	24 sep	35.7	4.33	5.78	210	0.93	80.9	13.5	8.1	0.56	2.0
Promedio		44.7	4.42	5.57	226	0.96	82.6	40.2	5.8	0.55	2.1

1 Rend = Rendimiento de grano, Ptm² = Plantas por metro cuadrado, Alpt = Altura de planta, Mz/Pt = Mazorcas por planta, Pmz = Peso de mazorcas, Aca = % plantas acamadas, Pud = % mazorcas podridas, Almz/Alpt = relación altura de mazorca y altura de planta, Phys = Physoderma.

Esto se tradujo en rendimientos superiores a las 5 t/ha (media general de 6.04 t/ha) y pesos de las mazorcas de 113.7 g (Cuadro 5). En la localidad de Paraíso el alto porcentaje de acame observado en la etapa de llenado del grano (80.1%), fue el factor que contribuyó en el bajo del rendimiento de la parcela (4.88 t/ha), el acame afectó principalmente el tamaño de la mazorca (85.3 g).

Otra variable afectada por el estrés hídrico, fue el número de mazorcas por planta, las localidades del Grupo A presentaron una media de 0.98 Mz/Pt, mientras que las localidades del Grupo B presentaron una media de 0.96 Mz/Pt. El resto de las variables evaluadas no difirió significativamente entre los dos grupos. El alto porcentaje de acame que se observó en Paraíso, Agua Buena y La Enea (80.1, 73.3 y 55.6%) se debió a que las mismas fueron afectadas por fuertes vientos durante el desarrollo del cultivo (Cuadro 5).

Efecto de Genotipos

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ($P < 0.01$), 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 6 muestra la media de rendimiento de las 11 localidades, así como

el comportamiento de los cultivares en los dos grupos ambientales definidos.

De los cultivares evaluados, nueve sobrepasaron la media general, sobresaliendo de manera significativa los híbridos PRM-1, PRM-14 y PB-0105 con rendimientos promedios de 5.92, 5.91 y 5.89 t/ha, respectivamente. Este grupo de cultivares tuvo un rendimiento 8% superior a la cruz simple, la cual forma parte de la genealogía de los mismos. Esto sugiere que la línea macho por la cual fue cruzada para obtener los híbridos triples experimentales, no afectó la heterosis de la cruz simple. Le siguieron a este grupo los híbridos PRM-8, PRM-11, 247 x 254, PRM-6 y PRM-3 con medias de rendimiento de 5.60, 5.49, 5.49, 5.43 y 5.35 t/ha, respectivamente. En cuanto a la población de plantas, al momento de la cosecha, se encontró diferencias significativas estadísticamente entre algunos los cultivares mencionados. Debido a esto, se realizó el análisis de covarianza y los rendimientos obtenidos fueron ajustados utilizando las población de plantas como covariable para poder ajustar la comparación entre los cultivares evaluados.

El Cuadro 7 muestra 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 flora-

CUADRO 6. RENDIMIENTO, POBLACIÓN DE PLANTAS Y PESO DE MAZORCA DE 18 HÍBRIDOS, SEGÚN GRUPOS AMBIENTALES. AZUERO, PANAMÁ. 2002.

Cultivares	Rend (t/ha)				Ptm ²			Pmz (g)		
	11 loc.	% ¹	A	B	11 loc.	A	B	11 loc.	A	B
PRM-1	5.92	108	6.89	4.75	5.80	5.80	5.81	110.1	127.7	88.9
PRM-14	5.91	108	6.98	4.64	5.39	5.31	5.48	108.2	127.6	87.6
PB-0105	5.89	107	6.82	4.77	6.01	5.97	6.03	104.0	119.8	84.0
PRM-8	5.60	102	6.52	4.49	5.45	5.35	5.56	103.9	119.9	84.8
PRM-11	5.49	100	6.23	4.59	5.46	5.33	5.62	105.3	118.9	88.9
247 x 254	5.49	100	6.39	4.40	5.16	5.23	5.08	104.0	121.1	85.8
PRM-6	5.44	99	6.25	4.48	5.48	5.40	5.59	101.5	116.9	83.1
PRM-3	5.43	99	6.14	4.59	5.65	5.57	5.74	98.6	110.9	83.7
PRM-13	5.35	98	6.20	4.33	5.36	5.30	5.43	106.5	125.8	83.4
PRM-9	5.28	96	5.86	4.58	5.55	5.40	5.72	99.0	112.2	83.1
PRM-4	5.25	96	6.00	4.34	5.48	5.38	5.59	98.8	112.6	82.3
PRM-15	5.21	95	6.06	4.18	5.07	5.04	5.11	101.8	117.7	82.6
PRM-5	5.08	93	5.81	4.21	5.62	5.54	5.72	90.2	102.7	75.1
PRM-10	5.07	92	5.66	4.35	5.30	5.13	5.49	94.7	108.1	79.5
PRM-7	5.02	91	5.48	4.47	5.49	5.50	5.48	92.8	99.6	84.8
PRM-16	4.79	87	5.32	4.15	5.31	5.23	5.40	92.8	105.0	79.0
PRM-12	4.64	85	5.19	4.00	5.51	5.32	5.72	88.1	100.2	74.4
PRM-2	4.59	84	4.96	4.15	5.50	5.40	5.62	86.8	95.5	76.3
Promedio	5.30		6.04	4.42	5.48	5.40	5.57	99.3	113.5	82.6
DMS	0.27		0.40	0.35	0.18	0.25	0.25	5.0	7.5	8.2

¹ Representa el porcentaje de aumento con respecto a la cruce simple 247 x 254.

CUADRO 7. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE 18 CULTIVARES DE MAÍZ BLANCO EN 11 LOCALIDADES DE AZUERO, PANAMÁ, 2002.

Cultivares	Flor días	Alpt cm	Almz cm	Mz/m ²	Mz/pt	Aca (%)	Mz pod (%)	Curv (1-5)	Phys (1-5)	Aspt (1-5)	Asmz (1-5)	Almz/Almp
PRM 1	54	227	125	5.52	0.95	44.6	9.3	2.5	2.2	3.2	2.9	0.55
PRM 2	55	235	131	5.33	0.97	64.4	9.5	2.8	2.4	3.5	3.1	0.56
PRM 3	54	236	126	5.62	1.00	40.1	5.5	2.5	2.2	3.1	2.9	0.53
PRM 4	54	230	131	5.35	0.98	48.2	7.1	2.4	2.3	3.2	3.0	0.57
PRM 5	54	227	129	5.72	1.03	54.6	6.1	2.8	2.3	3.4	3.2	0.57
PRM 6	55	233	129	5.37	0.98	33.7	6.1	2.5	2.3	3.2	3.0	0.55
PRM 7	54	229	129	5.42	0.99	36.5	6.8	2.8	2.5	3.3	3.1	0.56
PRM 8	55	232	128	5.38	0.99	35.8	6.8	2.5	2.3	3.2	2.9	0.55
PRM 9	54	222	126	5.44	0.98	40.5	4.4	2.8	2.4	3.2	3.0	0.57
PRM 10	55	236	131	5.27	1.00	61.9	7.4	2.4	2.3	3.5	3.1	0.56
PRM 11	55	237	128	5.22	0.96	46.9	5.2	2.4	2.3	3.2	2.8	0.54
PRM 12	53	230	127	5.30	0.96	45.3	4.6	2.9	2.4	3.3	3.2	0.55
PRM 13	55	230	125	5.00	0.93	32.3	5.7	2.5	2.3	3.0	2.9	0.54
PRM 14	54	234	125	5.33	0.99	30.5	5.2	2.3	2.2	2.9	2.8	0.53
PRM 15	54	227	120	5.00	0.98	38.3	9.0	2.5	2.2	2.9	3.0	0.53
PRM 16	54	236	132	5.08	0.96	40.1	6.9	2.8	2.5	3.4	3.3	0.56
247 x 254	55	210	121	5.05	0.98	34.4	4.3	2.3	2.2	2.7	2.9	0.58
PB-0105	54	228	129	5.94	0.99	31.7	4.8	2.8	2.4	3.1	2.9	0.56
Promedio	54	230	127	5.35	0.98	42.2	6.4	2.6	2.3	3.2	3.0	0.55
DMS	0.04	5	3	0.22	0.03	0.1	0.02	0.13	0.11	0.02	0.02	0.01

Alpt = Altura de planta, Almz = Altura de mazorca, Mz/m² = Mazorcas por metro cuadrado, Mz/Pt = Mazorcas por planta, Aca = % plantas acamadas, Mz pod = % mazorcas podridas, Curv = Curvatura, Phys = Physoderma, Aspt= aspecto de planta, Asmz= Almz/Alpt = relación altura de mazorca y altura de planta.

ción femenina osciló entre 53 a 55 dds. Con respecto a la altura de las plantas, el híbrido de menor estatura fue el 247 x 254 (210 cm), seguido por los híbridos PRM-9, PRM-1, PRM-5 y PRM-15. Las medidas de la altura de la mazorca variaron entre 120 a 132 cm, siendo los híbridos PRM-15 y 247 x 254 los cultivares con la posición más baja de este componente.

En cuanto a las principales enfermedades foliares (*Curvularia* sp y *Physoderma maydis*), no se observaron diferencias significativas entre los cultivares evaluados. De acuerdo a la evaluación en campo, ninguno de los híbridos presentó una calificación superior a 2.8, 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 la 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 PRM-1 PRM-2 y PRM-15 presentaron los valores más altos (9.3, 9.5 y 9.0%, respectivamente), mientras que los porcentajes más bajos se obtuvieron con los cultivares PRM-12 y 247 x 254.

La evaluación del porcentaje de plantas acamadas presentó diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) 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. Cultivares como el PRM2, PRM-5 y PRM-10 presentaron porcentajes de plantas acamadas superiores al 50%.

Interacción Genotipo-Ambiente

Para la interpretación de la interacción genotipo-ambiente se utilizó el modelo Biplot GGE (Cuadro 8). El resultado de este análisis indicó que los dos primeros ejes (PCA) explicaron el 62% de la interacción genotipo-ambiente con tan sólo el 31% de los grados de libertad. El PCA-1 explicó el 43%, mientras que el PCA-2 fue responsable del 19% con el 16 y 15% de los grados de libertad, respectivamente.

En el Cuadro 9 se presentan las puntuaciones de los dos primeros ejes del componente principal de la interacción GxA, tanto de los 18 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 PRM-14, PRM-1, PB-0105 y la cruce simple 247 x 254.

CUADRO 8. ANÁLISIS DE VARIANZA TIPO IV Y COMPONENTES PRINCIPALES (PCA) DE LA INTERACCIÓN GXA PARA LA VARIABLE RENDIMIENTO DE GRANO. AZUERO, PANAMÁ. 2002.

F de V	gl	SC Tipo IV	CM	F	Pr < F
Amb	10	737.75	73.77	239.45	0.01
Gen	17	88.65	5.21	16.92	0.01
Gen x Amb	170	95.70	0.56	1.83	0.01
PCA-1	26	40.77	1.57	5.09	0.01
PCA-2	24	18.37	0.76	2.48	0.01
PCA-3	22	11.72	0.53	1.73	0.02
Residuo	104	24.82	0.24		
Error (Tipo III)	367	127.57			

CUADRO 9. 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	Puntuación PCA-1	Puntuación PCA-2	Localidad		Puntuación PCA-1	Puntuación PCA-2
PRM 1 (P-1)	0.659	0.513	El Ejido	(EJ)	-0.088	0.340
PRM 2 (P-2)	-0.626	-0.064	Regadio	(GU)	0.614	0.986
PRM 3 (P-3)	-0.009	-0.391	San José	(SJ)	1.201	-0.738
PRM 4 (P-4)	-0.089	0.612	Paraíso	(PA)	0.500	-0.456
PRM 5 (P-5)	-0.296	0.163	Tablas Abajo	(TA)	0.099	0.313
PRM 6 (P-6)	0.150	0.234	La Yeguada	(LY)	-0.028	0.320
PRM 7 (P-7)	-0.276	-0.632	Portobello	(PO)	-0.862	-0.429
PRM 8 (P-8)	0.517	0.124	Los Castillos	(LC)	-0.063	0.170
PRM 9 (P-9)	-0.471	-0.323	La Enea	(EN)	-0.132	-0.431
PRM 10 (P-10)	-0.642	0.592	Agua Buena	(AB)	-0.426	0.102
PRM 11 (P-11)	-0.279	0.450	Mariabé	(MA)	-0.813	-0.178
PRM 12 (P-12)	-0.478	-0.236				
PRM 13 (P-13)	0.124	0.201				
PRM 14 (P-14)	0.815	-0.141				
PRM 15 (P-15)	0.282	0.013				
PRM 16 (P-16)	-0.416	-0.374				
247 x 254 (CS)	0.533	-0.323				
PB-0105 (PB-5)	0.501	-0.418				

En 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 PRM-14, 247 x 254 y PB-0105 tuvieron muy buen comportamiento en las localidades de San José y Paraíso. Esto se visualiza por estar en la misma dirección y cuadrante de estas localidades.

Por otra parte, se puede observar que los cultivares PRM-2, PRM-12, PRM-8, PRM-7 y PRM16 tuvieron un mejor comportamiento en las localidades Mariabé, Portobelillo y La Enea. La gráfica Biplot GGE identificó las localidades de El Regadío en Guararé y San José como las localidades que mejor discriminaron los genotipos. Por su parte, El Ejido, Los Castillos, La Yeguada y Tablas Abajo son localidades que tienen el mismo patrón discriminador, por estar en la misma dirección. Mariabé y Portobelillo también presentaron un patrón discriminador similar.

CONCLUSIONES

- Se logró identificar que el grupo de híbridos formado por PRM-14, PRM-1, PB-0105 y la cruz simple 247x254 presentan 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 las siembras antes del 10 de septiembre más recomendables para obtener buenos rendimientos.

- Los híbridos PRM-14, PRM-1 y PB-0105 superaron en 8% el rendimiento a la cruz simple 247 x 254.
- El Ejido, Los Castillos y Tablas Abajo presentaron el mismo patrón discriminador, mientras que, Guararé y San José fueron las localidades que mejor discriminaron los genotipos.

BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- COMSTOCK, R.E.; ROBINSON, H.F. 1948. The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics* 4: 254-266.
- 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.; JR.; 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, H.G. 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 program. *Aust. J. Agric. Res.* 14: 742-754.
- GARDNER, C.O.; EBERHART, S.A. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics* 22: 439-452.
- GAUCH, H. G.; ZOBEL, R.W. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 76: 1-10.
- GRIFFING, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Austr. Journ of Biol. Science* 9: 463-493.
- HAYMAN, B.J. 1954. The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics* 39: 789-809.
- LIN, C.S.; BINNS, M.R.; LEFKOVITH, L.P. 1986. Stability analysis. Where do we stand? *Crop Sci.* 26: 894-900.
- MARQUEZ, F. 1988. *Genotecnia Vegetal Métodos, Teoría, Resultados.* México D. F. 500 p.
- 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.
- SPRAGUE, G.F.; TATUM, L.A. 1942. General vs specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34: 923-932.
- 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.