

## VARIETADES DE MAÍZ CON ALTO CONTENIDO DE BETACAROTENOS<sup>1</sup>

**Román Gordón-Mendoza<sup>2</sup>; Jorge Franco-Barrera<sup>3</sup>; Jorge Núñez-Cano<sup>4</sup>;  
Jorge Jaén-Villarreal<sup>3</sup>; Ana Sáez-Cigarruista<sup>4</sup>; Eric Quirós-Rodríguez<sup>5</sup>;  
Emigdio Rodríguez-Quiel<sup>6</sup>; Félix San Vicente-García<sup>7</sup>**

### RESUMEN

Con el objetivo de seleccionar variedades de maíz de grano amarillo con alto contenido en betacarotenos, se sembraron 30 experimentos en campos de agricultores colaboradores y la Estación Experimental de El Ejido, República de Panamá en los años 2014, 2016 y 2017. Los sintéticos evaluados se obtuvieron del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). En el primer año se recibieron 12 variedades de alto contenido de carotenos y se incluyeron dos testigos de grano normal en un ensayo sembrado en dos fechas de siembra en El Ejido (siembra recomendada y siembra tardía). El año 2015 se recibieron de parte del CIMMYT, semilla de las cuatro mejores variedades y éstas fueron multiplicadas. En el año 2016 y 2017 se armaron dos ensayos y los mismos se sembraron en parcelas facilitadas por productores de distintas localidades del país (Azüero, Soná y Río Sereno). El diseño utilizado fue Alfa Látiçe 3 x 4 y 3 x 3 (12 y 9 tratamientos, respectivamente), con tres repeticiones. Las parcelas experimentales consistieron de dos surcos de 5,20 m de largo separados a 0,75 m entre hileras. La población osciló entre 5,33 y 6,66 plantas.m<sup>-2</sup>. El manejo agronómico realizado fue de acuerdo a lo recomendado por el Proyecto de Maíz del instituto. Se realizaron los análisis de varianza de todos los ensayos y los mismos mostraron diferencias estadísticas entre cultivares. Se obtuvieron altos porcentajes de repetitividad y bajos coeficientes de variación. La adaptabilidad y estabilidad de las variedades fue medida con el uso del análisis Biplot SReg. Después de los tres años de evaluación se determinó que la variedad HPMARKERSYNG1F1-#/HPMARKERSYNG2F1-#-S1 (PROA-04) presentó un rendimiento de 5,46 t.ha<sup>-1</sup>, superior a la variedad Guararé-8128 y similar a la variedad IDIAP-MV-0706 y superada por el IDIAP-MV-1102. Esta nueva variedad fortificada se caracterizó por su buen rendimiento en el promedio general de todas las localidades buenas características agronómicas.

**PALABRAS CLAVES:** Biplot GGE-SReg, mejoramiento, variedades sintéticas, adaptabilidad.

<sup>1</sup> Recepción: 16 de mayo de 2018. Aceptación: 18 de junio de 2018. Investigación realizada con fondos del "Proyecto de Investigación e Innovación de generación de variedades e híbridos de maíz ante la variabilidad climática en la región de Azüero" del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.

<sup>2</sup> M.Sc. en Protección de Cultivos. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azüero (CIA Azüero). e-mail: gordon.roman@gmail.com

<sup>3</sup> M.Sc. IDIAP. CIA Azüero.

<sup>4</sup> Ing. Agr. IDIAP. CIA Azüero.

<sup>5</sup> Ing. Agr. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Divisa (CIA Divisa).

<sup>6</sup> M.Sc. en Mejoramiento. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Chiriquí (CIA Chiriquí).

<sup>7</sup> Ph.D. en Mejoramiento. CIMMYT. Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo.

## MAIZE VARIETIES WITH HIGH CONTENT OF BETA-CAROTENS

### ABSTRACT

In order to select varieties of yellow grain corn with high content of beta-carotene, 30 experiments were planted in fields of collaborating farmers and the Experimental Station of El Ejido, Republic of Panama in the years 2014, 2016 and 2017. The synthetics evaluated were obtained from the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). In the first year, 12 varieties of high carotene content were received and two normal grain controls were included in a trial planted on two sowing dates in El Ejido (recommended sowing and late sowing). In 2015, was received from CIMMYT, seeds of the four best varieties and these were multiplied. In 2016 and 2017 two trials were prepared and planted in plots provided by producers from different localities in the country (Azuelo, Soná and Río Sereno). The design used was Alfa Lattice 3 x 4 and 3 x 3 (12 and 9 treatments, respectively), with three repetitions. The experimental plots consisted of two rows of 5,20 m long separated at 0,75 m between rows. The population oscillated between 5,33 and 6,66 plants.m<sup>2</sup>. The agronomic management carried out was according to what was recommended by the Maize Project of the institute. The analyzes of variance of all the tests were carried out and they showed statistical differences between cultivars. High percentages of repeatability and low coefficients of variation were obtained. The adaptability and stability of the varieties was measured with the use of Biplot SReg analysis. After three years of evaluation it was determined that the variety HPMARKERSYNG1F1 - # / HPMARKERSYNG2F1 - # - S1 (PROA-04) presented a yield of 5,46 t.ha<sup>-1</sup>, superior to the variety Guararé-8128 and similar to the IDIAP-MV-0706 variety and surpassed by the IDIAP-MV-1102. This new fortified variety was characterized by its good performance in the general average of all localities with good agronomic characteristics.

**KEY WORDS:** Biplot GGE-SReg, breeding, synthetic varieties, adaptability.

### INTRODUCCIÓN

Aunque se ha logrado un avance significativo en seleccionar variedades de maíz con mejor tolerancia a estreses bióticos, estas se han sembrado poco en Panamá. Hace más de 30 años, el CIMMYT inició selección recurrente para mejorar el rendimiento en condiciones de sequía severa en la etapa de la floración (la etapa fenológica más sensible) y se

logró un mejoramiento promedio de rendimiento bajo estrés de 126 kg.ha<sup>-1</sup> por ciclo (Bruce *et al.* 2002). Esta labor en el CIMMYT se basó en la selección de familias para obtener tanto características de adaptación a sequía como un mejor rendimiento de grano bajo estrés. El CIMMYT ha generado muchas poblaciones tolerantes a sequía en una

gran diversidad de grupos de madurez y tipos de grano. Las progenies de estas poblaciones se ensayaron también en condiciones deficientes en nitrógeno y se observó que la mejoría en la tolerancia a sequía tuvo un efecto benéfico significativo en la tolerancia a la deficiencia de nitrógeno (Zaidi *et al.* 2004). En años recientes, se ha progresado mucho en generar variedades tolerantes a sequía para el Este y el Sur de África, donde prevalece una tendencia a sequía severa y donde los cultivares elite del CIMMYT rinden por lo menos una tonelada por hectárea más en condiciones de sequía grave que el mejor germoplasma proveniente del sector privado (Banziger *et al.* 2006).

Las variedades de maíz con tolerancia mejorada a sequía tienen menos probabilidades de ser susceptibles al desarrollo de micotoxinas. En las áreas urbanas del Panamá, 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. Las poblaciones que sufren de pobreza y de pobreza extrema son las más afectadas por deficiencia de vitamina A (MINSa 2014). Esta proporción llega al 88% del área indígena y 50% en el área urbana. Los niños indígenas tienen dos veces más alto riesgo según el índice de consumo y en cuanto al patrón habitual de consumo el riesgo es tres veces más alto que los niños no indígenas. En 1999 se actualizó la situación de la deficiencia de vitamina A, se reportó que los bajos niveles de retinol sérico (<20 µg/dL) aumentaron de 6% a 9%. Por lo anterior, en Panamá la deficiencia de vitamina A no es considerado como un problema de salud pública a nivel nacional. Sin embargo, un estudio que se realizó en niños y niñas menores de 5 años a nivel nacional, mostró que las cifras de prevalencia en el área indígena eran elevadas, afectando principalmente a las niñas y niños de 12 a 23 meses de edad (MINSa 1999). Por otro lado, un estudio realizado por Menchú y Méndez (2011) indican que la adecuación promedio de vitamina A es de 28% en el área indígena. También, indica que un alto porcentaje de hogares están en situación crítica según el nivel de adecuación (menor del 70%) y que los nutrientes más deficitarios en

Panamá son calcio, zinc y vitamina A. Un estudio realizado en Zambia con maíz biofortificado rico en betacaroteno se observó que su consumo fue más eficaz en incrementar la retención sérica de  $\beta$ -caroteno en comparación con el maíz convencional (Palmer *et al.* 2016).

El 20,6% de la población de Panamá menor de 5 años (60 meses) padece de desnutrición crónica, o sea, una baja talla para su edad. La incidencia de la pobreza total entre las personas de 10 años y más que no saben leer y escribir es de 71,8%, lo que representa un poco más de dos veces, cuando se compara con aquellas que leen y escriben (30,3%). La Fundación Nutre Hogar de la UNICEF mostró su preocupación en un documento por la existencia en la nación panameña de unos “600 000 menores con más de 45% de desnutrición crónica”. Ese organismo indicó que el déficit alimentario es muy severo en las zonas indígenas, donde 72,3% de los infantes, incorporados a labores agrícolas, padece ese mal (MEF 2005).

Durante los últimos cinco años se diseñó un proyecto con el objetivo de determinar la adaptabilidad y estabilidad de variedades sintéticas normales, QPM y alto contenido en betacarotenos; de grano amarillo con tolerancia a estreses

bióticos, con el propósito de identificar genotipos rendidores, con buena estabilidad de rendimiento y características agronómicas deseables, bajo diversos ambientes de Panamá.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### **Localidades**

Durante tres años se realizaron experimentos en distintas localidades de las provincias de Los Santos, Veraguas y Chiriquí. En el 2014 se sembró un experimento en dos fechas de siembra, Normal y Tardía (S-Normal y S-Tardía), en la Estación Experimental El Ejido en un diseño de bloques completos al azar (BCA) con dos repeticiones. En el 2016 se realizó en tres provincias del país un experimento en un diseño Alfa Látice 3 x 4 con tres repeticiones. En el 2017 el ensayo tuvo un diseño Alfa Látice 3 x 3 con tres repeticiones y se sembró en 10 localidades de la provincia de Los Santos. En total, la investigación para la evaluación y selección de variedades incluyó 30 experimentos en los tres años (Cuadro 1).

### **Material genético**

Durante tres ciclos agrícolas (2014, 2016 y 2017) se realizaron ensayos en múltiples localidades del país en parcelas de productores colaboradores.

**CUADRO 1. DISEÑO, NÚMERO DE REPETICIONES, TRATAMIENTOS Y LOCALIDADES DE LOS ENSAYOS DE EVALUACIÓN DE VARIEDADES EN PANAMÁ, 2014-2017.**

Año	Diseño	Rep	Trat	Provincia	Loc	Localidades
2014	BCA	2	14	Los Santos	2	El Ejido
2016	Alfa Látice 3x4	3	12	Los Santos	10	El Ejido, El Salaíto, Guararé, Llano Abajo, Nuevo Ocú, Pocrí, La Colorada, Pedasí y Los Destiladeros.
				Veraguas (Soná)	5	Río Viejo E, Guarumal, La Soledad, Trinchera y Río Viejo L.
				Chiriquí (Río Sereno)	3	Río Sereno, San Antonio y Dominical
2017	Alfa Látice 3x3	3	9	Los Santos	10	El Ejido, El Salaíto, Guararé, Llano Abajo, Nuevo Ocú, Pocrí, La Colorada, Los Destiladeros y Pedasí.

Rep = Repeticiones; Trat = Tratamiento; Loc = Localidades.

Todo el material genético evaluado fue recibido del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). En el año 2014 se sembraron 12 variedades de maíz grano amarillo con alto contenido de betacarotenos (ProA) y dos testigos locales de grano amarillo normal. En el 2016 se evaluaron 12 variedades, en el mismo se incluyeron las mejores cuatro variedades ProA seleccionadas en el 2014, dos variedades de grano blanco y seis variedades de grano amarillo, ya liberadas por el IDIAP. Finalmente, en el año 2017 se sembraron los ensayos incluyendo nueve variedades de grano amarillo, en este se incluyó las cuatro variedades de alto contenido en betacarotenos (Cuadro 2).

### **Unidad Experimental**

Las parcelas experimentales consistieron de dos surcos de 5,2 m de largo. Todos los ensayos en Los Santos fueron sembrados a una distancia de 0,75 m entre hileras y 0,20 m entre plantas para una densidad inicial de 6,66 plantas/m<sup>2</sup>. En Veraguas (Soná) y Chiriquí (Remedios) la distancia entre posturas fue de 0,50 m, dejando dos plantas por postura, para una población inicial de 5,33 plantas/m<sup>2</sup>. El manejo agronómico de los ensayos respecto al control de malezas, plagas dependió de su incidencia y de las recomendaciones de la Guía para el manejo integrado del cultivo de maíz del IDIAP (Gordón 2012). Se aplicó a la siembra 273 kg.ha<sup>-1</sup> de una fórmula completa (13-26-10-3) en forma

de banda a 2,5 cm de profundidad. Se realizaron dos aplicaciones suplementarias de nitrógeno en forma de urea, la primera a los 21 días después de siembra (dds) y la segunda a los 37 dds a razón de 159 kg.ha<sup>-1</sup> a 204 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

### **Variables medidas**

Los datos tomados incluyeron caracteres cuantitativos como: días a floración masculina y femenina, altura de planta y mazorca, número de plantas acamadas de tallo, número de mazorcas

podridas, número de plantas y mazorcas al momento de la cosecha, rendimiento de grano, número de mazorcas con mala cobertura y humedad del grano. Además, se midieron variables cualitativas, como: aspecto de planta y mazorcas (escala 1 a 5), textura de grano (escala 1 a 4), enfermedades al follaje tales como *Bipolaris maydis*, *Exserohilum turcicum*. Donde 1 indica ausencia de enfermedad y 5 infección muy severa. La evaluación se realizó en la etapa R3 (75-80 dds) del cultivo, antes de la senescencia de las hojas.

**CUADRO 2. VARIEDADES EVALUADAS EN LOS TRES ENSAYOS DE MAÍZ EN PANAMÁ, 2014-2017.**

	2014	2016	2017
<i>Genealogía</i>	<i>Nombre Experimental</i>		
(ProA-SynA) F1-#	PROA-01	IDIAP-MV-0706	IDIAP-MV-0706
(ProA-SynB) F1-#	PROA-02	IDIAP-MV-1102	IDIAP-MV-1102
ObatanpaProAFSBalBulk-#-#	PROA-03	IDIAP-MV-1104	IDIAP-MV-1104
HPMARKERSYNG1F1- #/HPMARKERSYNG2F1-#-S1	PROA-04	Guararé-8128	Guararé-8128
HPMARKERSYNG2F1- #/HPMARKERSYNG1F1-#-S1	PROA-05	IDIAP-MQ-12	IDIAP-MQ-12
HPMARKERSYNG3F1- #/HPMARKERSYNG1F1-#-S1	PROA-06	PROA-02	PROA-02
HPMARKERSYNG3F1- #/HPMARKERSYNG2F1-#-S1	PROA-07	PROA-04	PROA-04
HPMARKERSYNG1F1-B	PROA-08	PROA-05	PROA-05
HPMARKERSYNG2F1-B	PROA-09	PROA-06	PROA-06
HPMARKERSYNG3F1-B	PROA-10	IDIAP-MQ-14	
Sam4ProAMASc1 F1-B	PROA-11	IDIAP-MQ-07	
HPMARKERSYNG1F1-B	PROA12	IDIAP-MQ-09	
IDIAP-MV-1102			
IDIAP-MV-1104			

El rendimiento de grano de cada variedad fue normalizado ( $RN_i$ ) por medio del proceso de estandarización o normalización  $N(0,1)$ . La fórmula para el cálculo del rendimiento normalizado fue  $(X_i - \mu) / \delta$ , en donde  $X_i$  es el rendimiento de la variedad de interés,  $\mu$  es la media general y  $\delta$  es la desviación estándar general a través de localidades. La normalización se realizó para comparar el rendimiento de cada variedad y disminuir el efecto de las condiciones en cada localidad.

#### **Diseño experimental y análisis estadístico**

Se realizó un análisis de varianzas por localidad utilizando el método REML (Restricted Maximum Likelihood) propuesto por Vargas *et al.* (2013). El cálculo de las varianzas de cada una de las fuentes de variación se realizó según los modelos lineales de los diseños de BCA (1) y Alfa Látice (2).

$$Y_{ijk} = \mu + Rep_i + Gen_k + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

$$Y_{ijk} = \mu + Rep_i + Block_j(Rep_i) + Gen_k + \varepsilon_{ijk} \quad (2)$$

En donde  $Y_{ijk}$  es el tratamiento de interés;  $\mu$  es la media general;  $Rep_i$  es el efecto de la  $i$ -ésima repetición;  $Block_j(Rep_i)$  es el efecto del  $j$ -ésimo bloque incompleto dentro del  $i$ -ésima repetición;  $Gen_k$  es el efecto  $k$ -ésimo genotipo, y  $\varepsilon_{ijk}$  es el error

residual. En este modelo los genotipos se consideran como efectos fijos y las repeticiones y bloques incompletos como efectos al azar.

En cada análisis por localidad se procedió a calcular la repetitividad ( $h^2$ ) y a las localidades que tuvieron una repetitividad superior a 0,20 se les realizó un análisis de varianza combinado por año (Gordón y Camargo 2015 y Camargo *et al.* 2017) con el siguiente modelo matemático de acuerdo al diseño de BCA (3) y Alfa Látice (4):

$$Y_{ijkl} = \mu + Loc_i + Rep_j(Loc_i) + Gen_l + Loc_i \times Gen_l + \varepsilon_{ijkl} \quad (3)$$

$$Y_{ijkl} = \mu + Loc_i + Rep_j(Loc_i) + Block_k(Loc_i Rep_j) + Gen_l + Loc_i \times Gen_l + \varepsilon_{ijkl} \quad (4)$$

En donde los nuevos términos  $Loc_i$  y  $Loc_i \times Gen_l$  son los efectos para la  $i$ -ésima localidad y la interacción genotipo por localidad, ambos considerados términos al azar dentro del modelo. En este modelo los genotipos se consideran como efectos fijos y las repeticiones y bloques incompletos como efectos al azar. Para la estructura de las covarianzas se utilizó el modelo de componentes de la varianza (*Variance components*).

A todas las variables se le calculó las medias ajustadas (LS means) y las mismas fueron comparadas utilizando las diferencias mínimas significativas (DMS) al 5% de probabilidad. Finalmente, se realizó un análisis combinado de los años 2016 y 2017 con las variedades en común (nueve en total) bajo un diseño de BCA de las 28 localidades.

### **Análisis de estabilidad**

Para el análisis de estabilidad se utilizó el modelo Biplot GGE-SReg, que integra el análisis de varianza y el análisis de componentes principales (Yan *et al.* 2000). Los datos de rendimiento fueron sometidos a un análisis de conglomerado mediante el método de Ward (Johnson 1998). Este método utiliza el análisis de la varianza para evaluar la distancia entre grupos, minimizando la suma de los cuadrados de las distancias entre los conglomerados que son formados en cada interacción.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Análisis de los ensayos de 2014**

Se midió la precipitación pluvial durante todo el desarrollo del cultivo en

las dos fechas de siembra en la localidad El Ejido (Cuadro 3). Ambas fechas de siembra, pasaron estrés hídrico por la baja precipitación en todo el ciclo, con registros menores de 250 mm de lluvia (Cuadro 3). En la fecha de siembra normal (S-Normal) se presentó estrés en la floración (51 a 80 dds) y el llenado del grano (81 a 100 ds), mientras que en la siembra tardía (S-Tardía) el estrés fue más acentuado después de los 80 dds. Esto se vio reflejado en la baja productividad de los dos ensayos. El análisis estadístico por localidad para el rendimiento de grano presentó un valor de repetitividad superior a 0,20 para los dos ensayos (0,92 y 0,41 para S-Normal y S-Tardía, respectivamente). El análisis combinado de las dos localidades (Cuadro 4) indica diferencias significativas para el rendimiento de grano y variables asociadas a él como peso de mazorcas. Los valores de repetitividad fueron superiores a 0,20 con excepción de la posición relativa de las mazorcas con respecto a la altura de las plantas (Pomz), plantas al momento de la cosecha ( $Pt \cdot m^2$ ) y porcentaje de mazorcas podridas (Pod).

**CUADRO 3. PRECIPITACIÓN ACUMULADA POR DECA-DÍAS EN LOS DOS ENSAYOS ALTOS EN CONTENIDO DE BETA-CAROTENO, EL EJIDO, PANAMÁ – 2014.**

Ensayo	0-10	11-20	21-30	0 a 30	31-40	41-50	31 a 50	51-60	61-70	71-80	51 a 80	81-90	91-100	81 a 100	Total
S-Normal	29,4	3,0	8,1	40,4	11,1	69,9	81,0	32,4	0,8	6,6	39,7	4,8	43,2	48,0	209,1
S-Tardía	45,5	25,8	0,0	101,2	6,9	42,0	48,8	20,7	74,0	0,0	94,7	0,0	0,0	0,0	244,8



El análisis para rendimiento presentó mayor varianza entre localidades que entre variedades y la interacción entre estas dos fuentes fue relativamente baja.

El rendimiento de grano, así como el resto de las variables medidas (Cuadro 4), sobresalieron las variedades con alto contenido en betacarotenos PROA-04) con rendimiento de grano superior a las 3,00 t.ha<sup>-1</sup> y un rendimiento normalizado (RN<sub>i</sub>) de 1,83; 73% por encima de la media general del mejor testigo IDIAP-MV-1102. Le siguieron a este grupo las variedades PROA-02, PROA-06 y PROA-05 con un rendimiento superior a 2,00 t.ha<sup>-1</sup>, superando al testigo en más del 20%. Estas variedades presentaron número de mazorcas por planta al momento de la cosecha y peso de las mazorcas superior a la media del experimento. Su porcentaje de mazorcas podridas fue bajo (menos de 7%), por el contrario, el porcentaje de plantas acamadas fue alto con excepción del PROA-04 que presentó menos de 10%. Debido a la baja precipitación pluvial registrada en el 2014 la presencia de enfermedades foliares causadas por hongo fue baja, presentando calificaciones menores de 1,5.

De acuerdo a estos resultados y a su comportamiento con respecto al mejor testigo de grano normal, se seleccionaron las mejores cuatro variedades evaluadas en este grupo. Estos genotipos fueron solicitados al CIMMYT para su multiplicación en el Programa de Semillas del IDIAP. Los mismos fueron incluidos en la evaluación con el resto de variedades liberadas por IDIAP en los siguientes años. Estos ensayos fueron sembrados en parcelas facilitadas por productores en distintas localidades del país.

#### ***Análisis de los ensayos de 2016***

El análisis combinado de los ensayos del año 2016 incluyó todos los ensayos con repetitividad mayor de 0,20. En este análisis se excluyó la siembra tardía realizada en El Ejido (S-Tardía), dado que presentó una repetitividad de 0,17. En total se incluyeron 17 localidades para el análisis combinado. Este análisis presentó una repetitividad de 0,93 para la variable rendimiento y el resto de las variables presentaron valores superiores a 0,20. En este año la varianza para rendimiento de grano fue mayor entre localidades que entre variedades (Cuadro 5), indicando la variabilidad de los ambientes.

**CUADRO 4. RENDIMIENTO DE GRANO AJUSTADO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS. CUADROS MEDIOS DEL ANÁLISIS COMBINADO DE LAS VARIABLES MEDIDAS, EL EJIDO, PANAMÁ - 2014.**

Variedad	Rend	RN <sub>i</sub>	Flor días	Alpt cm	Ptm <sup>2</sup>	MxP	Pmz g	Pod %	Aca %	Aspt 1 a 5	Asmz 1 a 5	Cob %	Tex 1 a 4	Pomz	vs 1102
1 PROA-04	3,05	1,83	55	163	6,06	0,93	49	4,8	9,7	3,4	3,8	10,3	1,2	0,39	73
2 PROA-02	2,33	0,47	56	153	6,27	0,88	38	4,8	16,7	3,6	4,0	5,7	1,3	0,47	32
3 PROA-06	2,32	0,26	57	138	6,36	0,90	38	4,0	22,7	3,5	4,1	11,9	1,0	0,49	31
4 PROA-05	2,17	0,45	56	151	6,54	0,78	40	9,6	19,0	3,7	4,1	4,5	1,0	0,48	23
5 PROA-03	1,83	0,02	58	147	6,47	0,68	39	11,7	14,5	3,6	4,3	2,7	1,7	0,50	4
6 PROA-09	1,81	-0,16	58	143	5,90	0,74	38	5,8	41,6	3,5	4,2	3,4	1,5	0,51	3
7 IDIAP-MV-1102	1,77	0,40	59	147	6,22	0,75	34	5,6	6,5	3,2	4,2	1,8	2,2	0,47	0
8 PROA-07	1,72	0,00	55	151	6,28	0,75	36	6,6	39,1	3,6	4,3	11,2	1,5	0,48	-2
9 PROA-10	1,59	-0,55	57	139	6,20	0,78	27	6,4	36,6	3,8	4,3	12,9	1,1	0,49	-10
10 PROA-12	1,58	-0,51	57	147	6,87	0,76	26	8,7	13,9	3,7	4,5	4,2	1,0	0,45	-10
11 PROA-11	1,51	-0,54	57	149	5,92	0,73	32	3,9	47,8	3,6	4,1	11,6	1,2	0,53	-15
12 PROA-01	1,39	-0,52	55	144	6,67	0,65	29	5,2	35,7	3,6	4,5	10,6	1,0	0,49	-21
13 PROA-08	1,27	-0,81	57	151	5,89	0,83	24	8,4	12,9	3,6	4,6	4,0	1,0	0,45	-28
14 IDIAP-MV-1104	1,20	-0,34	58	183	5,70	0,53	40	14,0	13,9	3,5	4,5	0,0	1,3	0,48	-32
<b>Promedio</b>	<b>1,82</b>	<b>0,00</b>	<b>57</b>	<b>151</b>	<b>6,24</b>	<b>0,76</b>	<b>35</b>	<b>7,1</b>	<b>23,6</b>	<b>3,6</b>	<b>4,3</b>	<b>6,8</b>	<b>1,3</b>	<b>0,48</b>	<b>3</b>
DMS 5%	1,17	1,09	3	26	1	0,24	8	7,5	29,6	0,2	0,4	12,0	0,6	0,11	
h <sup>2</sup>	0,29	0,64	0,20	0,24	0,19	0,33	0,82	0,00	0,35	0,49	0,57	0,14	0,54	0,00	
DMS/Rango	0,63	0,42	0,84	0,57	0,66	0,59	0,33	0,75	0,72	0,35	0,45	0,93	0,53	0,80	
C.V. (%)	2,4		2,2	14,4	1,5	1,5	6,5	19,1	13,5	0,7	1,1	21,7	2,8	1,1	
S <sup>2</sup> Variedades	0,06	0,250	0,29	24	0,02	0,00	35	0,0	53	0,00	0,02	2,8	0,054	0,000	
S <sup>2</sup> Localidades	1,95	0,000	5,94	1848	0,00	0,04	389	1,5	548	0,02	1,01	32,9	0,051	0,003	
S <sup>2</sup> Var x Loc	0,26	0,070	1,00	0	0,07	0,00	9	0,0	181	0,00	0,01	17,3	0,043	0,000	
S <sup>2</sup> Residual	0,11	0,412	2,69	311	0,14	0,02	15	26,0	43	0,02	0,05	32,0	0,103	0,006	

Rend = Rendimiento de grano, RN<sub>i</sub> = rendimiento normalizado, Flor = Floración, Alpt = Altura de planta, Pomz = relación altura de mazorca y altura de planta, Ptm<sup>2</sup> = Plantas por metro cuadrado, Mzm<sup>2</sup> = Mazorcas por metro cuadrado, MxP = Mazorcas por planta, PMz = Peso de mazorcas, Pod = % mazorcas podridas, Aca = % plantas acamadas, Enf = *Bipolaris maydis*, Aspt = Aspecto de planta, Cob = Mala cobertura de mazorcas, Tex = Textura de grano.

El rendimiento de grano, así como el resto de las variables medidas en los experimentos (Cuadro 5) sobresalieron en rendimiento las variedades de grano

normal IDIAP-MV-1102 seguida por el IDIAP-MV-1104 con 5,72 y 4,84 t.ha<sup>-1</sup>, respectivamente; así como, las variedades de grano de alta calidad

proteica IDIAP-MQ-14 e IDIAP-MQ-07, con un rendimiento de grano superior a 4,40 t.ha<sup>-1</sup>. De todas las variedades de alto contenido de betacarotenos

sobresalió la PROA-04 con 4,12 t.ha<sup>-1</sup>. El testigo tradicional utilizado por los productores (Guararé-8128) presentó un rendimiento de 3,83 t.ha<sup>-1</sup>.

**CUADRO 5. RENDIMIENTO DE GRANO AJUSTADO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS. CUADRADOS MEDIOS DEL ANÁLISIS COMBINADO DE LAS VARIABLES MEDIDAS, COMBINADO DE 17 LOCALIDADES, PANAMÁ - 2016.**

Variedades	Rend t.ha <sup>-1</sup>	RN <sub>i</sub>	Flor días	Alpt cm	Pomz	Ptm <sup>2</sup>	Mzm <sup>2</sup>	MxP	PMz g	Pod %	Aca %	Enf 1-5	Aspt 1-5	Cob %	Tex 1-4
1 IDIAP-MV-1102	5,72	1,42	53	222	0,49	5,75	5,40	0,95	109	15,6	36,5	1,8	2,9	4,5	1,4
2 IDIAP-MV-1104	4,84	0,42	53	210	0,53	5,69	4,89	0,86	104	21,4	30,5	2,1	2,8	3,3	1,8
3 IDIAP-MQ-14	4,56	0,19	54	224	0,47	5,34	4,80	0,91	97	19,2	35,5	2,3	3,0	5,3	2,2
4 IDIAP-MQ-07	4,42	0,04	53	214	0,46	5,26	4,68	0,89	99	21,4	36,7	2,3	2,9	5,8	2,0
5 IDIAP-MV-0706	4,42	0,03	53	225	0,48	5,42	4,67	0,87	95	15,7	41,1	2,4	3,2	3,5	1,9
6 IDIAP-MQ-12	4,40	0,04	54	225	0,48	5,33	4,88	0,92	92	19,8	34,1	2,4	3,0	5,4	1,9
7 IDIAP-MQ-09	4,38	0,02	54	212	0,48	5,36	4,71	0,88	98	20,7	32,7	2,1	2,9	3,2	2,2
8 PROA-04	4,12	-0,31	52	209	0,48	5,48	4,96	0,91	83	22,3	39,6	2,0	3,1	7,5	1,2
9 PROA-02	4,09	-0,29	52	207	0,49	5,53	5,04	0,91	84	19,1	39,2	2,5	3,0	3,1	1,1
10 PROA-06	4,03	-0,42	51	211	0,48	5,55	5,13	0,93	81	23,5	42,1	2,0	3,0	11,4	1,3
11 Guararé-8128	3,83	-0,52	53	241	0,51	5,57	5,06	0,91	77	13,5	37,9	2,2	3,4	2,9	1,9
12 PROA-05	3,69	-0,62	52	206	0,48	5,29	4,71	0,89	80	22,8	43,8	2,0	3,0	9,0	1,3
<b>Promedio</b>	<b>4,37</b>	<b>0,00</b>	<b>53</b>	<b>217</b>	<b>0,49</b>	<b>5,46</b>	<b>4,91</b>	<b>0,90</b>	<b>92</b>	<b>19,6</b>	<b>37,5</b>	<b>2,2</b>	<b>3,0</b>	<b>5,4</b>	<b>1,7</b>
DMS 5%	0,38	0,35	1	5	0,91	0,22	0,28	0,04	8	4,7	6,6	0,2	0,2	2,3	0,4
n <sup>2</sup>	0,93	0,95	0,94	0,97	0,21	0,73	0,79	0,65	0,93	0,71	0,60	0,90	0,86	0,91	0,88
DMS/Rango	0,19	0,17	0,23	0,15	14,68	0,46	0,38	0,48	0,24	0,47	0,50	0,25	0,28	0,27	0,33
C.V. (%)	17,6		1,8	5,6	20,6	8,3	11,4	9,9	21,1	56,7	29,5	12,8	6,9	67,5	29,8
S <sup>2</sup> Variedades	0,26	0,278	0,83	100	0,000	0,02	0,04	0,000	98	7,0	8,7	0,036	0,023	6,5	0,139
S <sup>2</sup> Localidades	2,32	0,000	3,11	1164	0,002	0,86	0,81	0,007	1763	608,9	346,3	0,201	0,147	4,2	0,169
S <sup>2</sup> Var x Loc	0,13	0,120	0,34	7	0,000	0,04	0,07	0,001	7	8,3	16,2	0,012	0,023	5,0	0,099
S <sup>2</sup> Residual	0,59	0,441	0,90	150	0,01	0,20	0,32	0,008	373	123,4	122,6	0,078	0,044	13,3	0,248
Número Loc	17	17	12	17	17	17	17	17	17	17	10	10	10	14	10

Rend = Rendimiento de grano, RN<sub>i</sub> = rendimiento normalizado, Flor = Floración, Alpt = Altura de planta, Pomz = relación altura de mazorca y altura de planta, Ptm<sup>2</sup> = Plantas por metro cuadrado, Mzm<sup>2</sup> = Mazorcas por metro cuadrado, MxP = Mazorcas por planta, PMz = Peso de mazorcas, Pod = % mazorcas podridas, Aca = % plantas acamadas, Enf = *Bipolaris maydis*, Aspt = Aspecto de planta, Cob = Mala cobertura de mazorcas, Tex = Textura de grano.

Todas las variedades presentaron una floración femenina alrededor de los 52 días después de siembra (dds), siendo las de alto contenido de betacarotenos (PROA) las más precoces. El peso de mazorcas de las mismas osciló entre 109 y 77 g, siendo las de mayor rendimiento las que presentaron promedios superiores a 100 g. En relación a enfermedades, el promedio general presentó altos porcentajes de mazorcas podridas (mayores a 12%), debido principalmente al alto porcentaje de pudrición presentado en las localidades de Veraguas (51,6%) en comparación a las de Chiriquí (11,3%) y Azuero (4,8%). La calificación de enfermedades al follaje presentó una media por debajo de 2,5 en todas las variedades, lo que sugiere su buena tolerancia a enfermedades fungosas al follaje. En relación al porcentaje de mala cobertura o mazorcas con punta descubierta, este fue menor de 10% en todas las variedades, con excepción de la PROA-06 que presentó una media de 11,4%. En relación al porcentaje de plantas acamadas el mismo osciló entre 13,5 a 43,8, siendo la variedad de PROA-05 la que presentó los valores más altos en esta variable. En relación a la textura de grano las variedades PROA son las más cristalinas

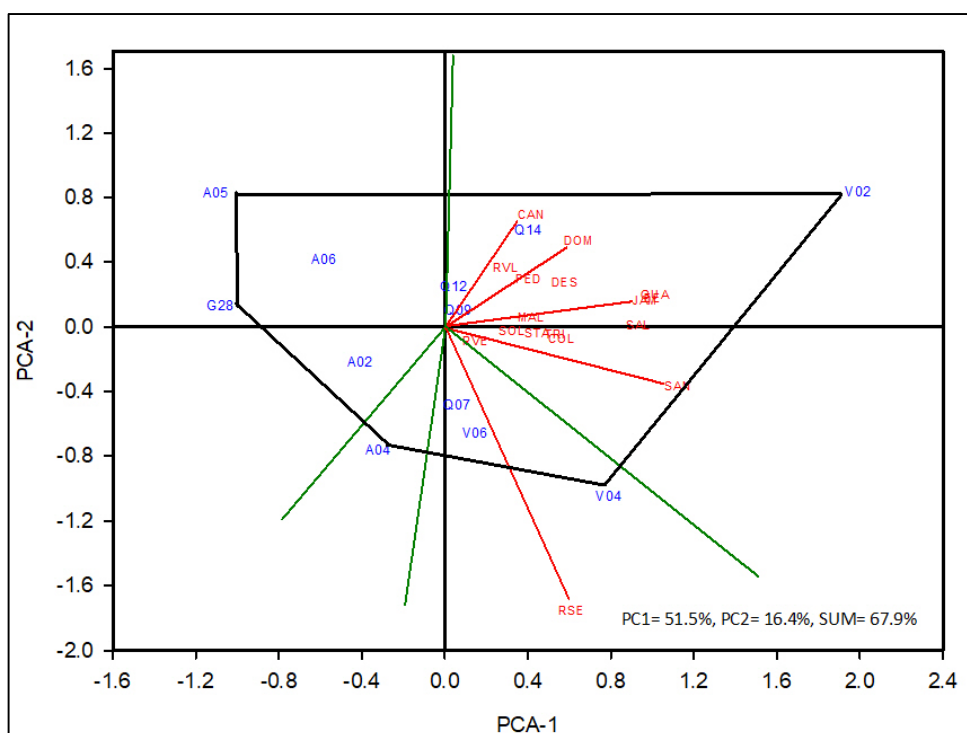
presentando los menores valores de clasificación (Cuadro 5).

El análisis de varianza del rendimiento de grano, así como el valor de los dos ejes principales de la interacción genotipo-ambiente, obtenidos a través del modelo Biplot GGE-Sreg (Cuadro 6), indica que los dos primeros ejes (PCA) explicaron el 67,9% de la interacción genotipo ambiente con el 28,2% de los grados de libertad. El PCA-1 explicó el 51,5%, mientras que el PCA-2 fue responsable del 16,4% con el 14,8% y 13,6% de los grados de libertad, respectivamente.

Con relación a la interacción genotipo ambiente, las variedades que mejor se comportaron en cada uno de los grupos ambientales, de acuerdo a la posición o cercanía a la que se encuentran de cada grupo (Figura 1), muestra que Candelaria, Dominical, Río Viejo L, Pedasí y Destiladero conforman el Grupo Ambiental A, en el Grupo B se agrupan todas las localidades excepto Río Sereno que se comporta de manera distinta al resto. De acuerdo a este análisis, la variedad IDIAP-MQ-09 fue la más estable y su rendimiento es superior a la media general.

**CUADRO 6. ANÁLISIS DE VARIANZA TIPO IV Y COMPONENTES PRINCIPALES (PCA) PARA LA VARIABLE RENDIMIENTO DE GRANO DEL ENSAYO DE LA PRUEBA REGIONAL, PANAMÁ - 2016.**

<i>FV</i>	<i>gl</i>	<i>Suma de Cuadrados Tipo IV</i>	<i>Cuadrados Medios</i>	<i>Probabilidad F</i>
Localidades	16	1365,4	85,3	0,001
Genotipos	11	151,8	13,8	0,001
Gen x Loc	176	201,0	1,1	0,001
PCA-1	26	181,5	6,98	0,001
PCA-2	24	57,9	2,41	0,001



**Figura 1. Puntuaciones del primer y segundo eje del componente principal de 12 variedades de maíz en 17 localidades de Panamá, 2016 (Biplot GGE-SREG).**

### **Análisis de los ensayos de 2017**

El análisis de varianza combinado del rendimiento y características agronómicas de las diez localidades en donde se sembraron los ensayos (Cuadro 7) señalan una diferencia altamente significativa entre ambientes y variedades para todas las variables estudiadas. La

interacción genotipo ambiente resultó altamente significativa para todas las variables analizadas. De acuerdo al análisis de varianza el ambiente y los genotipos capturaron el 63,5 y 19,2% de la suma de cuadrados total del experimento. Lo que indica, que hubo mayor variabilidad entre localidades que

entre variedades, cumpliendo con el objetivo de ubicar los ensayos en localidades contrastantes. El estadístico DMS/Rango general fue de 0,15 y para las localidades varió entre 0,09 y 0,42; este sugiere una buena precisión en los resultados del análisis de este experimento.

El promedio ajustado (LSMeans) del rendimiento de grano y algunas de las variables medidas por localidad (Cuadro 7) presentan un rendimiento promedio a

través de las 10 localidades de 3,85 t.ha<sup>-1</sup>, pero el mismo se vio afectado en algunas localidades por la distribución de la lluvia y el tipo de suelo. En ninguna localidad excepto El Ejido (S-Normal) y Guararé, se registró precipitación mayor de 50 mm en la etapa final del llenado del grano (81 a 100 dds). Adicional, a esta baja precipitación en la siembra tardía de El Ejido la lluvia acumulada en la fase 51-80 dds fue menor de 50 mm lo que afectó la productividad del cultivo.

**CUADRO 7. PROMEDIO DE RENDIMIENTO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS SEGÚN LOCALIDADES, LOS SANTOS, PANAMÁ - 2017.**

Localidades	Fecha. Siembra	h <sup>2</sup> (Rend)	DMS/ Rango	Rend (t.ha <sup>-1</sup> )	Alpt (cm)	Pomz	Ptm <sup>2</sup>	Mzm <sup>2</sup>	MxP	Pmz (g)	Pod (%)	Aca (%)	Enf (1-5)	Cob (1-5)
El Salaito	30-ago	0,99	0,09	4,93	211	0,50	5,64	5,29	0,9	93	3,1	18,5	3,2	5,3
Nuevo Ocú	06-sep	0,76	0,42	4,78	207	0,49	5,74	5,42	0,9	88	1,4	49,8	2,6	6,5
Guararé	04-sep	0,84	0,34	4,70	254	0,52	5,95	5,40	0,9	87	2,8	71,6	3,4	7,1
Pocrí	08-sep	0,96	0,20	4,67	209	0,56	5,92	5,44	0,9	86	1,8	51,0	2,9	9,1
Los Destiladeros	19-sep	0,80	0,40	4,19	225	0,50	6,65	5,62	0,8	75	4,4	24,5	3,1	9,4
Llano Abajo	04-sep	0,94	0,22	4,16	206	0,49	6,01	5,77	1,0	72	4,0	27,9	3,3	7,7
La Colorada	12-sep	0,91	0,27	4,07	235	0,49	6,41	5,79	0,9	70	6,5	45,7	2,5	8,3
Pedasí	21-sep	0,92	0,27	3,04	206	0,52	6,31	4,89	0,8	62	4,7	26,8	3,0	6,8
<b>Promedio A</b>				<b>4,32</b>	<b>219</b>	<b>0,51</b>	<b>6,08</b>	<b>5,45</b>	<b>0,9</b>	<b>79</b>	<b>3,6</b>	<b>39,5</b>	<b>3,0</b>	<b>7,5</b>
El Ejido S-Normal	25-ago	0,86	0,34	3,07	191	0,52	5,57	4,96	0,9	62	4,9	48,9	2,1	3,0
El Ejido S-Tardía	05-oct	0,93	0,29	0,95	206	0,44	6,02	4,87	0,8	19	,	22,4	2,3	6,7
<b>Promedio B</b>				<b>2,01</b>	<b>199</b>	<b>0,48</b>	<b>5,79</b>	<b>4,91</b>	<b>0,9</b>	<b>40</b>	<b>4,9</b>	<b>35,7</b>	<b>2,2</b>	<b>4,8</b>
<b>Prom General</b>		<b>0,96</b>	<b>0,15</b>	<b>3,85</b>	<b>215</b>	<b>0,50</b>	<b>6,02</b>	<b>5,35</b>	<b>0,9</b>	<b>71</b>	<b>3,7</b>	<b>38,7</b>	<b>2,8</b>	<b>7,0</b>

Rend = Rendimiento de grano, Rend Norm = rendimiento normalizado, Alpt = Altura de planta, Pomz = relación altura de mazorca y altura de planta, Ptm<sup>2</sup> = Plantas por metro cuadrado, Mzm<sup>2</sup> = Mazorcas por metro cuadrado, MxP = Mazorcas por planta, PMz = Peso de mazorcas, Pod = % mazorcas podridas, Aca = % plantas acamadas, Enf = *Bipolaris maydis*, Cob = Mala cobertura de mazorcas.

El mayor rendimiento de grano se obtuvo en El Salaíto ( $4,93 \text{ t.ha}^{-1}$ ), mientras que el más bajo se obtuvo en la S.Tardía realizada en El Ejido con una media de  $0,95 \text{ t.ha}^{-1}$ . El rendimiento promedio de las localidades del Grupo B ( $2,01 \text{ t.ha}^{-1}$ ) fue superado al obtenido en las localidades del Grupo A ( $4,32 \text{ t.ha}^{-1}$ ). Esta diferencia se observó también en el tamaño de las plantas, número de plantas y mazorcas cosechadas y peso de mazorcas. El porcentaje de plantas acamadas fue superior del 20% en todas las localidades con excepción del ensayo sembrado en El Salaíto. El porcentaje de mazorcas podridas fue bajo (menos del 7%) en todas las localidades. El mayor porcentaje de mazorcas con mala cobertura se observó en Los Destiladeros con un valor alrededor del 9,4% (Cuadro 7).

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre las distintas variedades evaluadas para el rendimiento de grano. De las variedades evaluadas, cuatro sobrepasaron la media general, sobresaliendo de manera significativa el genotipo IDIAP-MV-1102 con rendimiento promedio superior a  $5,00 \text{ t.ha}^{-1}$  (Cuadro 8). A esta variedad le siguió el grupo IDIAP-MV-1104 y PROA-04, con medias superiores a  $4,00 \text{ t.ha}^{-1}$ . Siguieron a estos cultivares las variedades IDIAP-MQ-12; PROA-05, PROA-02 y PROA-06

con un rendimiento por encima  $3,50 \text{ t.ha}^{-1}$ . El testigo Guararé-8128 presentó un rendimiento de  $2,87 \text{ t.ha}^{-1}$ , y tamaño de mazorca de 60 g. Este testigo fue superado en 88% por el IDIAP-MV-1102. La variedad PROA-06 presentó el mayor porcentaje de mazorcas podridas (5,5 %), seguido por el PROA-5 con 5,2%.

El porcentaje de mazorcas podridas fue bajo (menos de 6%), así como la calificación de enfermedades foliares causadas por hongos. Todas las variedades presentaron un alto porcentaje de acame de tallo, principalmente la Guararé-8128, que presentó más del 50% de plantas acamadas. El porcentaje de mazorcas con mala cobertura fue baja con excepción de la PROA-06, que presentó un 18,4% de punta descubierta. La floración, osciló entre 50 y 53 días después de siembra, siendo las más precoces las variedades de alto contenido de betacarotenos (PROA). En relación a la textura de grano, los nuevos cultivares PROA son los más cristalinos del grupo presentando un color amarillo intenso. Esta característica de color es la preferida por el mercado de consumo humano en el país. En este grupo de nuevas variedades sobresalió por sus mejores características agronómicas y rendimiento de grano las variedades PROA-04 y PROA-05.

El Dendograma producto del análisis de Conglomerados de Ward para el rendimiento de grano (Figura 2), presenta las localidades agrupadas en dos grupos generales. El primero formado por las localidades de El Salaíto E, Guararé, Llano Abajo, Nuevo Ocu, Pocrí, La Colorada, Pedasí y Los Destiladeros. El segundo grupo lo forman las localidades de El Ejido (S-Normal y S-Tardía). De acuerdo al análisis Biplot GGE-SReg (Figura 3), tanto las nueve

variedades como los 10 ambientes presentan diferentes patrones de interacción. Los dos primeros ejes de los componentes principales (PCA1 y PCA2) explicaron el 81,8% de la interacción genotipo ambiente. De acuerdo a las puntuaciones de ambos ejes (PCA1 y PCA2) la variedad más estable fue el PROA-04 e IDIAP-MV-1102. Este mismo análisis clasificó los ambientes en dos grupos, siendo estos similares a los identificados por el método de Ward.

**CUADRO 8. RENDIMIENTO DE GRANO AJUSTADO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS. CUADROS MEDIOS DEL ANÁLISIS COMBINADO DE LAS VARIABLES MEDIDAS, AZUERO, PANAMÁ 2017.**

Variedades	Rend t.ha <sup>-1</sup>	RN <sub>i</sub>	Flor días	Alpt cm	Pomz	Ptm <sup>2</sup>	Mzm <sup>2</sup>	MxP	PMz g	Pod %	Aca %	Enf 1-5	Aspt 1-5	Cob %	Tex 1-4
1 IDIAP-MV-1102	5,39	1,70	52	220	0,50	6,38	6,03	0,94	88	2,9	26,1	2,6	2,9	4,0	1,0
2 IDIAP-MV-1104	4,13	0,34	52	211	0,51	6,16	5,35	0,88	77	3,2	24,4	2,7	3,0	2,5	1,0
3 PROA-04	4,02	0,23	50	209	0,50	6,00	5,61	0,95	72	4,0	42,0	2,7	3,0	9,2	1,0
4 IDIAP-MQ-12	3,87	0,07	53	216	0,50	5,86	5,15	0,89	75	3,6	39,1	2,9	3,1	8,1	1,2
5 PROA-05	3,76	-0,13	50	203	0,50	6,34	5,67	0,89	65	5,2	45,0	2,8	3,0	10,4	1,0
6 PROA-02	3,63	-0,18	50	206	0,49	5,97	5,59	0,94	65	3,8	33,9	3,2	3,1	5,2	1,0
7 PROA-06	3,62	-0,24	50	204	0,50	5,95	5,51	0,93	66	5,5	42,6	2,7	3,1	18,4	1,0
8 IDIAP-MV-0706	3,41	-0,60	51	219	0,50	5,59	4,50	0,81	74	3,4	42,4	3,0	3,4	2,8	1,1
9 Guararé 8128	2,87	-1,19	53	246	0,55	5,96	4,70	0,80	60	1,9	52,9	2,8	3,7	2,3	1,1
<b>Promedio</b>	<b>3,85</b>	<b>0,00</b>	<b>51</b>	<b>215</b>	<b>0,50</b>	<b>6,02</b>	<b>5,35</b>	<b>0,89</b>	<b>71</b>	<b>3,7</b>	<b>38,7</b>	<b>2,8</b>	<b>3,1</b>	<b>7,0</b>	<b>1,0</b>
DMS 5%	0,38	0,39	1	8	0,02	0,31	0,38	0,06	5	1,6	7,2	0,1	0,1	3,2	0,1
h <sup>2</sup>	0,96	0,97	0,97	0,96	0,85	0,79	0,92	0,86	0,96	0,71	0,92	0,92	0,96	0,95	0,68
DMS/Rango	0,15	0,14	0,18	0,18	0,30	0,39	0,24	0,40	0,18	0,46	0,25	0,22	0,16	0,20	0,54
C.V. (%)	11,6		2,3	5,5	6,3	9,7	10,8	11,2	10,1	81,2	34,2	7,9	7,3	72,1	18,4
S <sup>2</sup> Variedades	0,45	0,59	1,77	168	0,000	0,05	0,22	0,003	67	0,8	76,0	0,0	0,06	26,3	0,003
S <sup>2</sup> Localidades	1,45	0,00	2,35	317	0,001	0,10	0,09	0,003	453	2,2	284,0	0,2	0,01	2,0	0,000
S <sup>2</sup> Var x Loc	0,12	0,11	0,03	30	0,000	0,01	0,07	0,001	14	0,0	8,8	0,0	0,003	4,8	0,003
S <sup>2</sup> Residual	0,20	0,26	1,39	138	0,001	0,34	0,33	0,010	52	9,1	175,8	0,1	0,05	25,4	0,037
Número Loc	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10

Rend = Rendimiento de grano, RN<sub>i</sub> = rendimiento normalizado, Flor = Floración, Alpt = Altura de planta, Pomz = relación altura de mazorca y altura de planta, Ptm<sup>2</sup> = Plantas por metro cuadrado, Mzm<sup>2</sup> = Mazorcas por metro cuadrado, MxP = Mazorcas por planta, PMz = Peso de mazorcas, Pod = % mazorcas podridas, Aca = % plantas acamadas, Enf = *Bipolaris maydis*, Aspt = Aspecto de planta, Cob = Mala cobertura de mazorcas, Tex = Textura de grano.



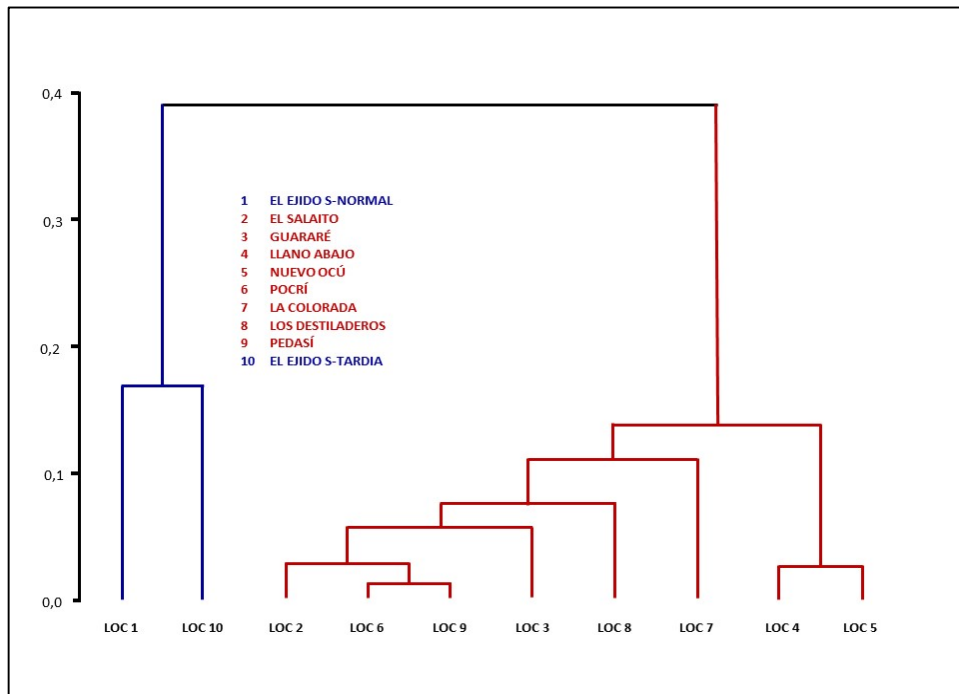


Figura 2. Dendrograma del análisis de conglomerados de las 10 localidades del ensayo de la Prueba Regional de Maíz, 2017.

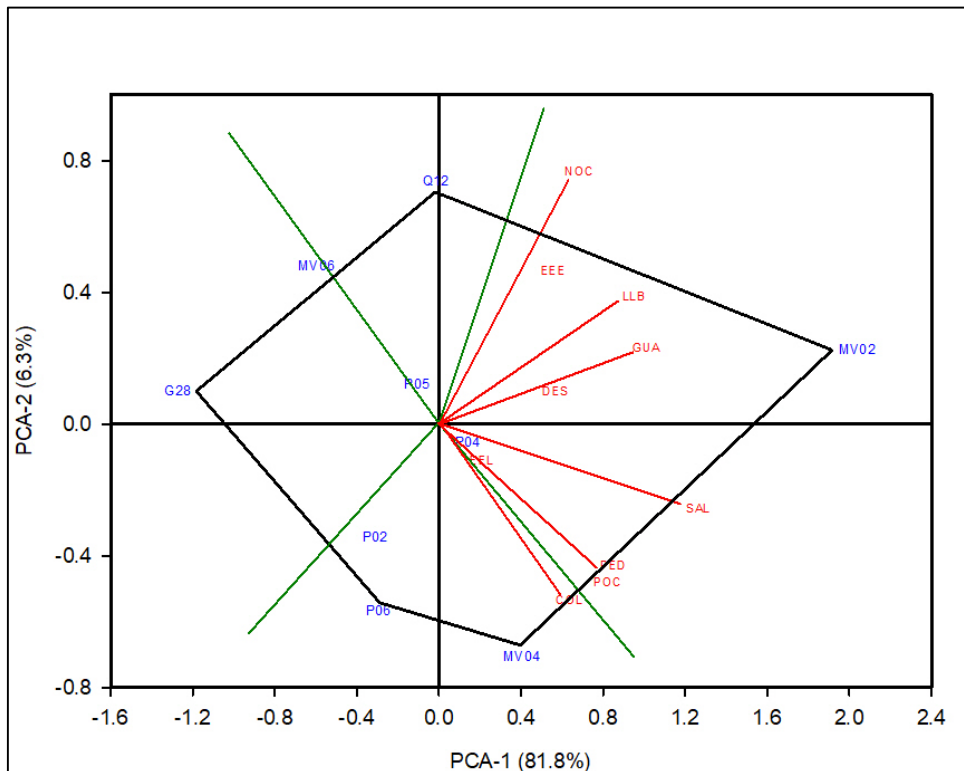


Figura 3. Puntuaciones del primer y segundo eje del componente principal de nueve variedades de maíz en 10 localidades de Azuero, Panamá, 2017 (Biplot GGE-SREG). *Análisis Combinado 2016-2017*

Para el análisis combinado de los dos años se tomaron las variedades en común (nueve). De acuerdo al análisis estadístico de todas las localidades el valor de la repetitividad ( $h^2$ ) por ensayo fue superior a 0,20 y el coeficiente de variación por debajo de 30% para la variable rendimiento de grano. Esta condición permitió la inclusión de todas las localidades en el análisis combinado. El análisis señala una diferencia altamente significativa entre ambientes y variedades para todas las variables estudiadas (Cuadro 9).

La interacción genotipo ambiente resultó altamente significativa para todas las variables analizadas. De acuerdo al análisis de varianza del rendimiento, el ambiente capturó el 64,7% de la suma de cuadrados total del experimento. Por su parte los genotipos capturaron el 10,4% de la variabilidad total del análisis de varianza. De acuerdo a este análisis, la repetitividad del combinado para el rendimiento de grano fue de 0,96 y un DMS/Rango de 0,15. El resto de las variables presentaron valores de repetitividad superiores a 0,50. Estos valores sugieren una buena precisión experimental de este ensayo (Cuadro 9).

El promedio general de plantas al momento de la cosecha fue 5,72, siendo IDIAP-MV-1102 la que presentó el mayor

valor al momento de la cosecha (5,99  $\text{pt.m}^{-2}$ ) e IDIAP-MQ-12 la de menor número de plantas a la cosecha. En cuanto a precocidad, las variedades PROA fueron las precoces con una media de 51 días a floración femenina. La altura de plantas osciló entre 203 cm y 242 cm, siendo la variedad Guararé-8128 la de mayor altura y la de mayor posición relativa de la mazorca en la planta (0,52). Los mayores tamaños de mazorcas fueron IDIAP-MV-1102 e IDIAP-MV-1104 con medias de 99 g a 92 g por mazorca.

El porcentaje de mazorcas podridas, en general, fue alto con una media de 20%, principalmente, debido al alto porcentaje observado en las localidades de Veraguas. Todas las variedades presentaron calificación baja de enfermedades fungosas al follaje (calificación menor de 3,0). La variedad PROA-06 con un 14,1% de mazorcas con punta descubierta fue la variedad con mayor porcentaje de esta característica, el resto de las variedades presentaron menos del 10% de mala cobertura de mazorcas. Las variedades PROA fueron las de menor calificación de textura del grano, indicando que fueron de grano cristalino, característica esta preferida por los productores panameños.

De acuerdo al valor de la Diferencia Mínima Significativa (0,31 t.ha<sup>-1</sup>) del análisis combinado, IDIAP-MV-1102 superó a todas las variedades, esto representó un 60% más que Guararé-8128 y 37% más que IDIAP-MV-0706. Un segundo grupo que no difiere entre sí fue conformado por las variedades IDIAP-MV-1104, IDIAP-MQ-12, PROA-04 e IDIAP-MV-0706 (Cuadro 10).

De todas las variedades de alto contenido en betacarotenos, la mejor fue PROA-04 la cual fue de similar a IDIAP-MV-0706 (variedad sembrada a nivel nacional por productores de maíz) y superó en 18% el rendimiento de la Guararé-8128 que es la variedad más conocida por los productores en todo el país. Esta variedad se vio superada por IDIAP-MV-1102 en un 26%.

**CUADRO 9. RENDIMIENTO DE GRANO AJUSTADO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS. CUADRADOS MEDIOS DEL ANÁLISIS COMBINADO DE LAS VARIABLES MEDIDAS, COMBINADO DE 28 LOCALIDADES, PANAMÁ 2016-2017.**

Variedades	Rend t·ha <sup>-1</sup>	RN <sub>i</sub>	Flor días	Alpt cm	Pomz	Ptm <sup>2</sup>	Mzm <sup>2</sup>	MXP	PMz g	Pod %	Aca %	Enf 1-5	Aspt 1-5	Cob %	Tex 1-4
1 IDIAP-MV-1102	5,46	1,44	53	222	0,49	5,99	5,64	0,94	99	17,5	31,5	2,2	2,9	4,2	1,2
2 IDIAP-MV-1104	4,53	0,42	52	210	0,52	5,90	5,11	0,87	92	20,9	27,3	2,4	2,9	2,9	1,4
3 IDIAP-MQ-12	4,09	0,02	54	221	0,48	5,56	4,95	0,90	84	20,3	34,7	2,7	3,1	6,4	1,5
4 PROA-04	4,03	-0,06	51	209	0,49	5,69	5,23	0,93	78	21,9	40,7	2,4	3,1	8,1	1,1
5 IDIAP-MV-0706	3,99	-0,18	52	222	0,49	5,49	4,61	0,85	86	17,7	41,1	2,7	3,3	3,3	1,4
6 PROA-02	3,89	-0,19	51	207	0,48	5,70	5,22	0,92	77	19,9	35,3	2,9	3,1	3,8	1,0
7 PROA-06	3,79	-0,33	51	207	0,49	5,70	5,27	0,93	73	23,1	40,7	2,4	3,0	14,1	1,1
8 PROA-05	3,65	-0,41	51	203	0,49	5,69	5,07	0,89	73	22,7	42,7	2,4	3,0	9,5	1,2
9 Guararé-8128	3,42	-0,71	53	242	0,52	5,74	4,93	0,87	70	15,9	45,2	2,5	3,5	2,6	1,5
<b>Promedio</b>	<b>4,10</b>		<b>52</b>	<b>216</b>	<b>0,49</b>	<b>5,72</b>	<b>5,11</b>	<b>0,90</b>	<b>81</b>	<b>20,0</b>	<b>37,7</b>	<b>2,5</b>	<b>3,1</b>	<b>6,1</b>	<b>1,3</b>
DMS 5%	0,31	0,29	0,1	5	0,03	0,17	0,24	0,04	6	3,1	5,3	0,1	0,1	1,9	0,2
h <sup>2</sup>	0,96	0,97	0,98	0,98	0,59	0,83	0,91	0,86	0,96	0,79	0,89	0,95	0,96	0,97	0,86
DMS/Rango	0,15	0,13	0,16	0,13	0,69	0,35	0,23	0,36	0,20	0,43	0,30	0,18	0,17	0,17	0,38
C.V. (%)	16,8		2,2	6,3	16,9	8,8	11,0	10,6	21,0	5,5	7,6	11,2	7,5	4,2	30,2
S <sup>2</sup> Variedades	0,34	0,375	1,19	146	0,000	0,02	0,07	0,001	89	0,000	0,001	0,0	0,040	0,001	0,032
S <sup>2</sup> Localidades	1,94	0,000	3,54	810	0,001	0,57	0,51	0,005	1236	0,025	0,009	0,3	0,074	0,000	0,102
S <sup>2</sup> Var x Loc	0,20	0,163	0,28	26	0,000	0,03	0,10	0,002	19	0,000	0,001	0,0	0,017	0,000	0,061
S <sup>2</sup> Residual	0,48	0,409	1,27	188	0,007	0,25	0,32	0,009	293	0,002	0,005	0,1	0,054	0,001	0,147
Número Loc	28	28	23	28	28	28	28	28	28	28	21	20	21	25	21

Rend = Rendimiento de grano, RN<sub>i</sub> = rendimiento normalizado, Flor = Floración, Alpt = Altura de planta, Pomz = relación altura de mazorca y altura de planta, Ptm<sup>2</sup> = Plantas por metro cuadrado, Mzm<sup>2</sup> = Mazorcas por metro cuadrado, MxP = Mazorcas por planta, PMz = Peso de mazorcas, Pod = % mazorcas podridas, Aca = % plantas acamadas, Enf = *Bipolaris maydis*, Aspt = Aspecto de planta, Cob = Mala cobertura de mazorcas, Tex = Textura de grano.

**CUADRO 10. RENDIMIENTO DE GRANO (t.ha<sup>-1</sup>) POR CICLO DE EVALUACIÓN Y ÁREA GEOGRÁFICA DEL PAÍS DE TODAS LAS VARIEDADES EVALUADAS Y SU RENDIMIENTO RELATIVO (%) CON LAS TRES VARIEDADES TESTIGOS DE MAYOR ÁREA SEMBRADA EN EL PAÍS.**

Variedad	Azuero 16 t.ha <sup>-1</sup>	Azuero 17 t.ha <sup>-1</sup>	Veraguas 16 t.ha <sup>-1</sup>	Chiriquí 16 t.ha <sup>-1</sup>	Combinado 16-17 (t.ha <sup>-1</sup> )	vs*	vs *	vs*
						Guararé-8128 (%)	IDIAP-MV0706 (%)	IDIAP-MV1102 (%)
1 IMV1102	6,02	5,39	3,56	7,17	5,46	60	37	0
2 IMV1104	4,90	4,13	3,04	6,95	4,53	33	14	-17
3 IMQ12	4,36	3,87	2,85	6,17	4,08	19	2	-25
4 PROA04	<b>4,20</b>	<b>4,02</b>	<b>2,39</b>	<b>6,13</b>	<b>4,03</b>	<b>18</b>	<b>1</b>	<b>-26</b>
5 IMV0706	4,51	3,41	2,70	6,17	3,98	16	0	-27
6 PROA02	4,19	3,63	2,46	5,69	3,89	14	-2	-29
7 PROA06	4,23	3,62	2,33	5,55	3,79	11	-5	-31
8 PROA05	4,04	3,76	2,27	4,41	3,65	7	-8	-33
9 G8128	3,68	2,87	2,79	5,63	3,42	0	-14	-37
10 IMQ14	4,70		2,80	6,14				
11 IMQ09	4,62		2,59	6,48				
12 IMQ07	4,27		2,88	6,55				
Promedio	4,48	3,85	2,72	6,09	4,10			
DMS 5%	0,45	0,38	0,47	1,47	0,31			
Repetitividad	0,92	0,96	0,78	0,41	0,96			
DMS/Rango	0,19	0,15	0,36	0,53	0,15			
No localidades	10	10	5	3	28			

\* Comparación del rendimiento (%) del combinado de los años 2016 y 2027 vs los testigos evaluados.

De acuerdo al análisis de Conglomerados de Ward, en el Dendograma se identifican tres grupos ambientales o dominios de recomendación (Figura 4); el primer grupo (Grupo Ambiental A) estuvo formado por los ensayos sembrados en las localidades de Azuero, en El Ejido S-Tardía (2016), El Ejido S-Normal (2017), de Veraguas como Río Viejo E, Río Viejo L (2016) y de Chiriquí en Río Sereno y Dominical. El Grupo Ambiental B estuvo conformado por el resto de las 22 localidades en donde se llevaron los ensayos. En este análisis las localidades se agrupan en varios grupos generales;

de modo similar a los grupos identificados del análisis Biplot GGE-SReg.

El análisis de varianza del rendimiento de grano, así como el valor de los dos ejes principales de la interacción genotipo-ambiente, obtenidos a través del modelo Biplot GGE-Sreg (Cuadro 11), indica que los dos primeros ejes (PCA) explicaron el 76,8% de la interacción genotipo ambiente con 28,2% de los grados de libertad. El PCA-1 explicó el 62,7 %, mientras que el PCA-2 fue responsable del 14,0% con el 14,5% y 13,7% de los grados de libertad, respectivamente.

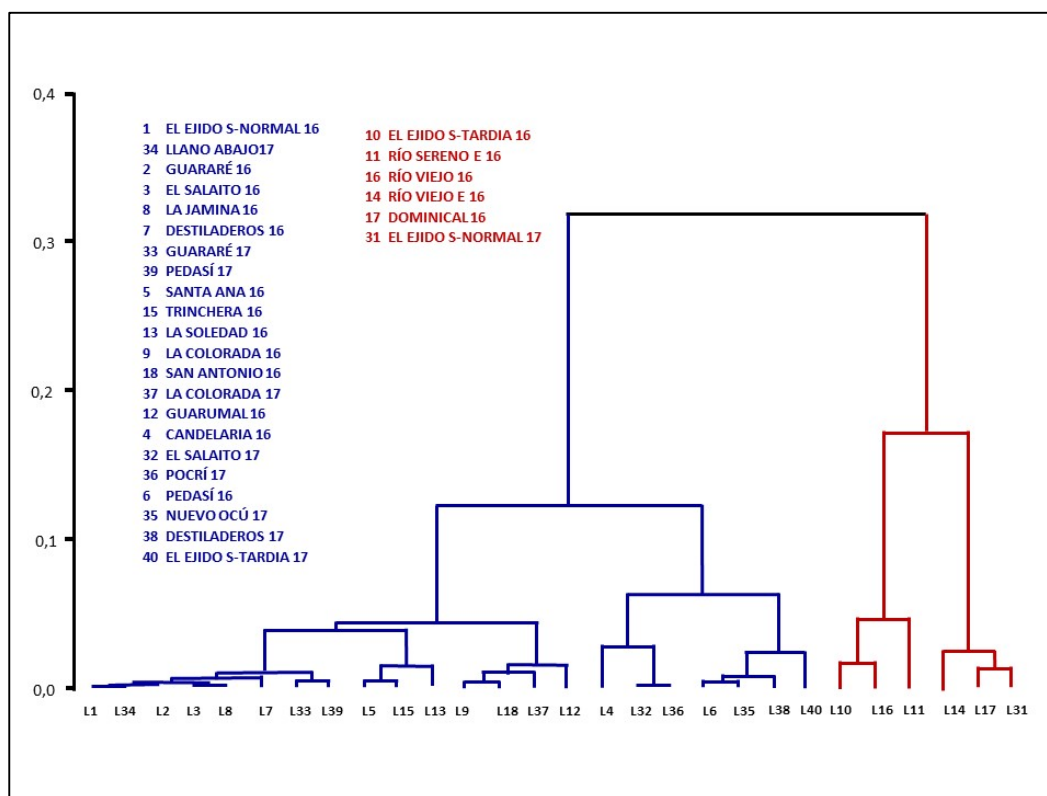


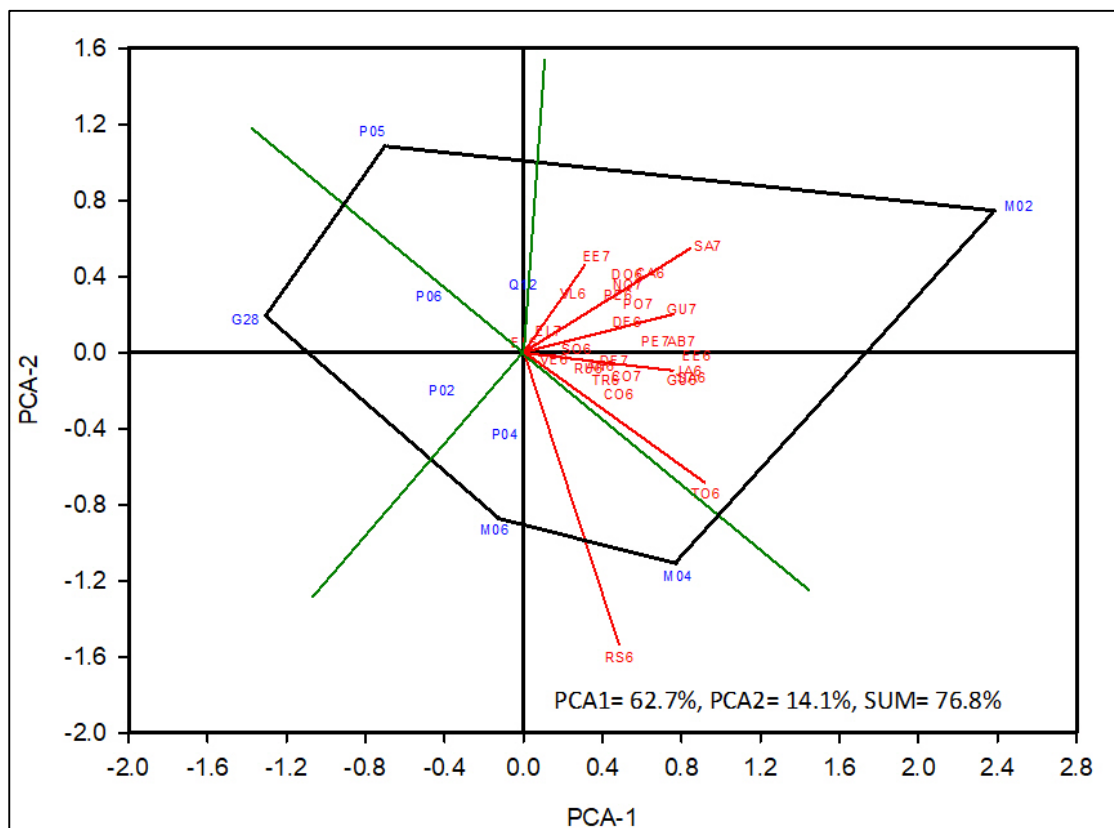
Figura 4. Dendrograma del análisis de conglomerados de las 28 localidades del ensayo de variedades de maíz, Panamá, 2016-2017.

CUADRO 11. ANÁLISIS DE VARIANZA TIPO IV Y COMPONENTES PRINCIPALES (PCA) PARA LA VARIABLE RENDIMIENTO DE GRANO DEL ENSAYO DE VARIEDADES, PANAMÁ, 2016-2017.

<i>F V</i>	<i>gl</i>	<i>Suma de Cuadrados Tipo IV</i>	<i>Cuadrados Medios</i>	<i>Probabilidad F</i>
Localidades	27	1495,6	55,4	0,001
Genotipos	8	243,4	30,4	0,001
Gen x Loc	216	224,6	1,00	0,001
PCA-1	34	293,60	8,64	0,001

Las puntuaciones Biplot GGE-SReg, tanto de los nueve genotipos como de los 28 ambientes, los mismos presentan diferentes patrones de interacción (Figura 5). De acuerdo a las puntuaciones de los ejes PCA-1 y PCA-2 las variedades más estables (valor del eje PCA-2 más cercano a 0) estuvieron por debajo de la media general, por lo que no son de interés agronómico. El rendimiento superior a la media general de todos los ambientes (valores del PCA-1 mayor que 0) y más cercano al eje PCA-2 fueron IDIAP-MV-1102 e IDIAP-MV-1104.

De acuerdo a Yan *et al.* (2000), al graficar las puntuaciones de ambos ejes principales, se forma un polígono con las variedades que quedan en la parte externa de la figura, éstos fueron las variedades IDIAP-MV-1102, IDIAP-MV-1104, IDIAP-MV-0706, Guararé-8128 y PROA-05. Las variedades localizadas en los vértices son consideradas los mejores e inferiores dependiendo de su ubicación. No se identificó ninguna variedad estable, la más cercana al valor de cero en el PCA-2 fue IDIAP-MQ-12.



**Figura 5. Puntuaciones del primer y segundo eje del componente principal de nueve variedades de maíz en 28 localidades de Panamá, 2017 (Biplot GGE-SReg).**

## CONCLUSIONES

- Todas las variedades evaluadas superaron a la variedad utilizada como testigo Guararé 8128, lo que indica que la misma debe ser sustituida por cualquiera de las evaluadas en este ensayo, demostrando el avance en la selección de las nuevas variedades. El nuevo grupo de variedades de alto contenido de betacarotenos (PROA) mostraron buen rendimiento de grano y sobresalieron por su textura y color, siendo las que se ajustan a las exigencias del mercado de consumo humano en el país.
- Bajo las condiciones climáticas de los años 2014, 2016 y 2017 los ensayos sembrados en El Ejido se vieron afectados por la baja precipitación pluvial en todo el desarrollo del cultivo en especial después de los 80 días después de la siembra.

## BIBLIOGRAFÍA

- Banziger, M; Setimela, PS; Hodson, D; Vivek, B. 2006. Breeding for improved abiotic stress tolerance in maize adapted to southern Africa. *Agric. Water. Man.* 80:212-224.
- Bruce, WO; Edmeades, GO; Barker, TC. 2002. Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance. *J. Expl. Bot.* 53:13-25.
- Camargo-Buitrago, I; Gordón-Mendoza, R; Quirós-McIntire, El. 2017. La repetitividad como estimador de la precisión experimental en el análisis de experimentos. *Revista Agronomía Mesoamericana* 28(1):159-169.
- Gordón-Mendoza, R; Camargo-Buitrago, I. 2015. Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. *Revista Agronomía Mesoamericana* 26(1) 55:63.
- Gordón, R. 2012. Manejo Integral del Cultivo de Maíz. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Panamá. 18 p.
- Johnson, DE. 1998. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. International Thompson Editores. 566 p. Cap 9.
- Menchú, MT; Méndez, H. 2011. Análisis de la situación alimentaria en Panamá, Guatemala, INCAP. p.72.

- MEF (Ministerio de Economía y Finanzas, PA). 2005. La pobreza en Panamá. Encuesta de Niveles de Vida. 2003. Principales Resultados. 9p.
- MINSAL (Ministerio de Salud, PA). 2014. Monitoreo Nutricional en las Instalaciones de Salud del MINSAL (MONINUT). Panamá. 2014.
- MINSAL (Ministerio de Salud, PA). 1999. Encuesta Nacional de Vitamina A y Anemia Nutricional. Panamá; 1999.
- Palmer, AC; Siamusantu, W; Chileshe, J; Schulze, KJ; Barffour, M; Craft, NE; Molobeka, K; Kalungwana, N; Arguello, MA; Mitra, M; Caswell, B; Klemm, RD; West, Jr. 2016. Provitamin A-biofortified maize increases serum  $\beta$ -carotene, but not retinol, in marginally nourished children: A cluster-randomized trial in rural Zambia. *Am J Clin Nutr.* 2016;104(1):181-90. DOI: 10.3945/ajcn.116.132571.
- Vargas, M; Combs, E; Alvarado, G; Atlin, G; Mathews, K; Crossa, J. 2013. META: A suite of SAS Programs to Analyze Multi environment Breeding Trials.
- Yan, W; Hunt, LA; Sheng, Q; Szlavnic, Z. 2000. Cultivar Evaluation and Mega Environment Investigation based on the GGE Biplot. *Crop Sci.* 40:597-605.
- Zaidi, P; Srinivasan, G; Córdova, HS; Sánchez, C. 2004. Gains from improvement for mid-season drought tolerance in tropical maize (*Zea mays* L.). *Field Crops Res.* 89:135-152.