

EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE 15 HÍBRIDOS DE MAÍZ EN 10 AMBIENTES DE LA REGIÓN DE AZUERO. PANAMÁ. 2003.

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

RESUMEN

Se estableció un ensayo a través de 10 ambientes de la Región de Azuero, con el fin de seleccionar los cultivares de maíz con mayor estabilidad y adaptabilidad en la región. El material genético consistió de 15 híbridos blancos y amarillos del IDIAP, Pioneer y Monsanto. 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. Se realizó un análisis de varianza combinado y las medias se separaron utilizando la DMS. Para estimar la adaptabilidad y estabilidad de los híbridos y de los ambientes se usó el modelo AMMI y Biplot GGE. El manejo agronómico de los ensayos, respecto al control de malezas y plagas, dependió de su incidencia y de las recomendaciones de la guía para el manejo integrado de maíz mecanizado del IDIAP. Se aplicó 200 kg de N/ha en tres aplicaciones, a la siembra en forma de abono completo a razón de 227 kg de 13-26-6-7/ha y, el resto, en forma de urea en dos aplicaciones, la primera a los 21 días después de siembra (dds) y la segunda a los 37 dds (159 y 204 qq/ha, respectivamente). Los análisis estadísticos indicaron 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 C-8003, C-8007, PB-013 y PB-0105 sobresalieron por su alto rendimiento y buenas características agronómicas. A este grupo le siguieron los cultivares CLRCYX-13, 30R92, X-1358K CLRCYX-19 y 30F-80 con rendimientos superiores a las 7 t/ha. El análisis de estabilidad identificó a los híbridos C-8003 y C-8007 como los más estables. El rendimiento de grano obtenido este año superó en más de una tonelada al rendimiento promedio de los últimos cuatro años. Este aumento en rendimiento puede atribuirse al ajuste en la fertilización nitrogenada, producto de los trabajos de investigación realizados por el proyecto en años previos. El análisis de la precipitación durante el desarrollo del cultivo en este año, definió dos grupos de localidades en relación al estrés sufrido en la fase de llenado del grano.

PALABRAS CLAVES: *Zea mays*; maíz; híbridos; adaptación; Panamá.

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). email: icamargo@cwpanama.net.

³ Agro. Centro de investigación Agropecuaria de Azuero 'Ing. Germán De León'. Los Santos, Panamá.

STABILITY EVALUATION OF 15 CORN HYBRIDS AMONG 10 ENVIRONMENTS OF AZUERO REGION. PANAMA. 2003.

A trial was carried out among 10 environments of Azuero Region, with the objective of selecting the hybrids with the best adaptability and stability. The genetic pool of this experiment consisted in 15 white and yellow corn hybrids. A Complete Randomized Block Design with three replications was used; the experimental plots consisted by two rows of 5.2 m of length, separates by 0.8 m. A combined analysis of variances was done and the means were 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 (Genotype plus Genotype-Environment interaction). The agronomic management was based by IDIAP integrated corn mechanized management recommendation. It was applied 200 kg N/ha in three splits. The first application was at the planting moment (227 kg 13-26-6-7/ha), the second application at 21 days after planting (dap) and the last one at 37 dap (159 and 204 kg/ha, respectively). 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 of the different environments. The hybrid group formatted by C-8003, C-8007, PB-013 and PB-0105 outstanding by its high yield and well agronomics characteristics throughout all environments. The hybrids CLRCYX-13, 30R92, X-1358K CLRCYX-19 and 30F-80 followed this group, with yields higher than 7 t/ha. The stability analysis identified C-8003 and C-8007 like the most stables. The grain yield of this year increased in more than one tons the average of four previous years. This yield increment could be attributed to nitrogen fertilization adjustment, due to previous project researches. The rainfall analysis of this year in the crop development defined two localities groups according to water stress suffered in grain filled phase.

KEY WORDS: *Zea mays*; corn; hybrids; adaptation; Panama.

INTRODUCCIÓN

La selección de genotipos de maíz que interaccionen lo menos posible con el ambiente ha sido uno de los principales objetivos en los Programas de Mejoramiento Genético, tanto de las instituciones estatales como de las empresas que se dedican a la venta de germoplasmas. La evaluación de genotipos, a través de distintos ambientes, principalmente en ambientes

contrastantes, es una de las prácticas más usuales para la recomendación de nuevos materiales a los productores de una región o zona específica. La interacción genotipo-ambiente ocurre cuando hay respuestas diferentes de los genotipos en relación con la variación del ambiente.

La estabilidad es un término que ha tenido diferentes connotaciones según el uso que se le quiera dar. Allard y

Hansche (1969), citados por Márquez (1991), definen un cultivar estable como aquel con capacidad de amortiguamiento o flexibilidad para cambiar en actitud, que para el caso de cultivares agrícolas, significa ajustar su rendimiento a las condiciones ambientales.

Becker (1981), denominó "*Estabilidad en sentido Biológico*" cuando la varianza del cultivar es pequeña entre ambientes evaluados y "*Estabilidad en sentido Agronómico*", cuando el cultivar presenta una respuesta paralela al desempeño de todos los cultivares en todos los ambientes evaluados. En esta última, se pretende identificar a los materiales estables y con potencial de mantenerse entre los mejores en todos los ambientes.

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 G x A; 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; 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 G x A, se debe comprender el concepto de estabilidad. Becker (1981); Lin y col. (1986); Becker y León (1988), definen conceptos de estabilidad fenotípica que se complementan desde los puntos de vista estadístico, biológico y agronómico.

La globalización de la economía exige que los productores comerciales de maíz eleven su producción por unidad de superficie. Siendo el mejoramiento genético un componente importante en cualquier modelo estratégico, compete a los programas públicos y privados desarrollar cultivares promisorios, con respuestas consistentes a través de ambientes contrastantes, en presencia de estrés biótico y abiótico.

Para realizar estas evaluaciones, los fitomejoradores cuentan con herramientas que facilitan la estimación de la adaptabilidad y estabilidad fenotípica por diferentes procedimientos.

El presente trabajo tuvo como objetivos, determinar la adaptabilidad y estabilidad de híbridos de grano amarillo y blanco generados por IDIAP, CIMMYT y compañías privadas; identificar genotipos promisorios con buena estabilidad de rendimiento y características agronómicas deseables, bajo diversos ambientes 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 los productores de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un experimento en 10 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 del año 2003 (Cuadro 1).

El grupo de cultivares evaluados provino de diferentes fuentes. Las compañías privadas suministraron seis genotipos, mientras que el sector oficial contribuyó con nueve híbridos. El ensayo incluyó, dentro de sus materiales, 11 genotipos con grano de color amarillo y cuatro de color blanco (Cuadro 2).

Antes del establecimiento de los ensayos, se tomaron muestras de suelo para su análisis físico-químico. Se tomó una muestra compuesta de 0-20 cm de profundidad en cada uno

de los bloques. Las muestras fueron homogenizadas y enviadas al Laboratorio de Suelos del IDIAP. A las mismas se les realizó el análisis según Díaz-Romeu y Hunter (1978). 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 El Regadío fueron suministrados por la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) y los otros tres por colaboradores del IDIAP (Ciénega Larga, El Ejido y París).

Todos los experimentos fueron sembrados en el sistema de preparación convencional del suelo. La densidad inicial de siembra utilizada fue de 6.25 plantas/m², la que 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. Posterior a esta fertilización, se realizaron dos aplicaciones suplementarias de urea, la primera a los 21 días después de siembra (dds) a razón de 159 kg/ha y una segunda aplicación a los 37 dds, a razón de 204 kg/ha. En total se aplicaron 60 kg de P₂O₅, 13.6 kg K₂O, 19.5 kg S y 196.5 kg N/ha. El control de malezas consistió de la aplicación en pre-emergencia de la mezcla de atrazina y pendimentalina, a razón de 1.50 y 1.65 kg i.a./ha, respectivamente. En algunas localidades se añadió a la mezcla el herbicida

CUADRO 1. UBICACIÓN, FECHA DE SIEMBRA Y COSECHA DE LAS DIEZ LOCALIDADES DEL ENSAYO DE EVALUACIÓN DE CULTIVARES DE MAÍZ, AZUERO, PANAMÁ, 2003

Localidad	Distrito	Latitud	Longitud	Fecha de siembra	Fecha de cosecha
Herrera					
1. Portobelillo	Parita	8°02.976'	80°34.580'	11-Sep-03	13-Ene-04
2. Los Castillos	Parita	7°58.276'	80°36.846'	18-Sep-03	13-Ene-04
Los Santos					
3. El Ejido	Los Santos	7°54.488'	80°22.307'	29-Ago-03	19-Ene-04
4. Llano Abajo	Los Santos	7°47.853'	80°24.625'	8-Sep-03	6-Ene-04
5. El Regadío	Guararé	7°49.149'	80°17.436'	01-Sep-03	6-Ene-04
6. La Enea	Guararé	7°51.082'	80°16.467'	9-Sep-03	8-Ene-04
7. Las Cocobolas	Las Tablas	7°47.024'	80°14.975'	04-Sep-03	7-Ene-04
8. San José	Las Tablas	7°41.814'	80°13.586'	04-Sep-03	7-Ene-04
9. La Yeguada	Pocrí	7°40.110'	80°05.783'	12-Sep-03	9-Ene-04
10. Mariabé	Pedasí	7°33.304'	80°02.523'	15-Sep-03	14-Ene-04

CUADRO 2. NOMBRE Y ORIGEN DE HÍBRIDOS EVALUADOS EN EL ENSAYO DE EVALUACIÓN DE CULTIVARES DE MAÍZ, AZUERO, PANAMÁ, 2003.

Cultivar	Color del grano	Origen
C-8007	Amarillo	Monsanto
C-8003	Amarillo	Monsanto
PB-0103	Blanco	IDIAP
PB-0105	Blanco	IDIAP
PB-0107	Blanco	IDIAP
P-9490	Amarillo	IDIAP
30K-75	Amarillo	Pioneer
X-1358K	Amarillo	Pioneer
30R-92	Blanco	Pioneer
30F-80	Amarillo	Pioneer
QPM-04	Amarillo	CIMMYT
CLRCYX-19	Amarillo	CIMMYT
CLRCYX-005	Amarillo	CIMMYT
CLRCYX-005B	Amarillo	CIMMYT
CLRCYX-13	Amarillo	CIMMYT

glifosato, a razón de 1.84 kg i.a./ha. En las localidades de El Regadío y Las Cocobolas se realizó una aplicación suplementaria a los 12 dds del herbicida halosulfurón metil, a razón de 60 g i.a./ha para el control de *Cyperus rotundus*.

Los datos tomados incluyeron variables cuantitativas, que son altamente influenciadas por el ambiente como: altura de planta y mazorca, rendimiento de grano y variables cualitativas, que son poco afectadas por el ambiente, como: días a floración femenina, número de plantas y mazorcas al momento de la cosecha, porcentaje de plantas acamadas y 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*).

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:

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

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_{ijl} = error experimental

Se realizó un análisis de varianza combinado, considerando un modelo mixto (ambiente aleatorio y genotipo fijo). 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 % 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 ($\sqrt{x+0.5}$).

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

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

en donde:

- Y_{ge} = rendimiento promedio de un genotipo g en un ambiente e
- μ = media general
- λ_n = es el valor singular para el PCA
- N = número de PCA retenidos en el modelo

- $Y_{g,n}$ = son los valores de vectores de los genotipos (PCA)
 α_g = efecto de las desviaciones de las medias de los genotipos
 β_e = efecto de las desviaciones de las medias del ambiente
 δ_{en} = son los valores de los vectores para cada ambiente (PCA)
 ρ_{g_e} = residual

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de suelo de los sitios experimentales indicó que el pH varió de muy ácidos (pH 5.1) a poco ácidos (pH 5.8), con texturas de franco-arenoso hasta arcilloso. En cuanto a la fertilidad todos son bajos en fósforo, medio en potasio, bajos en aluminio y altos en calcio y magnesio. La materia orgánica osciló entre 1.34 a 5.76%.

En el año 2003, en los meses previos a la siembra de los ensayos (abril-agosto), se registró una precipitación acumulada de 719.8 mm, mientras que en los meses de septiembre a diciembre ésta fue de 699.7 mm; ambos promedios están por encima de la media de la precipitación del período 1995-2003 (584.9 y 615.5 mm, respectivamente). Se observó una baja precipitación en el mes de septiembre en los distritos de Las Tablas y Guararé, mientras que en Parita, Los Santos, Pocrí y Pedasí se observaron las mayores precipitaciones. El mes de octubre registró lluvias

dentro de los parámetros normales en todas las localidades, con excepción de Tablas Abajo. El mes de noviembre fue normal en la mayoría de las localidades a excepción del Regadío en Guararé. Diciembre se caracterizó por presentar un incremento en la precipitación, principalmente en El Regadío, Tablas Abajo, Las Cocobolas, Pocrí y Pedasí, mientras que en las otras localidades la precipitación fue menor (Cuadro 3).

El análisis de varianza combinado del rendimiento y algunas características agronómicas se presentan en el Cuadro 4. Dicho análisis indicó una diferencia altamente significativa 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 las variables que relacionan la altura de la mazorca con respecto a la altura de planta (Almz/Alpt) y mazorcas/m². Las variables aspecto de planta y mazorcas, no presentaron diferencias significativas para ninguna de las fuentes de variación que comprendía el modelo estudiado.

De acuerdo al análisis de varianza para el rendimiento, el ambiente capturó el 25.4% de la suma de cuadrados totales del experimento. El Cuadro 5 presenta el rendimiento de grano y algunas de las variables medidas por localidad. El rendimiento pro-

CUADRO 3. PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN OCHO PLUVIÓMETROS DE LA REGIÓN DE AZUERO, PANAMÁ 2003.

Localidad	París	El Ejido	Ciénega Larga	El Regadío	Tablas Abajo	Las Cocobolas	Pocri	Pedasi	Prom.
Abr	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.1	0.0	0.3	3.3
May	126.0	109.5	172.5	174.0	142.4	224.3	251.0	229.8	178.7
Jún	188.0	145.0	196.0	194.6	60.9	286.6	202.2	76.3	168.7
Jul	115.0	132.0	127.5	149.5	235.5	263.8	333.9	276.8	204.3
Ago	158.0	162.0	98.0	219.6	91.7	144.6	158.9	286.1	164.9
Sep	238.0	110.0	80.0	63.6	46.0	69.7	164.9	333.7	138.2
Oct	197.0	292.0	361.0	274.2	105.5	269.1	365.6	349.0	276.7
Nov	298.0	116.0	122.0	80.9	178.6	149.5	206.9	119.1	158.9
Dic	96.0	51.0	90.5	135.1	187.4	118.3	189.2	139.6	125.9
Total	1416.0	1117.5	1247.5	1291.5	1048.0	1552.0	1872.6	1810.7	1419.5
Abr-Ago	587.0	548.5	594.0	737.7	530.5	945.4	946.0	869.3	719.8
Sep-Dic	829.0	569.0	653.5	553.8	517.5	606.6	926.6	941.4	699.7

medio a través de las 10 localidades fue de 7.35 t/ha, pero el mismo se vio afectado por la distribución de las lluvias en las distintas etapas fenológicas del cultivo. Durante este año, algunas localidades fueron afectadas por estrés hídrico en la etapa de llenado del grano (81-100 dds).

Se logró identificar dos grupos ambientales o dominios de recomendación. El primer grupo ambiental (A) lo conformaron las localidades de Guararé (El Regadío y La Enea), Las Tablas (San José y Las Cocobolas) y La Yeguada de Pocri; este grupo tiene en común que todos los ensayos tuvieron una precipitación promedio de 152.5 mm en la fase de llenado del grano.

El segundo grupo ambiental (B) lo formaron las localidades de Los Santos (El Ejido, Llano Abajo), Los Castillos y Mariabé con precipitaciones acumuladas de 64.2 mm en esta misma fase. Las localidades de Los Castillos y Mariabé fueron sembradas después del 14 de septiembre. Gordón y col. (2004) determinaron que para estas fechas de siembra la probabilidad de sufrir estrés por sequía es alta. Las dos localidades sembradas en el distrito de Los Santos, a pesar de ser sembradas antes de esta fecha, recibieron poca precipitación en esta fase; cabe señalar que este distrito está ubicado en una de las zonas más secas de la Región de Azuero (Gordón y col., 2004).

La baja precipitación pluvial en las localidades con estrés (Grupo B) duran-

CUADRO 4. 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, 2003.

F. de V.	gl	Rend	Alpt	Ptm ²	Mzm ²	Mz/pt	Pmz
Ambiente	9	21.40**	5379.1**	4.16**	2.06*	0.029**	5998.9**
Rep (Amb)	19	1.21	610.2	0.57	0.74	0.002	164.9
Genotipo	14	20.63**	1958.9**	0.37**	1.48**	0.018**	4274.0**
Gen x Amb	126	1.14**	115.7**	0.08**	0.16 ^{ns}	0.003*	218.8**
Error	266	0.42	84.4	0.07	0.13	0.002	110.1
CV (%)		8.8	3.8	4.4	6.2	5.1	8.2

* = Diferencia significativa (P<0.05) ** = Diferencia altamente significativa (P<0.01)

^{ns} = no hay diferencia significativa (P>0.05)

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

CUADRO 5. FECHA DE SIEMBRA, PROMEDIO DE RENDIMIENTO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LA PRUEBA REGIONAL DE MAÍZ SEGÚN LOCALIDADES, AZUERO, PANAMÁ, 2003.

Localidades	Fecha Siembra	ppt 31-50 dds	ppt 51-80 dds	ppt 81-100 dds	Rend (t/ha)	Pt/m ²	Alpt (cm)	Mz/pt	Pmz (g)	Aca-me (%)	Pud (%)	Almz/Alpt
Grupo A (sin estrés hídrico)												
Prom. 10 localidades		163.0	345.4	184.2	7.35	5.95	238	0.96	128.3	28.4	6.6	0.54
El Regadío	1 Sep	237.9	115.2	166.3	7.91	6.05	257	0.94	138.4	35.6	6.5	0.54
San José	4 Sep	119.4	169.4	187.8	7.41	6.07	237	0.94	129.7	19.6	13.1	0.53
Las Cocobolas	4 Sep	119.4	169.4	187.8	7.92	6.15	236	0.96	133.7	23.4	5.8	0.52
La Erea	9 Sep	166.9	111.9	112.8	7.38	6.15	227	0.95	133.8	40.8	8.0	0.55
Portobellillo	11 Sep	108.0	331.0	96.0	7.49	5.22	246	1.02	141.2	21.2	5.4	0.55
La Yeguada	12 Sep	187.5	231.9	164.2	8.40	6.07	252	0.98	140.8	23.4	4.9	0.53
Promedio		156.5	188.1	152.5	7.83	5.95	243	0.97	136.3	27.3	7.3	0.54
Grupo B (con estrés hídrico)												
El Ejido	29 Ago	150.0	166.0	93.0	6.79	6.04	231	0.98	114.8	5.2	6.1	0.55
Llano Abajo	8 Sep	210.0	117.0	67.0	6.82	5.58	230	0.97	125.8	36.2	7.6	0.55
Mariabé	15 Sep	151.6	160.2	72.8	6.50	6.05	223	0.93	115.2	36.6	4.9	0.53
Los Castillos	18 Sep	179.0	270.0	24.0	6.39	6.11	243	0.95	109.4	38.0	5.6	0.53
Promedio		172.7	178.3	64.2	6.63	5.95	232	0.96	116.3	29.0	6.1	0.54

ppt = precipitación, dds = días después de siembra.

* = Diferencia significativa (P<0.05) ** = Diferencia altamente significativa (P<0.01) ^{ns} = no hay diferencia significativa (P>0.05)
 Rend = Rendimiento de grano, Alpt = Altura de planta, Ptm² = Plantas por metro cuadrado, Mzmi² = Mazorcas por metro cuadrado,
 Mz/Pt = Mazorcas por planta, Pmz = Peso de mazorcas, Aca = % plantas acamadas, Pud = % mazorcas podridas, Cury = Curvularia,
 Phys = Physodermá, Almz/Alpt = relación altura de mazorca y altura de planta.

te la fase de llenado del grano (media de 64.2 mm), se tradujo en rendimientos menores de 6.82 t/ha y pesos de mazorcas menores de 126 g (McWilliams y col., 1999; Shaw y Newman, 1985). Al observar la precipitación acumulada en esta fase crítica del desarrollo del cultivo en las localidades del Grupo A, se observa que en todas las localidades, la lluvia sobrepasó los 95 mm durante esta fase (promedio de 152.5 mm). Esta lámina acumulada, se tradujo en que todas presentaron un rendimiento superior a las 7.49 t/ha (media general de 7.83 t/ha) y pesos de mazorcas superiores a los 126 g. La diferencia promedio en precipitación durante esta etapa, entre los dos grupos ambientales fue de 88 mm (58%); lo que se convirtió en una diferencia en rendimiento de 1.20 t/ha (15%) a favor de las localidades sin estrés hídrico.

Las poblaciones de plantas al momento de la cosecha fueron similares estadísticamente entre sí. La precipitación acumulada en las otras dos fases importantes del cultivo 31-50 dds (156.5 vs 172.7 mm) y 51-80 dds (188.1 vs 178.3 mm), a pesar de presentar diferencias, la cantidad total en ambos grupos de localidades no fue crítica para la formación del rendimiento. Las variables como: porcentaje de plantas acamadas, mazorcas podridas, mazorcas por planta, enfermedades foliares y la posición de la mazorca con respecto al tamaño de

plantas no mostraron diferencia significativa entre los dos grupos.

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre los distintos híbridos evaluados para la variable rendimiento de grano, logrando capturar el 38.1% de la suma de cuadrados del análisis de varianza de esta variable. El Cuadro 6 muestra la media de rendimiento de las 10 localidades, así como el comportamiento de los híbridos en los dos grupos ambientales definidos.

De los cultivares evaluados, siete sobrepasaron la media general, sobresaliendo de manera significativa los híbridos C-8003 y C-8007 con medias de 8.54 y 8.41 t/ha, respectivamente. Siguieron a éstos, los cultivares del grupo formado por los híbridos blancos del IDIAP PB-0103 y PB-0105 con rendimientos promedios por encima de las 8.0 t/ha (8.16 y 8.14 t/ha, respectivamente). Un tercer grupo de cultivares estuvo conformado por los híbridos PB-0107, CLRCYX-13, 30R-92, CLRCYX-19, X-1358K y 30F-80, los cuales presentaron rendimientos superiores a las 7.0 t/ha. Se observó que los cultivares más afectados por el déficit hídrico fueron C-8003 y C-8007, con mermas superiores a las 2.0 t/ha. Mientras que los menos afectados por este déficit hídrico fueron PB-0103, PB-0107, CLRCYX-13, CLRCYX-19, CLRCYX-005B y P-9490 con reducciones menores de 1.0 t/ha.

CUADRO 6. RENDIMIENTO, POBLACIÓN Y PESO DE MAZORCA DE LOS HÍBRIDOS EVALUADOS, AZUERO, PANAMÁ, 2003.

Cultivares	Rend (t/ha)			Dif	Pt/m ² (%)			Pmz(g)		
	10 loc.	6loc (A)	4loc(B)		10 loc	A	B	10 loc.	A	B
	C-8003	8.54	9.55		7.02	2.53	6.04	6.06	6.04	147.2
C-8007	8.41	9.35	7.01	2.34	6.06	6.07	6.05	144.7	157.9	125.2
PB-0103	8.16	8.52	7.63	0.89	6.05	6.05	6.03	144.0	149.4	135.7
PB-0105	8.14	8.59	7.52	1.07	5.97	5.95	6.00	139.2	148.0	127.2
PB-0107	7.84	8.11	7.49	0.62	5.89	5.86	5.95	136.6	140.1	131.8
CLRCYX-13	7.67	8.07	7.07	1.00	5.96	5.91	6.03	130.2	137.3	119.8
30R-92	7.57	8.32	6.49	1.83	6.11	6.10	6.14	126.5	138.2	109.1
X-1358K	7.32	7.65	6.80	0.85	5.96	5.95	5.99	126.3	133.3	115.0
CLRCYX-19	7.19	7.59	6.67	0.92	5.82	5.87	5.76	129.1	136.5	118.9
30F-80	7.13	7.72	6.26	1.47	6.01	6.07	5.93	121.4	128.7	110.6
CLRCYX-005B	6.98	7.27	6.47	0.80	5.89	5.87	5.92	122.7	128.5	113.3
30K-75	6.90	7.39	6.17	1.22	5.99	6.01	5.96	117.0	124.7	105.8
CLRCYX-005	6.76	7.25	6.00	1.25	5.94	5.94	5.95	120.5	128.3	108.4
QPM-04	6.16	6.59	5.51	1.08	5.88	5.88	5.90	109.6	118.4	96.6
P-9490	5.47	5.55	5.30	0.25	5.65	5.70	5.56	108.8	111.9	103.7
Promedio	7.35	7.83	6.63	1.21	5.95	5.95	5.95	128.3	136.3	116.3
DMS	0.33	0.49	0.40		0.14	0.13	0.29	5.4	7.7	10.4

Rend = Rendimiento de grano, Pt/m² = Plantas por metro cuadrado, Pmz=Peso de mazorcas.

una limitante en el desarrollo del cultivo.

La otra enfermedad causante de pérdidas en el cultivo, lo es el complejo de hongos que ataca la mazorca (*Diplodia maydis* y *Fusarium* sp), los cuales se presentaron en porcentajes bajos. Los cultivares 30F-80 y PB-0103 presentaron los valores más bajos (3.6 y 3.9%, respectivamente), mientras que los valores más altos se obtuvieron con los cultivares CLRCYX-13 y 30R-92 con porcentajes de 15.3 y 10.2%, respectivamente (Cuadro 7).

En la evaluación del porcentaje de plantas acamadas se encontró diferencias altamente significativas entre los cultivares evaluados. Los cultivares amarillos de la casa Pioneer 30F-80, X-1358K y 30K-75 sobresalieron por presentar los valores más bajos (menos de 12%). Este resultado puede estar asociado a la baja altura de los mismos, así como la baja altura de la mazorca. Los cultivares C-8003, C-8007, PB-0105 y PB-0107 presentaron una alta susceptibilidad al acame de tallo con porcentajes superiores al 40%.

El Cuadro 8 muestra la suma de cuadrados del rendimiento de grano, así como el valor de los dos ejes principales de la interacción genotipo-ambiente, obtenidos a través del modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa conocido

En cuanto a la población de plantas, al momento de la cosecha, no hubo diferencias estadísticas significativas entre ninguno de los cultivares mencionados, lo que sugiere que las diferencias en rendimiento se deben al potencial de rendimiento y adaptabilidad de cada uno de ellos y no a la cantidad de plantas cosechadas. En relación a las otras características evaluadas, se puede apreciar en el Cuadro 7, los promedios obtenidos para cada una de las variables medidas a través de las 10 localidades.

Todos los cultivares fueron similares en su precocidad, es decir, el rango de valores de la floración osciló entre 52 y 55 dds. Con respecto a la altura de las plantas, el híbrido de menor estatura fue el 30K-75 (219 cm), seguido por los híbridos 30F-80, CLRCYX-19 y C-8007. Las medidas de la altura de la mazorca variaron entre 122 a 141 cm, siendo los híbridos CLRCYX-19 y X-1358K los cultivares con la posición más baja de este componente.

En cuanto a las principales enfermedades foliares (*Curvularia* sp y *Physoderma maydis*), no se observó diferencia significativa 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, las enfermedades no se presentaron en intensidades suficientes para ser

CUADRO 7. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LA PRUEBA REGIONAL DE MAÍZ SEGÚN CULTIVARES, PANAMÁ, 2003.

Cultivares	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
C-8003	53	236	123	5.78	0.96	59.4	4.1	2.5	2.0	3.1	2.3	0.52
C-8007	52	234	122	5.78	0.95	56.0	4.0	2.3	2.0	3.0	2.4	0.52
PB-0103	56	248	130	5.67	0.94	36.9	3.9	1.8	1.7	2.9	2.5	0.53
PB-0105	54	247	141	5.85	0.98	41.0	5.8	1.8	1.6	3.0	2.5	0.57
PB-0107	55	248	138	5.77	0.98	50.6	6.8	1.8	1.5	3.2	2.6	0.55
CLRCYX-13	53	245	127	5.91	0.99	15.2	15.3	2.2	1.8	3.1	3.3	0.52
30R-92	54	244	135	5.99	0.98	22.4	10.2	2.7	2.0	3.2	3.2	0.55
X-1358K	53	243	124	5.82	0.98	5.9	5.4	1.6	1.8	2.6	3.1	0.51
CLRCYX-19	53	227	122	5.61	0.97	16.6	7.1	1.7	1.6	2.4	3.0	0.54
30F-80	55	232	125	5.87	0.98	4.4	3.6	1.5	1.7	2.8	3.1	0.54
CLRCYX-005B	54	238	126	5.70	0.97	13.3	4.1	2.1	1.6	2.9	2.8	0.53
30K-75	53	219	126	5.90	0.99	11.4	9.8	1.7	1.6	2.6	3.1	0.57
CLRCYX-005	55	235	127	5.62	0.95	19.2	5.0	2.4	1.7	3.0	2.7	0.54
QPM-04	54	237	131	5.64	0.96	37.1	6.3	2.1	1.8	3.1	3.0	0.55
P-9490	54	239	130	5.03	0.89	36.1	7.2	2.1	1.8	3.2	3.1	0.55
Promedio	54	238	128	5.73	0.96	28.4	6.6	2.0	1.8	3.0	2.8	0.54
DMS	1	5	6	0.18	0.03	2.0	7.0	0.2	0.2	0.6	0.6	0.02

Alpt = Altura de planta, Almz=altura de mazorca, Mzm² = Mazorcas por metro cuadrado, Mz/Pt = Mazorcas por planta, Aca =% plantas acamadas, Mz pod = % mazorcas podridas, Curv = Curvularia, Phys = Physoderma, Asp= Aspectos de planta, Asmz=Aspecto de mazorca, Almz/Almp = relación altura de mazorca y altura de planta.

como AMMI. El resultado de este análisis indicó que los dos primeros ejes (PCA) explicaron el 70.3% de la interacción genotipo-ambiente con tan sólo el 33% de los grados de libertad. El PCA-1 explicó el 60.1%, mientras que el PCA-2 fue responsable del 10.2% con el 17 y 15% de los grados de libertad, respectivamente.

En el Cuadro 9 se presentan las puntuaciones de los ejes principales uno y dos (PCA1 y PCA2), tanto de los 15 cultivares como de las 10 localidades, las cuales presentan diferentes patrones de interacción. De acuerdo a las puntuaciones de ambos ejes, los cultivares más estables y con mejor rendimiento fueron 0 C-8003 y C-8007.

De acuerdo a Yan y col. (2000), al colocar 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 gráfica (C-8003, C-8007, PB-0107, P-9490 y CLRCYX-05B). Los cultivares localizados en los vértices son considerados los mejores e inferiores dependiendo de su ubicación. Con relación a la interacción genotipo-ambiente, la Figura 1 muestra los cultivares que mejor se comportaron en cada uno, que fueron los híbridos C-8003 y C-8007.

CONCLUSIONES

- * El grupo de híbridos formado por C-8003, C-8007, PB-013 y PB-0105 sobresalieron por su alto rendimiento, buenas características agronómicas y rendimientos superiores a las 8.0 t/ha.

CUADRO 8. SUMA DE CUADRADOS DEL AMBIENTE, GENOTIPO Y COMPONENTES PRINCIPALES (PCA) PARA LA VARIABLE RENDIMIENTO DE GRANO DE LA PRUEBA REGIONAL DE MAÍZ, AZUERO, PANAMÁ, 2003.

F de V.	gl	SC Tipo IV	% de la SC
AMB	9	192.627**	
GEN	14	303.266**	
GEN x AMB	126	147.178**	
PCA-1	22	86.557**	60.17
PCA-2	20	10.258**	10.26
Residuo	84	14.417**	29.57
Error (Tipo III)	266	111.514	

** Diferencia altamente significativa ($P < 0.01$)

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, 2003

Híbrido	Rend (t/ha)	Puntuación PCA-1	Puntuación PCA-2	Localidad	Rend (t/ha)	Puntuación PCA-1	Puntuación PCA-2
C-8007	8.41	1.261	0.244	El Ejido	6.79	-0.160	0.646
C-8003	8.54	1.476	-0.128	El Regadío	7.91	0.580	-0.417
PB-0103	8.17	-0.446	0.204	San José	7.41	0.042	0.863
PB-0105	8.16	-0.486	0.281	Las Cocobolas	7.92	0.596	0.513
PB-0107	7.86	-0.539	0.717	Llano Abajo	6.82	-0.785	0.091
P-9490	5.45	-0.831	-0.415	La Enea	7.88	1.345	-0.456
30K-75	6.90	-0.024	-0.128	Portobello	7.49	-0.373	-0.379
X-1358K	7.31	-0.077	-0.075	La Yeguada	8.40	0.050	-0.323
30R-92	7.59	0.279	-0.132	Mariabé	6.50	0.162	-0.137
30F-80	7.14	-0.038	-0.475	Los Castillos	6.39	-1.457	-0.401
QPM-04	6.16	0.089	0.324				
CLRCYX-19	7.22	-0.225	0.514				
CLRCYX-005	6.75	-0.105	-0.478				
CLRCYX-005B	6.95	-0.302	-0.672				
CLRCYX-13	7.67	-0.032	0.218				

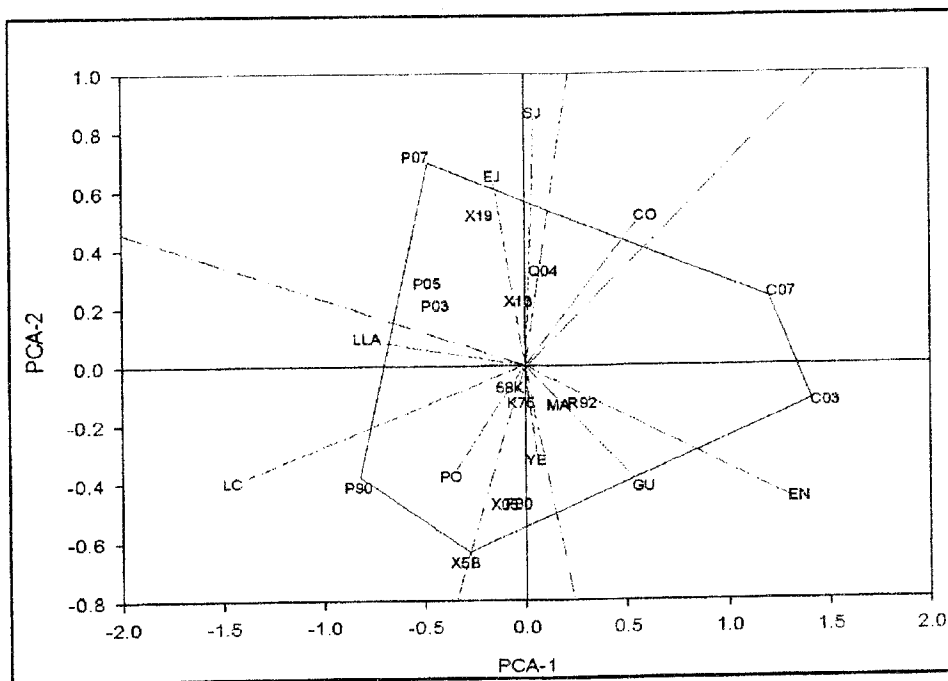


FIGURA 1. PUNTUACIONES DEL PRIMER Y SEGUNDO EJE DEL COMPONENTE PRINCIPAL DE 15 CULTIVARES DE MAÍZ EN 10 AMBIENTES DE PANAMÁ. 2003. (AMMI-Biplot)

- * Bajo las condiciones climáticas del año 2003, la presencia o no de estrés hídrico en la época del llenado del grano, en algunas localidades se logró identificar dos grupos ambientales.
- * En las localidades con estrés hídrico sobresalieron los cultivares PB-0103, PB-0105 y PB-0107, mientras que en las localidades en donde no se presentó el estrés sobresalieron los híbridos C-8003 y C-8007.

- * Los cultivares C-8003, C-8007, PB-0105 y PB-0107 presentaron una alta susceptibilidad al acame de tallo con porcentajes superiores al 40%.

BIBLIOGRAFÍA

- BECKER, H.C. 1981. Correlation among some statistical measure of phenotypic stability. *Euphytica* 30: 835-840.
- BECKER, H.C; LEÓN, J. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding* 101: 1-23.
- 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.
- DÍAZ-ROMEY, 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.; 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 program. *Aust. J. Agric. Res.* 14: 742-754.
- GAUCH, H. G.; ZOBEL, R.W. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 76: 1-10.
- GORDON, R.; CAMARGO, I.; FRANCO, J.; GÓNZÁLEZ, A. 2004. Impacto de la precipitación pluvial en el rendimiento de grano del Maíz en la región de Azuero, Panamá, 1995-2003. I. Análisis de la distribución de lluvias y su relación con la época de siembra. IDIAP. 7 p.
- LIN, C.S.; BINNS, M.R.; LEFKOVITH, L.P. 1986. Stability Analysis. Where do we stand? *Crop Sci.* 26: 894-900.
- MÁRQUEZ, F. 1991. Genotecnia vegetal "Métodos, Teoría, Resultados". Impreso en México. 500 p.
- McWILLIAMS, D.A.; BERGLUND, D.R.; ENDRES, G.J. 1999. Corn Grow and Management Quick Guide. North Dakota State University. Disponible en: www.ext.nodak.edu/extpubs/plantsci/rowcrops/a1173/a1173w.htm
- 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.
- SHAW, R.H.; NEWMAN, J.E. 1985. Weather stress in the corn crop. Michigan State University. University Extension. NCH-18 National Corn Handbook. 4 p.
- 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, H.G. JR. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.* 80:388-393.