

ADAPTABILIDAD Y ESTABILIDAD DE 20 VARIEDADES DE MAÍZ, PANAMÁ¹

Román Gordón-Mendoza², Jorge Franco-Barrera², Ismael Camargo-Buitrago³

RESUMEN

Adaptabilidad y estabilidad de 20 variedades de maíz, Panamá. El objetivo de este trabajo fue determinar la adaptabilidad y estabilidad de variedades de maíz en Panamá. Durante el periodo de setiembre del 2007 a enero del 2008, se evaluaron ensayos uniformes de rendimiento en seis localidades con ambientes contrastantes en Panamá. El material genético de este ensayo consistió de nueve sintéticos QPM y once de grano normal, provenientes del CIMMYT. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, las parcelas experimentales consistieron de dos surcos de 5,0 m de largo, separadas a 0,75 m. El análisis de varianza combinado mostró diferencias estadísticas significativas entre ambos grupos (normal vs QPM) y dentro de cada grupo para el rendimiento y las otras variables de importancia económica y genética. Por otro lado, se encontró que la interacción genotipo por ambiente fue significativa para el rendimiento de grano indicando una respuesta diferencial de los genotipos. El análisis combinado de las medias de rendimiento mostró que entre los sintéticos normales se destacaron el SA-N6-07, SA-N8-07 y SA-N7-07 con promedios superiores a las 4,0 t/ha, mientras que en los QPM sobresalieron el SA-Q14-07 y SA-Q12-07 con rendimientos de 3,98 y 3,63 t/ha. Todos estos sintéticos superaron tanto al testigo de grano normal (Guararé-8128) como al testigo QPM (SA-Q5-06) que tuvieron rendimientos de 2,93 y 3,36 t/ha, respectivamente. El modelo Biplot GGE-SREG, identificó los sintéticos SA-N6-07, SA-Q14-07, SA-N4-07 y SA-N10-07 como los de mejor estabilidad; adicional los dos primeros fueron los mejores en rendimiento para cada tipo de grano.

Palabras claves: QPM, grano normal, grano amarillo, Biplot GGE-SREG.

ABSTRACT

Adaptability and stability of 20 corn varieties in Panama. The objective of this work was to determine the adaptability and stability of 20 corn varieties in Panama. From September 2007 to January 2008, uniform yield tests were evaluated in six locations with contrasting environments in Panama. The genetic material consisted of nine QPM synthetics and eleven with normal grains, all from CIMMYT. The experimental design employed was complete randomized blocks with three replications. The experimental plots were two 5-m long rows with 0,75 m between rows. The combined analysis of variance showed statistically significant differences between the two groups (synthetic vs. normal) for yield and other economically and genetically important variables within groups. On the other hand, the interaction genotype X environment was significant for grain yield, indicating differential responses of the genotypes. The combined analysis of the mean yields showed that among the normal synthetics, SA-N6-07, SA-N8-07 and SA-N7-07 exhibited outstanding yield with means higher than 4,0 t/ha, whereas within the QPM, SA-Q14-07 and SA-Q12-07 yielded 3,98 and 3,63 t/ha. The yield of all these synthetics surpassed the normal grain control (Guararé-8128) and the QPM control (SA-Q5-06) which yielded 2.93 and 3.36 t/ha, respectively. The Biplot GGE-SREG model identified the synthetics SA-N6-07, SA-Q14-07 and SA-N10-07 with the highest stability; additionally, the first two were the best yielding varieties within each group.

Key words: QPM, normal grain, yellow grain, Biplot GGE-SREG.

¹ Recibido: 28 de junio, 2009. Aceptado: 17 de mayo, 2010. Investigación realizada con fondos de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Panamá bajo el contrato CCP06-033.

² Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero, "Ing. Germán De León", Los Santos, Panamá. gordon.roman@gmail.com; joenfra13@gmail.com

³ Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Centro de Investigación Agropecuaria en Recursos Genéticos "Ing. Alfonso Alvarado", Río Hato, Panamá. icamargo@cwpanama.net

INTRODUCCIÓN

En el maíz hay principalmente cuatro clases de proteínas: globulina, albúmina, prolamina (zeína) y glutelina. La zeína es una proteína de pobre calidad y constituye más de la mitad del contenido de proteína del maíz normal. El gen Opaco-2 disminuye el contenido de zeína en el grano hasta en un 50 % y aumenta los niveles de lisina y triptófano. El maíz con alta calidad de proteínas también llamado QPM, por sus siglas en inglés (Quality Protein Maize) es portador del gen Opaco-2, es decir son ricos en lisina y triptófano, contando con el doble de unidades que los maíces normales (FAO 1993, Krivanek *et al.* 2007, Mendoza *et al.* 2006).

A partir del descubrimiento del gen Opaco-2 por científicos de la Universidad de Purdue en 1963 y los trabajos realizados posteriormente para generar nuevas variedades con este gen; hubo un aparente desinterés en la adopción de cultivares de maíces QPM debido al poco atractivo del grano, a la susceptibilidad a factores bióticos y abióticos tanto en campo, como en el almacenamiento y al bajo rendimiento que presentaron las primeras variedades que portaban este gen. A partir de inicios de los años 1970, los fitomejoradores del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, apoyados por el laboratorio de bioquímica de esa institución, continuaron mejorando las características agronómicas y nutricionales de estos maíces (CIMMYT 2009, Ortega *et al.* 2001). En los primeros años de la década de los 90 presentaron al mundo científico variedades de maíz con alta calidad nutritiva, altos rendimientos, humedad normal en el grano y aspecto de grano duro normal (no harinoso). Para 1996, el maíz Opaco-2 había sido modificado a lo que se podría llamar un maíz tipo “normal” en todas sus características, excepto por el valor nutricional de su proteína (CIMMYT 1999). Hoy en día estos nuevos materiales son considerados como una de las estrategias para mitigar la desnutrición en zonas de pobreza y alta desnutrición.

En las áreas urbanas de nuestro país, la pobreza total y la extrema alcanzan su menor nivel, el 20,6% y 4,6% de su población, respectivamente. En tanto que, en las áreas rurales no indígenas, poco más de la mitad de los residentes es pobre (54,2%), y una de cada cinco personas (22,3%) se encuentra en situación de pobreza extrema. En las áreas rurales indígenas esta situación se empeora, en donde casi la totalidad de

sus habitantes se encuentra en condición de pobreza (98,5%), mientras que el 89,7% de sus pobladores se encuentra en pobreza extrema (MEF 2005).

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 (PCA), análisis de coordenadas principales, y análisis de clúster (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 *et al.* 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 *et al.* 1988, Crossa 1988, Crossa 1990, Crossa *et al.* 1990 y Crossa *et al.* 1991).

Independientemente de la metodología empleada para estimar la interacción G x A, hay que tener claro a cual concepto de estabilidad se refiere. Becker (1981), Lin *et al.* (1986), Becker y León (1988), definen conceptos de estabilidad fenotípica que se complementan del punto de vista estadístico, biológico y agronómico. El objetivo de este trabajo fue determinar la adaptabilidad y estabilidad de variedades de maíz en Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

Se realizó un experimento en seis localidades de la República de Panamá, en parcelas facilitadas por pequeños productores de maíz de las provincias de Panamá, Darién, Los Santos, Veraguas y la Comarca Ngöbe Bugle, durante la segunda época de siembra (septiembre 2007 a enero del 2008) (Cuadro 1). Todas estas localidades están ubicadas a menos de 300 msnm.

Caracterización edáfica

Antes de la siembra de los ensayos se tomaron varias muestras de suelo en cada localidad para su análisis físico-químico. Las mismas se tomaron en cada uno de los bloques a una profundidad de 0 a 20 cm. Estas

Cuadro 1. Ubicación, fecha de siembra y cosecha de las seis localidades del ensayo de evaluación de sintéticos de maíz. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Panamá, 2007-2008.

	Localidad	Provincia	Distrito	Latitud	Longitud	Fecha de siembra	Fecha de cosecha
1.	Santa Fe	Darién	Tortí	8° 39'	79° 16'	25 Sep	13 Feb
2.	Ollas Arriba	Panamá	Capira	8°48'	79° 53'	19-Sep	28-Ene
3.	Chupá	Los Santos	Macaracas	7° 40'	80° 29'	18-Sep	23-Ene
4.	El Ejido	Los Santos	Los Santos	7° 54'	80°22'	31-Ago	29-Ene
5.	La Zumbona	Veraguas	Soná	8° 08'	80° 42'	28-Sep	15-Feb
6.	Llano Jengibre	Ngöbe Bugle	Mironó	8° 20'	81° 60'	21-Sep	16-Ene

fueron homogenizadas y enviadas al Laboratorio de Suelos del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), en donde se realizó el análisis según Díaz-Romeu y Hunter (1978). El análisis de suelo de los sitios mostró una alta variabilidad; en donde se encontraron suelos desde muy ácidos (pH 4,8) a neutros (pH 7,1), con texturas que van de franco-arenosa hasta arcillosa. En cuanto a la fertilidad todos son bajos en fósforo con excepción de Santa Fe, de contenido medio en potasio, bajos en aluminio y de medio a altos en calcio y magnesio. El porcentaje de materia orgánica osciló entre 1,5 a 7,6% (Cuadro 2).

Material genético

El grupo de maíces sintéticos evaluados fueron obtenidos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) con sede en El Batán, Texcoco, México. El ensayo incluyó 10 genotipos experimentales de grano color amarillo normal y ocho de color de grano amarillo de alta calidad proteica. Se

incluyeron dos testigos, uno normal (Guararé 8128) y otro de alta calidad proteica (SA-Q5-06) (Cuadro 3).

Según Cubero 2003, las variedades sintéticas son aquellas formadas por el cruzamiento de un cierto número de parentales (en principio líneas), elegidos para que tengan buena aptitud combinatoria general. El número de líneas envueltas en la formación de los sintéticos varía en un número menor a 20. Se diferencia de una variedad de polinización libre tradicional en que esta última está compuesta por un número mucho mayor de parentales.

Manejo agronómico

El sistema de preparación del suelo en todos los experimentos fue el de cero labranza con excepción del ubicado en El Ejido. La densidad inicial de siembra en las localidades de Santa Fe, Ollas Arriba, La Zumbona y Llano Jengibre fue de 5,33 plantas/m², ésto se logró sembrando surcos separados a 0,75 m y se dejaron dos plantas cada 0,50 m. En las localidades de El Ejido y Chupá

Cuadro 2. Principales características físico químicas de los suelos de los ensayos de sintéticos de maíz amarillo normal y QPM en las seis localidades del ensayo de evaluación. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Panamá, 2007-2008.

Localidad	Are Lim Arc			pH	P (µg/ml)	K Ca Mg Al				M.O. (%)	Mn Fe Zn Cu				Textura*
	(%)	(%)	(%)			(meq/100ml)	(%)	(%)	(%)		(%)	(µg/ml)	(µg/ml)	(µg/ml)	
El Ejido	44	16	40	4,9	tr	0,09	10,0	8,0	0,2	2,8	11	tr	tr	6	ARC
Chupá	46	24	30	4,8	1	0,19	9,9	6,5	0,1	4,6	16	tr	1	6	FARA
La Zumbona	66	18	16	5,7	tr	0,49	5,9	2,1	0,1	7,6	20	4	tr	tr	FA
Llano Jengibre	70	20	8	4,9	2	0,47	5,0	4,5	0,6	2,6	16	11	1	3	FARA
Ollas Arriba	54	12	34	5,4	tr	0,12	2,4	4,5	0,1	5,2	32	32	1	3	FARA
Santa Fe	38	22	40	7,1	17	0,35	24,0	2,6	0,1	1,5	20	8	3	1	ARC

* FA = franco arenoso, FARA = franco arcillo-arenoso, ARC= arcilloso, tr = trazas.

Cuadro 3. Nombre, tipo del grano y genealogía de los sintéticos de maíz normales y QPM evaluados en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Panamá. 2007-2008.

	Nombre	Tipo del grano	Pedigrí
1.	SA-N1-07	Normal	S03TLY-3 AB
2.	SA-N2-07	Normal	S03TLY-4 AB
3.	SA-N3-07	Normal	S03TLY-5 AB
4.	SA-N4-07	Normal	S03TLY- LN
5.	SA-N5-07	Normal	S04TLY-1
6.	SA-N6-07	Normal	S04TLY-2
7.	SA-N7-07	Normal	S03TLY-LN/Pp
8.	SA-N8-07	Normal	S00TLY-1 AB
9.	SA-N9-07	Normal	S00TLY-Bm/Pp
10.	SA-N10-07	Normal	S03TLY-2 AB
11.	SA-Q11-07	QPM	S05TLYQ-HG-AB-1
12.	SA-Q12-07	QPM	S05TLYQ-HG-AB-2
13.	SA-Q13-07	QPM	S05TLYQ-HG-A
14.	SA-Q14-07	QPM	S05TLYQ-HG-B
15.	SA-Q1-06	QPM	S 03 TLYQ- AB 02
16.	SA-Q3-06	QPM	S 03 TYLQ-AB 01
17.	SA-Q17-07	QPM	S03TLYQ-AB03
18.	SA-Q2-06	QPM	S 99 TLYQ-AB(RE)
19.	Guararé 8128	Normal	
20.	SA-Q5-06	QPM	S 03 TLYQ-AB 05

la densidad inicial de siembra fue de 6,66 plantas/m², y se utilizó un arreglo de 0,75 m entre hileras y 0,20 m entre plantas. La fertilización consistió en la aplicación de 136 kg/ha de la fórmula completa 13-26-6-7 al momento de la siembra, en forma de postura enterrada a cuatro centímetros de la semilla. Posteriormente, se realizaron dos aplicaciones suplementarias de urea, la primera a los 20 días después de siembra (dds) a razón de 45 kg/ha y la segunda a los 37 dds a razón de 91 kg/ha.

El control de malezas consistió en la aplicación en pre-emergencia de la mezcla de atrazina más pendimetalina a razón de 1,50 y 1,65 kg i.a./ha, respectivamente. En algunas localidades, por la presencia de malezas de mayor tamaño, se añadió a la mezcla el herbicida glifosato a razón de 1,84 kg i.a./ha.

VARIABLES MEDIDAS

Los datos tomados incluyeron caracteres cuantitativos, que son influenciados por el ambiente como:

altura de planta y mazorca, rendimiento de grano, porcentaje de mazorcas podridas; y, caracteres cualitativos pocos influenciados como: días a floración femenina, número de plantas y mazorcas al momento de la cosecha, porcentaje de plantas acamadas, humedad del grano, aspecto de planta y mazorca y la evaluación de las principales enfermedades al follaje (*Curvularia sp* y *Helminthosporium sp*) con una escala de una a cinco en donde uno es ausencia de la enfermedad y cinco la planta completamente enferma.

DISEÑO EXPERIMENTAL

El tamaño de las parcelas experimentales consistió de dos surcos de 5,0 m de largo. Para la ejecución en campo se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con tres repeticiones, de acuerdo al siguiente modelo matemático:

$$X_{ijL} = \mu + G_i + B_{j/L} + A_L + (G A)_{iL} + e_{ij}$$

En donde:

X = Valor del carácter estudiado

A_L = Efecto de ambiente

μ = Media general

(G A)_{iL} = Efecto de la interacción genotipo ambiente

G_i = Efecto de genotipo

e_{ij} = Error experimental

B_{j/L} = Efecto de bloques dentro de repetición

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un análisis de varianza combinado, con base en un modelo mixto (ambiente aleatorio y genotipo fijo). Se separó el efecto de la suma de cuadrados de los Genotipos Normales y QPM así como la diferencia entre ambos grupos. Para la separación de medias de todas las variables se utilizó la diferencia mínima significativa (DMS). Para el análisis estadístico de las variables porcentaje de plantas acamadas y porcentaje de mazorcas podridas se utilizó la transformación por el método de la raíz cuadrada más un medio $\sqrt{x + 0,5}$.

Para el análisis de estabilidad se utilizó el modelo AMMI Bi-plot GGE-SREG, que integra el análisis de varianza y el análisis de componentes principales (Zobel *et al.* 1988, Yan *et al.* 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 promedio de un genotipo g en un ambiente e

α_g = Efecto de las desviaciones de las medias de los genotipos

μ = Media general

β_e = Efecto de las desviaciones de las medias del ambiente

λ_n = Es el valor singular para el PCA

δ_{en} = Valores de los vectores para cada ambiente (PCA)

N = Número de PCA retenidos en el modelo

Q_{ge} = Residual

Y_{gn} = Valores de vectores de los genotipos (PCA)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

En el análisis de varianza combinado del rendimiento hubo una diferencia altamente significativa ($P < 0,01$) entre ambientes para todas las variables estudiadas, y diferencias altamente significativas para el genotipo para todas las variables excepto la altura de plantas y la posición de la mazorca. La interacción genotipo-ambiente resultó altamente significativa para todas las variables estudiadas con excepción de las variables altura de las plantas, número de las plantas y número de mazorcas/m², número de mazorcas por planta, aspecto de las mazorcas y posición de las mazorcas.

En cuanto a los tipos de granos hubo diferencias altamente significativas entre los dos grupos para las variables peso y pudrición de las mazorcas, rendimiento de grano y aspecto de mazorcas. Dentro de cada grupo (normales y QPM) se encontraron diferencias significativas para la variable rendimiento y otras características agronómicas.

Efecto de ambientes

En este experimento el ambiente capturó el 75,9% de la Suma de Cuadrados Total del análisis de varianza, para la variable rendimiento de grano. Esto indica, que los ambientes fueron diferentes y contrastantes, con diferencias en la magnitud de las respuestas entre las medias ambientales. El rendimiento de grano y algunas de las variables medidas por localidad se presentan

en el Cuadro 4. El rendimiento promedio a través de las seis localidades evaluadas fue de 3,61 t/ha, pero el mismo se vio afectado por la calidad del suelo de las distintas localidades. Los rendimientos más altos se observaron en El Ejido y Chupá con rendimientos de 5,50 y 4,61 t/ha, respectivamente. Esta respuesta está asociada al mayor número de plantas cosechadas en estas dos localidades. A este grupo le siguieron La Zumbona y Llano Jengibre, con rendimientos de 3,89 y 3,58 t/ha. Un tercer grupo estuvo conformado por Santa Fe y Ollas Arriba con rendimientos por debajo de las 3,0 t/ha. El Ejido presentó los mayores porcentajes de plantas acamadas debido al mayor número de plantas cosechadas y la cosecha tardía del mismo (151 días).

El porcentaje de mazorcas podridas a través de las seis localidades fue de 12,6%, en La Zumbona, Llano Jengibre, Ollas Arriba y Santa Fe se encontraron los mayores porcentajes (superiores al 10%), mientras que en las localidades de la región de Azuero (El Ejido y Chupá) el valor estuvo por debajo del 5%, lo que se explica debido a que en éstas la precipitación fue menor al momento del llenado de grano. En relación al peso de las mazorcas, en las localidades de El Ejido, Chupá, Llano Jengibre y La Zumbona se encontraron los mayores valores (más de 80 g), mientras que en las dos restantes los valores no superaron los 70 g. El número de plantas a la cosecha varió a través de las localidades encontrándose las poblaciones más altas en Chupá y El Ejido, en las otras localidades la población de plantas al momento de la cosecha fue menor de 5,2 plantas/m. La baja población de plantas en las localidades de Llano Jengibre, Santa Fe y Ollas Arriba se debió al exceso de humedad en los días siguientes a la siembra, lo que se reflejó en una baja germinación de semillas y por consiguiente en una baja población inicial de plantas.

Efecto de genotipos

El análisis de varianza para genotipo, mostró diferencias altamente significativas entre los distintos sintéticos evaluados para la variable rendimiento de grano; se logró capturar el 7,2% de la Suma de Cuadrados Total del análisis de varianza de esta variable. El Cuadro 5 muestra la media de rendimiento de los 20 sintéticos, así como el resto de las características agronómicas más importantes.

Cuadro 4. Rendimiento y otras características agronómicas de nueve sintéticos de maíz en seis localidades. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Panamá, 2007-2008.

Localidades	Rendimiento (t/ha)	Días a floración	Altura de planta (cm)	Altura de mazorcas (cm)	Plan- tas/m ²	Mazor- cas/m ²	Mazorcas/ planta	Peso de mazorca (g)	Mazorcas podridas (%)	Acame (%)	Bipolaris (1-5)	Aspecto mazorcas (1-5)	Altura plan- ta/altura mazorca
El Ejido	5,50	56	223	118	5,96	5,84	0,98	93,9	2,5	47,4	3,0	3,1	0,53
Chupá	4,61	55	237	124	6,24	5,39	0,86	85,4	4,8	21,7	2,8	2,9	0,52
La Zumbona	3,89	53	204	99	5,27	4,51	0,86	86,2	13,8	.	2,6	2,4	0,55
Llano Jengibre	3,58	.	269	114	4,74	4,00	0,86	89,7	15,0	12,4	.	.	0,42
Santa Fé	2,38	.	164	69	4,47	3,58	0,80	66,0	18,9	1,4	.	2,1	0,42
Ollas Arriba	1,70	60	160	67	4,67	3,22	0,69	52,2	19,9	.	1,0	2,5	0,42
Promedio	3,72	56	213	101	5,27	4,50	0,85	80,3	12,0	22,0	2,4	2,6	0,48

Cuadro 5. Rendimiento de cultivares de maíz evaluados en seis localidades de Panamá (Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)), 2007-2008.

Cultivares	Rendi- miento (t/ha)	Floración (días)	Altura planta (cm)	Altura mazorca (cm)	Plan- tas/ m ²	Mazor- cas/m ²	Mazorcas/ planta	Peso mazorca (g)	Mazorcas podridas (%)	Acame (%)	Bipola- ris (1-5)	Aspecto de mazor- ca (1-5)	Altura plan- ta/altura ma- zorca
1. SA-N6-07	4,44	56	205	99	5,36	4,74	0,88	90,6	9,5	7,2	1,9	2,3	0,66
2. SA-N8-07	4,19	56	216	105	5,27	4,75	0,89	86,0	9,3	9,0	2,1	2,5	0,48
3. SA-N7-07	4,00	57	215	104	5,28	4,59	0,86	83,1	9,8	18,3	2,0	2,3	0,48
4. SA-Q14-07	3,98	55	215	99	5,36	4,90	0,91	79,8	18,9	14,4	2,5	2,8	0,46
5. SA-N1-07	3,93	57	215	99	5,13	4,24	0,82	90,1	7,7	9,3	2,1	2,3	0,46
6. SA-N10-07	3,86	56	211	97	5,32	4,49	0,84	83,7	11,6	13,3	2,1	2,7	0,46
7. SA-N4-07	3,77	57	209	94	5,25	4,28	0,81	84,0	8,5	11,0	2,4	2,4	0,44
8. SA-N9-07	3,73	56	206	101	5,14	4,56	0,89	80,5	8,6	12,6	2,2	2,5	0,49
9. SA-N2-07	3,70	57	211	103	5,33	4,11	0,76	85,7	9,4	11,8	2,3	2,2	0,48
10. SA-N5-07	3,67	56	204	92	5,32	4,49	0,84	79,1	7,9	13,6	2,1	2,5	0,45
11. SA-Q12-07	3,63	57	214	97	5,28	4,38	0,82	79,2	12,3	10,6	2,6	2,9	0,45
12. SA-N3-07	3,61	56	216	106	5,30	4,40	0,83	79,3	10,8	24,3	2,1	2,4	0,49
13. SA-Q13-07	3,47	56	202	99	5,10	4,37	0,85	77,2	10,5	10,4	2,3	2,5	0,49
14. SA-Q17-07	3,45	56	209	95	5,11	4,44	0,86	74,1	13,1	11,7	2,4	2,6	0,45
15. SA-Q5-06	3,36	56	210	98	5,31	4,46	0,84	73,7	17,4	19,1	2,1	2,8	0,46
16. SA-Q11-07	3,20	56	207	94	5,19	4,62	0,88	66,6	16,0	15,8	2,6	2,5	0,44
17. SA-Q2-06	3,13	55	211	102	5,27	4,22	0,80	72,8	13,7	18,1	2,4	2,7	0,48
18. SA-Q3-06	3,13	56	200	89	5,26	4,54	0,86	67,0	15,0	10,5	2,4	2,9	0,44
19. SA-Q1-06	2,98	55	204	93	5,21	4,17	0,79	68,7	28,0	9,8	2,5	3,1	0,45
20. Guaráre 8128	2,93	56	207	104	4,74	3,72	0,80	76,9	11,3	25,5	2,5	2,7	0,71
Promedio General	3,61	56	209	98	5,23	4,42	0,84	78,9	12,5	13,8	2,3	2,6	0,49
Prom. de Normales	3,80	56	210	100	5,22	4,40	0,84	83,6	9,5	14,2	1,7	2,5	0,51
Prom. de QPM	3,37	56	208	96	5,23	4,45	0,84	73,2	16,1	13,4	1,7	2,8	0,46
DMS	0,50	1	16	8	0,38	0,52	0,09	8,3	5,9	7,6	0,2	0,4	0,3

Diferencias entre grupos

La media de rendimiento de los sintéticos normales superó estadísticamente a los de alta calidad proteica (3,80 vs 3,37 t/ha, respectivamente). A pesar de la ventaja de rendimiento de los maíces normales, los QPM representan una alternativa de producción para los consumidores debido a su mayor contenido de lisina y triptófano con relación a los maíces normales, como lo mencionaron Mertz (1994), Vasal *et al.* (1994).

Todos los maíces sintéticos normales estuvieron por encima del promedio general, mientras que los QPM sólo el SA-Q14-07 y SA-Q12-07 estuvieron por encima de este valor. El mayor porcentaje de mazorcas podridas fue observado en los sintéticos QPM (16,1%), este valor fue diferente estadísticamente al encontrado en los normales (9,5%). En relación al tamaño de las mazorcas, el mismo fue superior en los maíces sintéticos normales en comparación a la media de los sintéticos QPM (83,6 vs 73,2 g, respectivamente). En cuanto al número de plantas y mazorcas a la cosecha, así como el número de mazorcas por planta, no se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos; lo que sugiere que las diferencias en rendimientos son debido al potencial de rendimiento y adaptabilidad de cada uno de ellos y no debido a la cantidad de plantas cosechadas. En la evaluación del porcentaje de plantas acamadas no se encontraron diferencias altamente significativas entre los dos grupos evaluados, aunque el valor de los maíces normales fue ligeramente superior al encontrado en los sintéticos QPM.

Maíz sintético normal

Entre los maíces sintéticos normales con mejor rendimiento se destacaron el SA-N6-07, SA-N8-07 y SA-N7-07, con promedios superiores a las 4,0 t/ha. Todos estos sintéticos superaron tanto al testigo de grano normal (Guararé 8128) que tuvo un rendimiento de 2,93 t/ha (Cuadro 5). El testigo Guararé 8128 presentó la población más baja de plantas y mazorcas, debido al alto porcentaje de acame al momento de la floración. Todos los sintéticos presentaron una floración femenina similar, con duración entre 56 y 57 dds. Las medidas de la altura de la mazorca variaron entre 94 a 106 cm, el SA-N4-07 fue el cultivar con la posición más baja de esta variable. El mayor porcentaje de

acame se encontró en el testigo normal Guararé 8128 con un 25,5%, mientras que los menores porcentajes lo presentaron el SA-N6-07 y SA-N1-07.

Este año la presión de enfermedades foliares fue baja y las calificaciones en todos los sintéticos estuvieron por debajo de 3,0 (en donde 5,0 es el máximo daño). No se observó diferencias significativas entre las variedades de este ensayo; los sintéticos SA-N6-07 y SA-N7-07 presentaron las calificaciones más bajas entre todos los cultivares evaluados. En relación a la variable que mide el ataque del complejo de hongos de la mazorca (*Diplodia maydis* y *Fusarium sp*), los sintéticos normales presentaron valores por debajo del 10% con excepción del SA-N10-07, SA-N3-07 y Guararé 8128 con promedios de 11,6; 10,8 y 11,3%, respectivamente.

Sintéticos QPM

Entre los sintéticos QPM sobresalieron SA-Q14-07 y SA-Q12-07 con rendimientos de 3,98 y 3,63 t/ha. El mejor de éstos superó estadísticamente al testigo SA-Q5-06, el cual fue el de mejor rendimiento en el año 2006 (Gordón *et al.* 2007). Los sintéticos formados en el 2005 (Q14, Q12, Q13, Q17 y Q11) superaron en rendimiento a los maíces sintéticos formados en el 1999 y 2003 (Q5, Q2, Q3 y Q1), lo que indica el avance en la selección de estos nuevos cultivares. No se encontraron diferencias estadísticas entre el número de plantas cosechadas y la altura entre los sintéticos de este tipo de grano. La altura de estos materiales varió entre 202 y 215 cm, el cultivar de menor estatura fue el SA-Q3-06 (200 cm), seguido por los genotipos SA-Q3-06 y SA-Q1-06. La población de plantas a la cosecha fue superior a las 5,0 plantas/m².

En relación al acame de tallo, sobresalió el SA-Q1-06 con un porcentaje de 9,8, el resto de los materiales presentaron acames por encima del 10%. Este mismo cultivar presentó el mayor porcentaje de mazorcas podridas con un 28%, mientras que el menor porcentaje fue presentado por el SA-Q13-07 (10,5%). En general, esta es una característica que se debe mejorar para evitar pérdidas al productor en ambientes de alta precipitación pluvial. Se debe señalar que estos sintéticos presentaron bajos porcentajes de mazorcas podridas en las localidades de Los Santos, el cual es una provincia con precipitaciones anuales por debajo de los 1200 mm, mientras que en las provincias de Panamá, Darién, Veraguas y la Comarca Ngöbe

Bugle, las precipitaciones están por encima de los 2500 mm anuales. En resumen, se identificaron dos sintéticos amarillos normales (SA-N6-07 y SA-N8-07) y dos de alta calidad proteica (SA-Q14-07 y SA-Q12-07) que superaron al testigo convencional del área Guararé-8128.

Interacción Genotipo por Ambiente

El análisis de varianza para la variable rendimiento de grano, así como el valor de los dos primeros ejes del componente principal de la interacción genotipo-ambiente (PCA), obtenidos a través del modelo AMMI Biplot GGE-SREG se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Análisis de varianza tipo IV y análisis de componentes principales (PCA) para la variable rendimiento de grano de maíz. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Panamá. 2007-2008.

F de V.	g.l.	Suma de cuadrados	Cua-drados medios	Prob > F	% de la varianza
AMB	5	196,12	39,22	0,001	75,9
GEN	19	18,72	0,99	0,001	7,2
GEN x AMB	95	16,16	0,17	0,001	6,3
PCA-1	23	69,01	3,00	0,001	66,0
PCA-2	21	13,79	0,66	0,001	13,2
Residuo	51	21,83	0,43	0,001	20,8

En La Figura 1 se presenta la gráfica Biplot GGE-SREG que toma en cuenta las puntuaciones o valores de los dos ejes principales (PCA1 y PCA2), tanto de los 20 genotipos como de los seis ambientes.

Los dos primeros ejes explicaron el 79,2% de la interacción genotipo ambiente con tan solo el 40,7% de los grados de libertad. El PCA-1 explicó el 66,0%, mientras que el PCA-2 fue responsable del 13,2% con el 21 y 19% de los grados de libertad, respectivamente.

De acuerdo a Yan *et al.* (2000), al graficar las puntuaciones de ambos ejes principales, se forma un polígono con los cultivares que quedan en la parte externa de la figura. Este análisis permite agrupar a los ambientes con similar comportamiento, para este

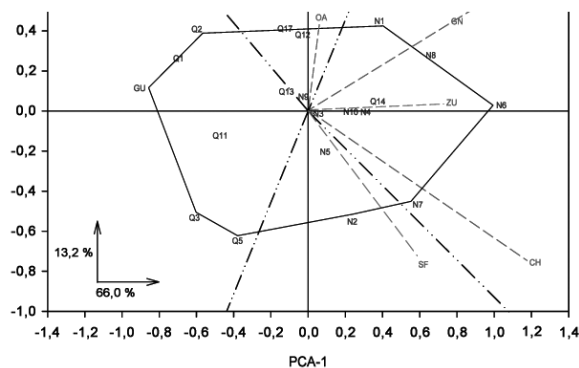


Figura 1. Puntuaciones del primer y segundo eje del componente principal (Biplot-GGE-SReg), de 20 cultivares de maíz evaluados en seis ambientes de Panamá. 2007-2008.

experimento se logró separar tres grupos ambientales. El primer grupo (Grupo ambiental A) lo conforman las localidades El Ejido, Chupá, La Zumbona y Llano Jengibre; el promedio de rendimiento de estas localidades fue de 4,39 t/ha. El segundo grupo (Grupo ambiental B) lo constituyó el ensayo sembrado en Ollas Arriba; en esta localidad el rendimiento promedio fue de 1,70 t/ha. El tercer grupo (Grupo ambiental C) estuvo formado por el ensayo sembrado en Santa Fe, en esta localidad la media de rendimiento fue de 2,38 t/ha (Cuadro 7).

De acuerdo a las puntuaciones del eje PCA2, los cultivares más estables fueron el SA-N6-07, SA-Q14-07, SA-N10-07 y SA-N4-07 (valores cercanos a cero), mientras que los sintéticos SA-N6-07, SA-N1-07 y SA-N7-07 fueron los que mejor respondieron a los estímulos ambientales por estar en las esquinas del polígono, presentando el mejor rendimiento el sintético SA-N6-07 con 4,44 t/ha (Yan *et al.* 2000, Yan *et al.* 2001). Con relación a la interacción genotipo ambiente los sintéticos que mejor se comportaron en cada uno de los grupos ambientales, se encuentran cerca de cada grupo ambiental (Yan y Hunt 2002, Yan y Rajcan 2002). Ejemplo de esto lo observamos con el sintético SA-N8-07, el cual que tuvo buen comportamiento en las localidades del Grupo A y B (segundo y cuarto lugar con medias de 5,13 y 2,20 t/ha) pero ocupó la posición 12 en la localidad del Grupo C con 2,44 t/ha, mientras que el SA-Q5-06 fue el de tercer mejor rendimiento (2,95 t/ha) mejor en los ambientes del Grupo C, pero su rendimiento quedó en las posiciones 16 y 15 en los ambientes del Grupo A y B (3,94

Cuadro 7. Rendimiento de grano de los sintéticos de maíz evaluados según grupo ambiental. Panamá. 2007-2008.

Sintéticos	Localidades del Grupo A				Grupo A	Grupo B	Grupo C
	El Ejido	Chupá	La Zumbona	Llano Jengibre	Promedio	Ollas Arriba	Santa Fe
1. SA-N1-07	6,33	4,48	4,36	4,18	4,84 ⁴	1,76	2,48
2. SA-N2-07	5,40	5,44	4,03	3,60	4,62	1,07	2,64
3. SA-N3-07	5,83	4,48	3,94	3,38	4,41	1,42	2,58
4. SA-N4-07	6,03	4,99	4,01	3,84	4,72	1,30	2,46
5. SA-N5-07	5,56	4,83	3,89	3,49	4,44	1,57	2,66
6. SA-N6-07	6,92	5,94	4,62	4,27	5,44 ¹	1,95	2,97 ²
7. SA-N7-07	6,02	5,44	4,22	4,06	4,93 ³	1,03	3,26 ¹
8. SA-N8-07	6,42 ²	5,34 ⁴	4,62 ²	4,13 ³	5,13 ²	2,20 ⁴	2,44 ¹²
9. SA-N9-07	5,34	4,41	3,65	3,85	4,31	2,36 ¹	2,77 ⁴
10. SA-N10-07	5,65	4,77	4,10	3,95	4,62	1,93	2,75
11. SA-Q11-07	4,45	4,33	3,57	3,64	4,00	1,39	1,81
12. SA-Q12-07	5,47	4,72	4,07	3,67	4,48	2,25 ²	1,58
13. SA-Q13-07	5,57	4,61	3,48	3,41	4,27	1,68	2,05
14. SA-Q14-07	5,87	5,20	4,13	3,90	4,78	2,22 ³	2,54
15. SA-Q1-06	5,00	3,64	3,16	3,01	3,70	1,48	1,61
16. SA-Q3-06	4,47	4,73	3,03	2,33	3,64	2,06	2,18
17. SA-Q17-07	5,71	4,09	4,02	3,59	4,35	1,48	1,83
18. SA-Q2-06	5,34	3,30	3,19	3,12	3,74	1,75	2,10
19. Guararé 8128	4,15	3,23	3,52	3,21	3,53	1,64	1,83
20. SA-Q5-06	4,37 ¹⁹	4,27 ¹⁶	4,15 ⁵	2,97 ¹⁹	3,94 ¹⁶	1,48 ¹⁵	2,95 ³
Promedio	5,50	4,61	3,89	3,58	4,39	1,70	2,38

* El superíndice indica la posición de acuerdo al orden de los rendimientos.

y 1,48 t/ha, respectivamente). Este comportamiento se puede observar al comparar las medias presentadas en el Cuadro 7, el cual resume el rendimiento general y por cada grupo ambiental. El modelo Biplot GGE-SReg, resultó apropiado para estimar con precisión los patrones de respuesta de los sintéticos así como de los efectos ambientales.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean manifiestan su agradecimiento a la Secretaría Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación (SENACYT) por su apoyo financiero. A los ingenieros Walker González, Omar Alfaro y Felipe González por su desinteresada participación en la conducción de algunos de los ensayos de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Becker, HC. 1981. Correlation among some statistical measure of phenotypic stability. *Euphytica* 30: 835-840.
- Becker, HC; Leon, J. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding* 101:1-23.
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1999. Informe Anual 1999-2000. (en línea). Consultado 15 set. 2009. Disponible en www.cimmyt.org/whaticimmyt/AR99_2000Spa/contenido.htm
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 2009. México y el CIMMYT (en línea). Consultado 30 oct. 2009. Disponible en <http://www.cimmyt.org/spanish/wps/mexico/mexicocimmyt.htm>
- 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, HG; Zobel, RW. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop. Sci.* 30:493-500.
- Crossa, J; Fox, PN; Pfeiffer, WH; Rajaram, S; Gauch, Jr, HG 1991. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. *Theor Appl. Genet.* 81:27-37.
- Cubero, JI. 2003. Introducción a la mejora genética vegetal. Ediciones Mundi Prensa. 2 ed. Madrid España. 567 p.
- 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, SA; Russell, WA. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop. Sci.* 6:36-40.
- FAO (Food and agriculture organization). 1993. El maíz en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y nutrición No. 25 (en línea). Consultado 15 set. 2009. Disponible en www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S03.htm
- Finlay, KW; Wilkinson, GN. 1963. The Analysis of Adaptation in plant breeding program. *Aust. J. Agric. Res.* 14:742-754.
- Gauch, HG; Zobel, RW. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 76:1-10.
- Gordón, R; Camargo, I; Franco, J; Quirós, E. 2007. Evaluación de nueve sintéticos de maíz de alta calidad proteica en 14 localidades, Panamá. 2006-2007. Informes técnicos del POA 2006-2007. IDIAP. 96 p.
- Krivanek, AF; De Groote, H; Gunaratna, NS; Diallo, AO; Friesen, D. 2007. Breeding and disseminating quality protein maize (QPM) for Africa. *African Journal of Biotechnology* 6(4):312-324.
- Lin, CS; Binns, MR; Lefkovich, LP. 1986. Stability Analysis. Where do we stand? *Crop Sci.* 26:894-900.
- Mendoza, E; Andrio, E; Juarez, JM; Mosqueda, C; Latournerie, L; Castañón, G; López, A; Moreno, E. 2006. Contenido de Lisina y Triptófano en genotipos de maíz de alta calidad proteica y normal. *Universidad y Ciencia, Trópico Húmedo* 22(2):153-161.
- Mertz, EE. 1994. Thirty years of opaque 2 maize. *In: Quality protein maize. 1964-1994. Proc. of Symp. of Quality Protein Maize.* EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas M. G. Brasil. p. 1-10.
- MEF (Ministerio de Economía y Finanzas). 2005. La pobreza en Panamá. Encuesta de niveles de vida. 2003. Principales resultados. 9 p.
- Ortega CA; Cota, AO; Vasal, SK; Villegas, ME; Córdoba, OH; Barreras, SMA; Wong, PJJ; Reyes, MCA; Preciado, ORE; Terrón, IA; Espinoza, CA. 2001 H-441C, H-442C y H-469C, híbridos de maíz de calidad proteínica mejorada para el Noroeste y subtropical de México. Ed. INIFAP. Folleto Técnico No. 41:4-15.
- Perkins, JM; Jinks, JL. 1968. Environmental and genotype-environmental components of variability. IV Non-linear interactions for multiple inbred lines. *Heredity*, 23:525-535.
- Vasal, SK; Vergara, AN; Mc Lean, S. 1994. Estrategias en el desarrollo de híbridos tropicales de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 5:184-189.
- Westcott, B. 1986. Some methods of analyzing genotype environment interaction. *Heredity* 56:243-253.
- Yan, W, L; Hunt, A; Sheng, Q; Szlavnic, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega environment investigation based on the GGE Biplot. *Crop Sci.* 40:597-605.
- Yan, W; Cornelius, P; Crossa, J; Hunt, LA. 2001. Two types of GGE Biplots for analyzing multi – environment trial data. *Crop Sci.* 41:656-663.
- Yan, W; Hunt, A. 2002. Biplots analysis of multi – environment trial data. CAB International. *Quantitative Genetics, Genomics and Plant Breeding.* Ed. M.S.Kang. p. 289-303.
- Yan, W; Rajcan, I. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Sci.* 42:11-20.
- Zobel, RW; Wright, MJ; Gauch, HG. Jr. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.* 80:388-393.