

Visión Antataura
Vol.1, No.2: 1-17
Diciembre 2017- Mayo 2018
Panamá
ISSN 2520-9892

Adaptabilidad de 20 híbridos de maíz a las condiciones agroclimáticas de la zona maicera de la Región de Azuero, Panamá, 2016¹

Román Gordón M², Jorge Franco B³, Jorge Núñez C³, Ana E. Sáez C³, Jorge Jaén V.³

¹Investigación financiada por el Proyecto Generación de Híbridos y Variedades de Maíz del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Panamá.

²Investigador y Coordinador del Proyecto de Maíz, IDIAP, CIA de Azuero “Ing. Germán De León”, Los Santos, Panamá; gordon.roman@gmail.com

³Investigadores, IDIAP, CIA de Azuero “Ing. Germán De León”, Los Santos, Panamá: joenfra13@gmail.com; jorgenunezcana@gmail.com; saezcae@hotmail.com; jorgejaen02gmail.com

Resumen: Con el objetivo de evaluar la adaptabilidad y estabilidad de distintos híbridos en la región de Azuero, se sembró un experimento en 10 localidades. El material genético de este ensayo se conformó de tres híbridos de grano blanco y 17 de grano amarillo, para un total de 20 genotipos. Se utilizó el diseño experimental Alfa Láctice 4 x 5 con tres repeticiones. A los datos recabados, se les realizó un análisis de varianza combinado y las medias se separaron utilizando la DMS. El ambiente capturó el 57.4% de la suma de cuadrados total del experimento, sugiriendo una alta variabilidad en los ambientes evaluados. El rendimiento promedio fue de 6.76 tha^{-1} , pero el mismo se vio afectado en algunas localidades por la distribución de la lluvia y el tipo de suelo. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre los distintos híbridos evaluados para el rendimiento de grano. De los cultivares evaluados, nueve sobrepasaron la media general, sobresaliendo de manera significativa los híbridos P-4039, X40K-176, P-3966 W y P-4226 con rendimientos promedios superiores a 7.50 tha^{-1} . A este primer grupo le siguió el grupo X40F-440, PAC-1290139, 2B-604, PAC-1290022 y ADV-9293 con medias superiores al promedio general. El testigo comercial 30F-35 presentó un rendimiento de 6.60 tha^{-1} , y el mismo fue superado en más del 17% por los híbridos del primer grupo. De acuerdo con las puntuaciones de los primeros 2 ejes del análisis Biplot GGE-SREG, los híbridos más estables fueron P-4039, X-40K176 y P-4226.

Palabras clave: Estabilidad, AMMI, Biplot GGE, repetitividad, productividad.

Abstract: In order to evaluate the adaptability and stability of different hybrids in the Azuero region, an experiment was planted in 10 locations. The genetic material of this trial consisted of three hybrids of white grain and 17 of yellow grain, for a total of 20 genotypes. The experimental design Alpha Láctice 4 x 5 was used with three replicates. To the collected data, a combined analysis of variance was performed and the means were separated using the DMS. The environment captured 57.4% of the total sum of squares of the experiment, suggesting a high variability in the evaluated environments. The average yield was 6.76 t ha^{-1} , but it was affected in some localities by the distribution of the rain and the type of soil. The analysis of variance showed highly significant differences among the different hybrids evaluated for grain yield. Of the evaluated cultivars, nine surpassed the general average, with hybrids of P-4039, X40K-176, P-3966 W and P-4226 with average yields exceeding 7.50 t ha^{-1} . This group was followed by the group X40F-440, PAC-1290139, 2B-604, PAC-1290022 and ADV-9293 with means above the general average. The commercial control 30F-35 presented a yield of 6.60 tha^{-1} , and it was exceeded by more than 17% by the hybrids of the first group. According to the scores of the first 2 axes of the Biplot GGE-SREG analysis, the most stable hybrids were P-4039, X-40K176 and P-4226.

Key words: Stability, AMMI, Biplot GGE, repeatability, productivity

Fecha de recepción: 10 de agosto de 2017

Fecha de aceptación: 3 de octubre de 2017

1. Introducción

La identificación y selección de genotipos que se adapten a las distintas condiciones ambientales, así como determinar híbridos con alto rendimiento y buena estabilidad agronómica es el objetivo de la mayoría de los programas de mejoramiento genético. Este es un proceso dinámico que permite evaluar el rendimiento de una serie de híbridos, los cuales generalmente varían de un año a otro, en la que nuevos híbridos son incluidos para su evaluación, mientras que otros son eliminados por su pobre comportamiento. La evaluación de nuevos cultivares a través distintos ambientes en toda la región de Azuero data de muchos años. Se deben aprovechar las tecnologías actuales de imágenes satelitales, mapas de rendimiento, mapas de suelos y topográficos, para lograr una mejor definición de ambientes contrastantes en el agrupamiento de sitios con condiciones similares que puedan responder de manera similar a un mismo cultivar o a un determinado nivel de manejo del cultivo. La producción de maíz en Panamá se destina en un alto porcentaje para la elaboración de raciones balanceadas que se utilizan, principalmente, para la alimentación de aves y cerdos.

El consumo del maíz ha aumentado en los últimos años, de tal forma que la producción nacional no alcanza a cubrir la demanda total, por lo que se requiere la importación de grandes cantidades de este grano. Según las estadísticas publicadas por la Contraloría General de la república de Panamá, en el 2015 se importaron 442.3 toneladas de grano, lo que representó cerca del 90% del consumo nacional (Contraloría, 2017). La selección de genotipos de maíz que interaccionen lo menos posible con el ambiente ha sido uno de los principales objetivos en los Programas de Mejoramiento Genético, tanto en las instituciones estatales como en las empresas que se dedican a la venta de germoplasmas. La evaluación de genotipos a través de distintos ambientes, principalmente, en los contrastantes, es una de las prácticas más usuales de nuevos materiales que se recomiendan a los productores de una región o zona específica. La interacción Genotipo-Ambiente ocurre cuando hay respuestas diferentes de los genotipos en relación con la variación del ambiente.

La Interacción Genotipo-Ambiente (IGA) ocurre cuando hay diferentes respuestas de los genotipos en relación con los ambientes en donde se evalúan. Esta interacción merece gran

importancia en la evaluación de híbridos desarrollados para diferentes circunstancias de producción. Es necesario integrar los conceptos de adaptabilidad y estabilidad para definir el comportamiento de genotipos evaluados a través de ambientes contrastantes.

El análisis de varianza y regresión conjunta es una metodología empleada, ampliamente, para explicar la IGA (Finlay y Wilkinson 1963; Eberhart y Russell 1966; Perkins y Jinks 1968). Técnicas multivariadas también han sido usadas para estudiar los efectos de la IGA. Por ejemplo, el análisis de componentes principales (PCA), el análisis de coordenadas principales y el análisis de clúster (Crossa 1990; Westcott 1986, Vargas et al 2013). El desarrollo del modelo AMMI, 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).

El presente estudio se realizó con el objetivo general de evaluar la adaptabilidad de híbridos de maíz de grano blanco y amarillo, desarrollados por programas privados, en diferentes ambientes de la región de Azuero. El objetivo específico fue el de determinar la interacción de los genotipos con los diferentes ambientes, para identificar híbridos superiores, con buena estabilidad de rendimiento y adaptabilidad específica en los ambientes evaluados.

2. Materiales y Métodos

Se sembró un experimento en 10 localidades en la provincia de Los Santos, región de Azuero, específicamente en parcelas facilitadas por productores de maíz, durante la segunda época de siembra del año 2016 (agosto-enero). El material genético de este ensayo consistió en 20 híbridos blancos y amarillos de las casas Pioneer, Dow, Semillas Valle, Syngenta y Advance (tabla 1). Se utilizó el diseño experimental Alfa-Látice 5 x 4 con tres repeticiones. El tamaño de las parcelas experimentales consistió en dos surcos de 5.2 m de largo. Se sembraron dos surcos de borde a cada lado del ensayo.

Tabla 1. Localidades e híbridos de maíz, evaluados en el ensayo regional de maíz, 2016.

	Nombre del híbrido	Empresa	Color del grano	Localidad	Latitud (UTM9)	Longitud (UTM)
1.	SOMMA	Syngenta	Amarillo	Guararé	865158	578614
2.	IMPACTO	Syngenta	Amarillo	El Ejido E	874353	569517
3.	SYN-750	Syngenta	Amarillo	Salaíto	847547	585280
4.	SV-1035	Semilla Valle	Amarillo	Candelaria	853421	592147
5.	SV-2104	Semilla Valle	Amarillo	Llano Abajo	862047	566156
6.	X40F-440	Pioneer	Amarillo	Pedasí	834439	607156
7.	X40K-176	Pioneer	Amarillo	Nuevo Ocú	851256	595083
8.	P-3966W	Pioneer	Blanco	Destiladero	826660	605242
9.	P-4039	Pioneer	Amarillo	Colorada	864551	548770
10.	P-4028W	Pioneer	Blanco	El Ejido L	874298	569508
11.	30F-35	Pioneer	Amarillo			
12.	P-4226	Pioneer	Amarillo			
13.	2B-604	Dow	Amarillo			
14.	DAS-2384 W	Dow	Blanco			
15.	DAS-3383	Dow	Amarillo			
16.	ADV-9293	Advanta	Amarillo			
17.	PAC-105	Advanta	Amarillo			
18.	PAC-559	Advanta	Amarillo			
19.	PAC-1290022	Advanta	Amarillo			
20.	PAC-1290139	Advanta	Amarillo			

Los datos tomados incluyeron caracteres cuantitativos tales 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, peso del grano, número de mazorcas con mala cobertura y % de humedad del grano al momento de la cosecha. Adicionalmente, se midieron las siguientes variables cualitativas: aspecto de la planta y mazorcas (escala 1 a 5), textura del grano en escala 1 a 4 (1 cristalino y 4 grano dentado), enfermedades al follaje: *Curvularia maydis*, *Bipolaris maydis*,

Exserohilum turcicum (escala 1 a 5), donde 1 indica ausencia de enfermedad y 5 infección muy severa. La evaluación de enfermedades se realizó entre los 70 a 80 dds del cultivo.

Se efectuó un análisis por localidad utilizando el método REML (Residual Maximum Likelihood) para el cálculo de las varianzas de cada una de las fuentes de variación del modelo Alfa Látice (Vargas et al, 2013) y se procedió a calcular la repetitividad (h^2) de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$h^2 = \frac{\delta^2_{Genotipos}}{\delta^2_{Genotipos} + \frac{\delta^2_{Error Experimental}}{N_o \text{ repeticiones}}}$$

Se efectuó un análisis de varianza combinado, considerando un modelo mixto (ambiente aleatorio y genotipo fijo) para las localidades con una h^2 mayor de 0.20 (Camargo et al. 2017). Para la separación de medias de rendimiento se utilizó el análisis de separación de medias, a través de las diferencias mínimas significativas al 5% de probabilidad (DMS). Para el análisis estadístico de las variables % de plantas acamadas de tallo, % de mazorcas con mala cobertura y podridas se hizo el análisis de la variable transformada por el método de la raíz cuadrada más un medio ($\sqrt{x+0.5}$). Para el cálculo de la repetitividad en el análisis combinado se usó la fórmula de Vargas et al. (2013) que se presenta como sigue:

$$h^2 = \frac{\delta^2_{Genotipo}}{\delta^2_{Genotipo} + \frac{\delta^2_{Genotipo \times loc}}{N_o \text{ localidades}} + \frac{\delta^2_{Error Experimental}}{No \text{ loc} \times No \text{ repeticiones}}}$$

El rendimiento de grano de cada híbrido fue normalizado por medio del proceso de estandarización o normalización $(X_i - \mu) / \delta$, donde X_i es el rendimiento del híbrido de interés, μ es la media general y δ es la desviación estándar general a través de localidades, respectivamente. Es decir, se tiene que el rendimiento normalizado (RN_i) tiene una distribución $N(0,1)$. La normalización se realizó con el fin de comparar los rendimientos de cada híbrido y disminuir el efecto de las condiciones en cada localidad.

Los datos de rendimiento fueron sometidos a un análisis de conglomerado mediante el método de Ward (Johnson 1998), que 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 se forman en cada interacción. Para estimar la adaptabilidad y estabilidad de los híbridos en los ambientes evaluados se usó el modelo Biplot GGE-SREG (Zobel et al, 1988; Yan et al. 2000).

El manejo de los ensayos con respecto al control de plagas dependió de su incidencia y de las recomendaciones de la Guía para el manejo integrado del cultivo de maíz del IDIAP (Gordón, 2009). Se aplicó a la siembra 273 kg ha⁻¹ de 13-26-10-10 en bandas al lado de la línea de siembra. Se realizaron una o 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 (159 y 204 kg ha⁻¹, respectivamente), en el caso de una sola aplicación se realizó a los 30 dds (a razón de 227 kg ha⁻¹).

Se midió la precipitación pluvial durante todo el desarrollo del cultivo en las localidades. Todas las localidades registraron lluvias por encima de los 600 mm, excepto en la localidad de El Ejido, donde se registró menos de 400 mm en las dos siembras realizadas. Todas las localidades presentaron registros por encima de los 100 mm en el período de 0 a 30 dds, el cual facilitó un buen establecimiento de plantas al inicio de los ensayos. En la fase de 30 a 50 dds a excepción de las siembras realizadas en El Ejido, el registro fue superior a los 150 mm. En la fase de polinización y llenado (50 a 80 dds) la siembra tardía en El Ejido (Ejido L) fue la más afectada con un registro de tan solo 30 mm, muy por debajo de los 250 mm que se requieren para reducir el estrés hídrico. La siembra tardía en esta localidad fue la más afectada, en donde no hubo registro o el mismo fue mínimo después de los 60 dds (cuadro 2). Los suelos, en su mayoría son considerados entre arcillosos y francos arcilloso; bajos en contenido de fósforo (excepto los de Guararé y El Ejido que presentaron niveles medios). Con un contenido medio en potasio, se exceptúa el suelo de la localidad de Pedasí. En relación con el contenido de materia orgánica los suelos son considerados bajos. Con un contenido medio a alto en Ca y Mg y bajos en Al, (ver tabla 2).

Tabla 2. Fecha de siembra, análisis de suelo y precipitación pluvial en las localidades de los ensayos, Azuero, Panamá, 2016

Localidades	Fecha siembra	Ar-L-Arc (%)	pH	P mg/l	K	Ca	Mg	Al	CIC	M.O. (%)	Mn	Fe	Zn	Cu	ppt días después de siembra (mm)			
															0-30	31-50	51-80	>80
Guararé	05-sep	46-22-32	6.1	28	0.59	14.1	12.0	0.1	26.8	1.14	35	30	1	4	183.4	151.1	206.8	78.4
El Ejido E	05-sep	48-22-30	4.8	19	0.15	5.4	3.0	1.1	9.6	0.48	8	8	8	3	100.0	89.2	120.0	30.2
Salaíto	07-sep	37-21-42	5.8	2	0.45	21.4	11.3	0.1	33.2	1.04	4	2	1	4	203.4	303.1	529.6	120.8
Candelaria	09-sep	57-21-22	5.3	15	0.23	6.9	5.4	0.1	12.6	0.39	32	36	1	3	228.8	285.0	605.5	14.2
Llano Abajo	13-sep	45-25-30	6.3	12	0.17	24.6	12.2	0.1	37.1	0.76	22	25	2	2	175.0	160.0	198.5	0.0
Pedasí	14-sep	52-26-22	5.1	2	0.06	2.4	31.1	0.4	34.0	0.39	12	5	4	1	341.9	208.7	347.7	8.0
Nuevo Ocú	19-sep	60-22-18	4.9	8	0.24	6.4	6.6	0.4	13.6	0.57	27	23	2	3	734.8	130.8	480.6	0.0
Destiladeros	20-sep	65-17-18	4.6	3	0.25	3.1	1.0	0.2	4.6	0.04	29	32	3	4	348.4	183.7	300	0.0
La Colorada	26-sep	39-29-32	5.6	6	0.21	5.3	2.7	0.1	8.3	1.24	13	12	1	3	342.0	152.0	272.0	66.0
El Ejido L	06-oct	46-14-40	5.4	9	0.19	7.5	3.4	0.2	11.3	1.04	6	5	12	3	113.8	95.6	30.0	0.0

3. Resultados y Discusión

3.1. Análisis de repetitividad

Según el 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 20% para la variable rendimiento de grano. Esta condición permite la inclusión de todas las localidades en el análisis combinado. En la tabla 3 se pueden observar las varianzas por fuente y el cálculo de la repetitividad (h^2) para el rendimiento de grano en cada localidad. También se presenta el cociente DMS/Rango, el cual varió de 0.26 a 0.41 indicando la precisión de los ensayos individuales de acuerdo a Gordón y Camargo (2015) y Camargo *et al.* (2017).

Tabla 3. Cuadrados medios por fuente de variación, Cociente DMS/Rango, repetitividad y coeficiente de variación del análisis por localidad del ensayo regional de híbridos, Azuero, Panamá, 2016.

Localidad	S ² Repetición	S ² Rep x Blk	S ² Híbrido	S ² Residuo	DMS/Rango	h ²	C.V. (%)
1. Guararé	0.458	0.000	1.492	0.476	0.27	0.90	7.9
2. Ejido E	0.000	0.277	0.947	0.791	0.40	0.78	16.7
3. El Salaíto	0.000	0.130	1.710	0.533	0.28	0.91	8.7
4. Candelaria	0.000	0.215	1.748	1.298	0.37	0.80	17.0
5. Llano Abajo	0.068	0.115	0.773	0.335	0.28	0.87	8.5
6. Pedasí	0.219	0.441	0.937	0.628	0.32	0.82	12.2
7. Nuevo Ocú	0.060	0.123	0.701	0.269	0.29	0.89	7.3
8. Los Destiladeros	0.104	0.131	0.764	0.429	0.31	0.84	10.5
9. La Colorada	0.000	0.000	0.791	0.637	0.41	0.79	10.8
10. Ejido L	0.044	0.150	0.549	0.183	0.26	0.90	14.3

3.2. Análisis de Varianza Combinado

El análisis de varianza combinado del rendimiento y de algunas características agronómicas de las diez localidades consideradas para este trabajo se presenta en la tabla 4. El análisis señala una diferencia altamente significativa entre ambientes e híbridos para todas las variables estudiadas. La interacción genotipo ambiente resultó altamente significativa para todas las variables analizadas. De acuerdo con el análisis de varianza del rendimiento, el ambiente capturó el 57.4% de la suma de cuadrados total del experimento. Por su parte, los genotipos capturaron el 13.0% de la variabilidad total del análisis de varianza.

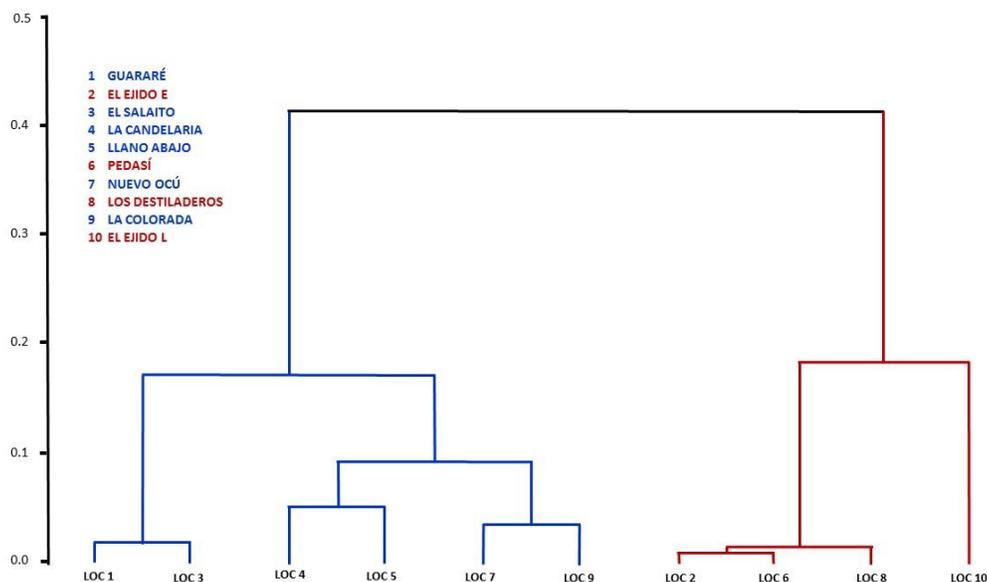
Tabla 4. Cuadrados medios de las fuentes de variación del análisis de varianza combinado del rendimiento y otras características agronómicas de 10 localidades, Azuero, Panamá, 2016.

F. de V	Rend	Flor	Alpt	Almz	Ptm ²	Mzm ²	Mzpt ⁻¹	PMz	TPod	TAcac	TCob
Genotipo**	0.516	1.703	150.961	31.207	0.027	0.000	0.066	99.76	0.002	0.001	0.001
Ambiente**	2.583	2.186	487.595	164.743	0.015	0.001	0.082	570.123	0.002	0.002	0.002
Gen x Amb**	0.550	0.314	16.22	4.905	0.053	0.001	0.101	86.765	0.001	0.001	0.001
Residuo	0.550	0.926	77.231	34.792	0.184	0.004	0.216	102.737	0.002	0.003	0.002
h ²	0.88	0.97	0.97	0.95	0.70	0.70	0.79	0.89	0.91	0.79	0.71
DMS/Rango	0.29	0.16	0.13	0.17	0.40	0.39	0.34	0.26	0.18	0.33	0.42
C.V. (%)	11.2	1.8	3.9	5.4	6.7	6.7	7.6	9.4	5.7	7.6	6.1
Nº localidades	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10

**= diferencias estadísticas con probabilidad menor al 1% Rend= Rendimiento de grano, Flor= Floración femenina, Alpt= Altura de planta, Almz= Altura de mazorcas, Ptm²= Plantas/m², Mzm²= Mazorcas/m², MzPt⁻¹= Mazorcas por planta, PMz = Peso de mazorcas, TPod= % de mazorcas podridas transformada, TAcac=% plantas acamadas de tallo transformada, TCob = % Mazorcas con mala cobertura transformada

Según el análisis de Conglomerados de Ward, en el Dendograma se identifican dos grupos ambientales o dominios de recomendación (Figura 1): el primer grupo estuvo formado por los ensayos sembrados en las localidades de: Guararé, El Salaíto, La Candelaria, Llano Abajo, Nuevo Ocu y La Colorada (Grupo Ambiental A). En el segundo grupo se ubicaron los ensayos sembrados en El Ejido E, Pedasí, Los Destiladeros y El Ejido L (Grupo Ambiental B). En este análisis, las localidades se agrupan en varios grupos generales y de modo similar, a los grupos identificados del análisis Biplot-GGE-SREG.

Figura 1. Dendograma del análisis de conglomerados de las 10 localidades del ensayo de híbridos de la Prueba Regional de maíz, Azuero, Panamá, 2016.



3.3. Efecto de Ambientes

La media del rendimiento en las localidades del Grupo A (7.53 tha^{-1}) fue superior al Grupo B (5.27 tha^{-1}). En relación con el rendimiento de grano, el mayor promedio se obtuvo en la localidad de Guararé, mientras que el más bajo se obtuvo en la siembra tardía de El Ejido en Los Santos con medias de 8.77 y 2.99 tha^{-1} , respectivamente. El rendimiento promedio a través de las 10 localidades fue de 6.63 tha^{-1} . En cuanto al porcentaje de plantas acamadas de tallo, resultó bajo en casi todas las localidades, exceptuando la siembra temprana en El Ejido, Pedasí y Guararé, cuyo porcentaje de acame fue superior al 17%. Los mayores porcentajes de mazorcas podridas fueron reportados en El Ejido E con 6.2%.

Los ensayos con menor número de plantas en el momento de la cosecha se dieron en La Candelaria y El Ejido L con poblaciones menores a 6.25 plantas por metro cuadrado. En todas las localidades se obtuvo más de 0.92 mazorcas por planta con excepción en los del Ejido E, donde fue de 0.90. Las plantas con mayor altura promedio se registraron en Guararé

(265 cm); mientras que, las más bajas (199 cm) se presentaron en El Ejido L. El porcentaje general de mazorcas con mala cobertura fue bueno presentándose menos del uno por ciento de mazorcas descubiertas (tabla 5).

Tabla 5. Medias ajustadas del rendimiento de grano y otras variables tomadas del Ensayo de híbridos de la Prueba Regional, según localidades y por grupo de acuerdo con el análisis de Ward, 2016.

	<i>Rend</i> (t ha ⁻¹)	<i>Flor</i> (días)	<i>Alpt</i> (cm)	<i>Almz</i> (cm)	<i>Ptm</i> ²	<i>Mzm</i> ²	<i>MzPt</i> ¹	<i>PMz</i> (g)	<i>Pud</i> (%)	<i>Acat</i> (%)	<i>Enf</i> (1-5)	<i>Aspt</i> (1-5)	<i>Asmz</i> (1-5)	<i>Cob</i> (%)	<i>Pomz</i>
Guararé	8.77	51	265	133	6.41	6.41	1.00	137	2.2	17.2	2.2	3.0	3.1	1.1	0.50
El Saláito	8.42	52	246	126	6.51	6.34	0.97	133	4.6	5.6	2.5	2.6	3.1	1.9	0.51
La Colorada	7.42	53	246	121	6.53	6.25	0.96	118	4.1	10.9	2.0	2.8	3.1	1.3	0.49
Nuevo Ocú	7.09	52	223	109	6.63	6.50	0.98	109	2.1	5.8	1.9	2.7	3.0	0.6	0.49
Llano Abajo	6.78	53	211	104	6.53	6.34	0.97	107	3.8	11.2	2.6	2.9	3.1	1.2	0.49
La Candelaria	6.71	54	205	99	6.17	5.67	0.92	119	2.0	4.1	2.4	2.8	3.2	1.7	0.48
Promedio A	7.53	52	233	115	6.46	6.25	0.97	121	3.1	9.1	2.3	2.8	3.1	1.3	0.50
Pedasí	6.52	53	215	107	6.41	6.00	0.93	108	2.1	22.0	1.8	2.8	3.0	2.5	0.50
Los Destiladeros	6.23	54	209	98	6.54	6.15	0.94	101	1.5	7.0	1.5	2.9	3.1	1.6	0.47
El Ejido E	5.33	56	207	101	6.34	5.70	0.90	92	6.2	29.3	1.3	2.8	3.6	0.7	0.49
El Ejido L	2.99	54	199	96	6.23	5.81	0.93	51	74.2	13.5	1.6	2.9	3.7	1.7	0.48
Promedio B	5.27	54	207	101	6.38	5.91	0.93	88	21.0	18.0	1.6	2.8	3.3	1.6	0.49
Promedio General	6.63	53	223	110	6.43	6.12	0.95	108	10.4	12.7	2.0	3.2	4.5	0.7	0.49

Rend= Rendimiento de grano, Flor= Floración femenina, Alpt= Altura de planta, Almz= Altura de mazorcas, Ptm²= Plantas/m², Mzm²= Mazorcas/m², MzPt¹= Mazorcas/planta, PMz= Peso de mazorcas, Pud= % mazorcas podridas, Acat= % plantas acamadas de tallo, Enf= Enfermedades foliares causadas por hongos, Aspt= Aspecto de plantas, Asmz= Aspecto de Mazorcas, Cob= % plantas con mazorcas descubiertas, Pomz= relación altura de mazorca y altura de planta

3.4. Efecto de Genotipos

El rendimiento de grano promedio, así como el comportamiento de los 20 híbridos en los dos grupos ambientales definidos, se pueden observar en el cuadro 6. Entre los testigos utilizados el 2B-604 fue el de mayor rendimiento (6.94 tha⁻¹) seguido por el testigo con mayor área sembrada en la región (30F-35) con rendimiento de 6.60 tha⁻¹. De todos los híbridos evaluados, nueve sobrepasaron la media general de las diez localidades, sobresaliendo, de manera significativa, los híbridos P-4039, X40K-176, P-3966 W y P-4226 con medias superiores 7.50 tha⁻¹ Estos mismos híbridos superaron estadísticamente al testigo 30F-35 en más del 15% y al 2B-604 en más del 9%. Siguieron a éste primer grupo de híbridos, el formado por los híbridos X40F-440, PAC-1290139, 2B-604, PAC-1290022 y ADV-

9293 con rendimientos superiores a la media general (rendimiento de grano superior a 6.63 tha^{-1}). El resto de los híbridos evaluados tuvieron rendimientos por debajo del promedio de las 10 localidades (tabla 6). El híbrido con menor rendimiento correspondió al SV-2104 con media de 5.51 tha^{-1} . En las localidades del Grupo A, el rendimiento más alto se obtuvo con el híbrido P-4039 (8.95 tha^{-1}) seguido por los híbridos ADV-9293 y X40K-176 con 8.53 y 8.52 tha^{-1} , respectivamente. En el Grupo B el mayor rendimiento se obtuvo con el híbrido P-4039 seguido del X40K-176 y P-3966W.

Tabla 6. Medias ajustadas del rendimiento de grano, de los híbridos evaluados y su comportamiento versus dos testigos nacionales, Azuero, Panamá, 2016.

Híbridos	Rendimiento (tha^{-1})			% sobre 30F-35 (TC1)			% sobre 2B-604 (TC2)		
	10 loc	Gr-A	Gr-B	10 loc	Gr-A	Gr-B	10 loc	Gr-A	Gr-B
1. P-4039	8.06	8.95	6.69	22	22	20	16	19	10
2. X40K-176	7.70	8.52	6.46	17	16	16	11	14	6
3. P-3966W	7.66	8.48	6.40	16	15	15	10	13	5
4. P-4226	7.58	8.43	6.29	15	15	13	9	12	4
5. X40F-440	7.32	8.31	5.78	11	13	4	6	11	-5
6. PAC-1290139	6.98	8.43	4.75	6	15	-14	1	12	-22
7. 2B-604 (TC 2)	6.94	7.49	6.07	5	2	9	0	0	0
8. PAC-1290022	6.93	8.33	4.79	5	13	-13	0	11	-21
9. ADV-9293	6.92	8.53	4.50	5	16	-18	0	14	-26
10. 30F-35 (TC 1)	6.60	7.35	5.54	0	0	0	-5	-2	-9
11. SV-1035	6.53	7.08	5.68	-1	-4	2	-6	-5	-6
12. P-4028W	6.42	7.52	4.69	-3	2	-15	-7	0	-23
13. SYN-750	6.29	6.97	5.38	-5	-5	-3	-9	-7	-11
14. DAS 2384 W	6.14	6.52	5.64	-7	-11	2	-11	-13	-7
15. DAS 3383 (TC 3)	5.98	6.48	5.15	-9	-12	-7	-14	-14	-15
16. PAC-105	5.94	7.09	4.30	-10	-3	-22	-14	-5	-29
17. PAC-559	5.75	6.90	4.09	-13	-6	-26	-17	-8	-33
18. IMPACTO	5.71	6.85	4.11	-13	-7	-25	-18	-9	-32
19. SOMMA	5.58	6.21	4.62	-15	-15	-16	-20	-17	-24
20. SV-2104	5.51	6.20	4.43	-16	-16	-20	-21	-17	-27
Promedio	6.63	7.53	5.27	0	2	-5	-4	1	-13

En cuanto a la población de plantas en el momento de la cosecha, se encontró diferencia estadística significativa entre los híbridos evaluados oscilando los valores entre 6.16 y 6.70 plantas cosechadas. Los híbridos PAC-1290022 y P-4028W presentaron la más alta susceptibilidad a la pudrición de mazorcas con porcentajes superiores al 14% en el promedio de todas las localidades. Por otro lado, los híbridos P-4226 y 2B-604 presentaron

el menor porcentaje de mazorcas podridas con tan solo 6.2 y 7.1%. Todos los híbridos presentaron una alta prolificidad de mazorcas por planta con valores muy cercanos a una mazorca por planta con excepción del PAC-559 con promedio de 0.89 mazorcas por planta. Todos los híbridos fueron muy similares en floración femenina, con valores entre 51 y 55 dds. Con respecto a la altura de la planta, el híbrido de menor estatura fue el SOMMA con 198 cm. Las medidas de la altura de la mazorca variaron entre 99 a 120 cm, siendo el mismo híbrido con la posición más baja de este componente.

En cuanto a las principales enfermedades foliares en cada localidad se calificaron distintas enfermedades, por lo que la media general indica más bien la sanidad foliar de los cultivares. El híbrido con mayor calificación de enfermedades fue el P-4226 con una puntuación de 2.4. Con respecto al acame de tallo, el porcentaje promedio fue de 12.7%, siendo los híbridos SYN-750 y 30F-35 los de menor porcentaje de acame (3.2 y 7.1%, respectivamente) y SV-204 y DAS-3383 los más afectados con valores superiores al 25%. Los híbridos con el menor porcentaje de punta de la mazorca descubierta fueron el IMPACTO, X40K-176 y PAC-1290022 con menos del 0.1% de mala cobertura. Todos los híbridos tuvieron una relación altura de mazorca sobre altura de planta cercana o menor al 50%, indicando una buena característica agronómica.

En relación con el rendimiento normalizado, los tres híbridos más rendidores estuvieron por encima de 0.80 valor de Z representando un rendimiento superior al 30% de la media general del ensayo. Todos los híbridos reflejaron una puntuación cercana a 3.0 según la textura, lo que indica que son considerados semi-cristalinos coincidiendo esto con la textura preferida en el mercado de maíz de Panamá.

Tabla 7. Medias ajustadas de las variables agronómicas medidas en los 20 híbridos evaluados en el ensayo regional, combinado 10 localidades, Azuero, Panamá, 2016.

Híbridos	RNi	Flor M (días)	Flor F (días)	Alpt (cm)	Almz (cm)	Ptm ⁻²	Mzm ⁻²	MzPt ⁻¹	PMz (g)	Pud (%)	Acat (%)	Enf (1-5)	Aspt (1-5)	Asmz (1-5)	Cob (%)	Pomz	Tex (1-4)
1. P-4039	1.06	51	53	233	116	6.59	6.50	0.99	124	10.5	14.2	2.1	2.9	4.8	0.7	0.50	3.0
2. X40K-176	0.86	49	51	234	116	6.60	6.39	0.97	120	11.5	9.7	2.2	2.9	2.3	0.1	0.50	2.9
3. P-3966W	0.81	51	53	243	120	6.61	6.31	0.96	121	7.5	14.9	2.3	3.2	6.4	1.1	0.50	2.9
4. P-4226	0.74	50	52	231	117	6.42	6.23	0.97	121	6.3	9.6	2.4	2.9	3.4	0.3	0.51	3.1
5. X40F-440	0.48	52	54	236	115	6.51	6.28	0.96	116	13.1	12.2	2.2	3.0	3.7	2.2	0.48	2.9
6. PAC-1290139	0.28	51	53	208	102	6.43	6.15	0.96	113	9.5	11.0	1.8	3.0	4.1	0.4	0.49	2.7
7. 2B-604	0.26	49	51	222	108	6.66	6.38	0.96	109	7.1	13.4	2.2	3.2	3.8	0.7	0.49	2.9
8. PAC-1290022	0.16	53	55	222	111	6.42	6.05	0.94	111	14.2	9.7	1.8	3.2	3.8	0.1	0.50	2.7
9. ADV-9293	0.21	53	55	218	107	6.24	5.81	0.93	116	11.0	8.6	2.1	3.0	3.3	0.5	0.49	2.8

13. Visión Antataura, Vol.1, No.2, Diciembre 2017- Mayo 2018

10.30F-35	-0.09	51	54	236	110	6.59	6.32	0.96	104	12.5	7.1	2.1	3.3	6.8	1.7	0.47	2.8
11.SV-1035	-0.08	50	52	229	112	6.47	6.29	0.97	104	11.4	8.6	2.0	3.3	3.4	1.3	0.49	2.9
12.P-4028W	-0.17	53	55	234	111	6.14	5.71	0.93	111	14.4	10.0	2.1	3.4	8.7	0.6	0.48	2.9
13.SYN-750	-0.19	51	53	224	108	6.31	6.10	0.97	102	5.5	3.2	1.9	3.2	4.8	0.9	0.48	2.7
14.DAS 2384 W	-0.39	51	53	210	104	6.54	5.95	0.91	103	12.9	9.2	1.8	3.4	5.1	0.2	0.50	2.7
15.DAS 3383	-0.48	49	51	218	107	6.36	6.20	0.98	96	8.6	27.5	1.9	3.3	4.1	0.6	0.49	2.8
16.PAC-105	-0.50	52	54	214	106	5.96	5.43	0.91	108	10.5	8.1	1.9	3.2	4.8	0.4	0.50	2.8
17.PAC-559	-0.66	53	55	203	103	6.29	5.60	0.89	101	10.6	9.2	1.8	3.2	7.1	0.9	0.51	2.7
18.IMPACTO	-0.70	52	54	210	103	6.59	6.26	0.95	91	11.8	16.4	1.5	3.5	4.2	0.0	0.49	2.7
19.SOMMA	-0.79	50	53	198	99	6.70	6.42	0.96	87	9.4	14.7	1.6	3.3	2.1	0.4	0.50	2.6
20.SV-2104	-0.84	52	54	229	115	6.16	5.99	0.97	93	10.2	36.0	2.2	3.3	2.4	0.5	0.50	3.0
Promedio	0.00	51	53	223	110	6.43	6.12	0.95	108	10.4	12.7	2.0	3.2	4.5	0.7	0.49	2.8
DMS _{5%}	0.54	1	1	6	4	0.29	0.36	0.04	10	6.7	6.4	0.2	0.2	1.2	0.7	0.01	0.2
h ²	0.89	0.96	0.97	0.97	0.95	0.70	0.79	0.70	0.89	0.01	0.90	0.92	0.86	0.94	0.80	0.82	0.77
DMS/Rango	0.29	0.17	0.16	0.13	0.17	0.40	0.34	0.39	0.26	0.75	0.19	0.21	0.30	0.18	0.31	0.29	0.36
C.V. (%)		1.9	1.8	3.9	5.4	6.7	7.6	6.7	9.4	59.3	61.4	11.7	7.9	31.3	14.9	0.0	8.1
No localidades	0.00	51	53	223	110	6.43	6.12	0.95	108	10.4	12.7	2.0	3.2	4.5	0.7	0.49	2.8

RNi= Rendimiento de grano normalizado, Flor M= Floración Masculina, Flor F= Floración femenina, Alpt= Altura de planta, Almz= Altura de mazorcas, Ptm²= Plantas/m², Mzm²= Mazorcas/m², MzPt¹= Mazorcas/planta, PMz= Peso de mazorcas, Pud= % mazorcas podridas, Acat= % plantas acamadas de tallo, Enf= Enfermedades foliares causadas por hongos, Aspt= Aspecto de plantas, Asmz= Aspecto de Mazorcas, Cob= % plantas con mazorcas descubiertas, Pomz= relación altura de mazorca y altura de planta, Text= Textura de granos.

3.5. Interacción Genotipo por Ambiente

La tabla 8 muestra el análisis de varianza del rendimiento de grano y también el valor de los dos ejes principales de la interacción genotipo-ambiente, los que fueron obtenidos a través del modelo Biplot GGE-SREG. El resultado de este análisis indicó que los dos primeros ejes (PCA) explicaron el 69.9% de la interacción genotipo ambiente con tan solo el 28.9% de los grados de libertad. El PCA-1 explicó el 49.6 %; mientras que, el PCA-2 fue responsable del 20.2% con el 15.0 y 13.9% de los grados de libertad, respectivamente.

Tabla 8. Análisis de varianza Tipo IV y componentes principales (PCA) para la variable rendimiento de grano del ensayo de la Prueba Regional, Azuero, Panamá, 2016.

F de V.	g.l.	Suma de Cuadrados Tipo IV	Cuadrados Medios	Probabilidad F
AMB	9	1423.63	158.18	0.001
GEN	19	331.99	17.47	0.001
GEN x AMB	171	392.01	2.29	0.001
PCA-1	27	359.44	13.31	0.001
PCA-2	25	146.60	5.86	0.001
Residuo	128	217.95	1.70	

En la tabla 9 se presentan las puntuaciones Biplot GGE-SREG, tanto de los 20 genotipos como de los 10 ambientes, los que presentan diferentes patrones de interacción.

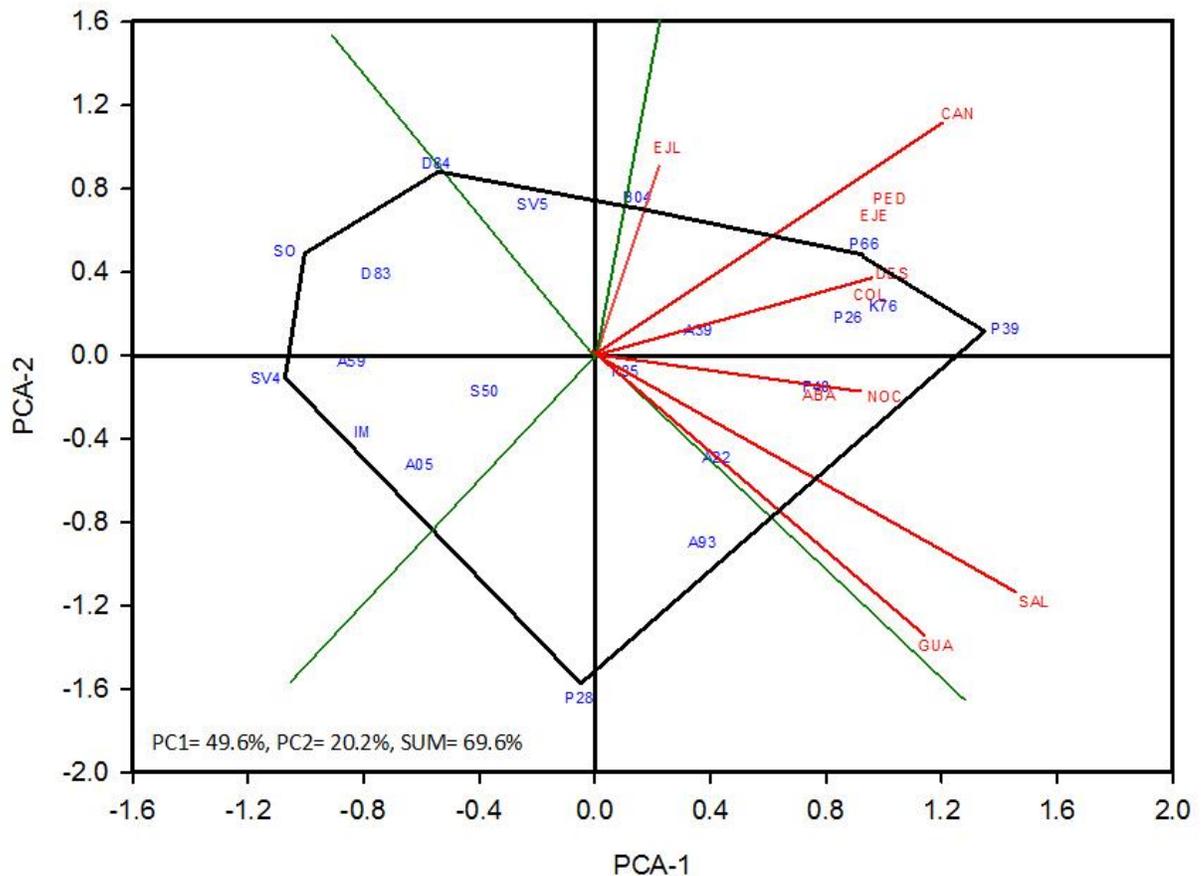
De acuerdo con las puntuaciones de los ejes PCA-1 y PCA-2 los híbridos más estables (valor del eje PCA-2 más cercano a 0) y con rendimiento superior a la media general de todos los ambientes (valores del PCA-1 mayor que 0) fueron el P-4039, X-40K176 y P-4226. De acuerdo a Yan *et al.* (2000), al graficar las puntuaciones de ambos ejes principales, se forma un polígono con los híbridos que quedan en la parte externa de la figura, éstos fueron los híbridos P-4039, P-3966W, 2B-604, DAS-2384W, SOMMA, SV-2104 y P-4028W. Los híbridos localizados en los vértices son considerados los mejores e inferiores dependiendo de su ubicación.

Tabla 9. Puntuaciones de los dos ejes correspondientes a los componentes principales (PCA) para rendimiento de grano blanco según genotipo y localidad, PCCMCA, 2016.

Híbridos	Abrev.	Puntuación PCA1	Puntuación PCA2	Localidades	Abrev.	Grupo Ambiental	Puntuación PCA1	Puntuación PCA2
1. SOMMA	SO	-1.070	0.499	Guararé	GUA	A	1.180	-1.396
2. IMPACTO	IM	-0.802	-0.371	El Ejido E	EJE	B	0.973	0.666
3. SYN-750	S50	-0.380	-0.176	El Salaíto	SAL	A	1.522	-1.185
4. SV-1035	SV5	-0.216	0.720	La Candelaria	CAN	A	1.258	1.157
5. SV-2104	SV4	-1.137	-0.114	Llano Abajo	ABA	A	0.778	-0.193
6. X40F-440	F40	0.767	-0.153	Pedasí	PED	B	1.023	0.751
7. X40K-176	K76	0.998	0.233	Nuevo Ocú	NOC	A	1.008	-0.197
8. P-3966W	P66	0.934	0.535	Los Destiladeros	DES	B	1.033	0.392
9. P-4039	P39	1.421	0.125	La Colorada	COL	A	0.954	0.286
10. P-4028W	P28	-0.052	-1.646	El Ejido L	EJL	B	0.253	0.991
11. 30F-35	F35	0.107	-0.078					
12. P-4226	P26	0.879	0.183					
13. 2B-604	B04	0.149	0.758					
14. DAS 2384 W	D84	-0.547	0.922					
15. DAS 3383	D83	-0.755	0.390					
16. ADV-9293	A93	0.373	-0.897					
17. PAC-105	A05	-0.607	-0.529					
18. PAC-559	A59	-0.842	-0.033					
19. PAC-1290022	A22	0.421	-0.489					
20. PAC-1290139	A39	0.359	0.119					

Con relación a la interacción genotipo ambiente, la figura 2 muestra los híbridos que mejor se comportaron en cada uno de los grupos ambientales, según la posición o cercanía en la que se encuentran de cada grupo. Aquí se muestra que Guararé y El Salaíto en el Grupo A y El Ejido L en el Grupo B fueron los ambientes que mejor discriminaron los genotipos.

Figura 2. Puntuaciones del primer y segundo eje del componente principal de 20 híbridos de maíz grano blanco en 10 localidades de Azuero, Panamá, 2016 (Biplot GGE-SREG).



4. Conclusiones

- Los híbridos P-4039, X40K-176, P-3966 W y P-4226 sobresalieron por su alto rendimiento, buenas características agronómicas y rendimientos superiores a las 7.50 tha^{-1} . A este grupo le siguieron los híbridos X40F-440, PAC-1290139, 2B-604, PAC-1290022 y ADV-9293 con rendimientos superiores a la media general.
- El modelo Biplot GGE-SREG, identificó a los híbridos P-4039, X-40K176 y P-4226 como los más estables a través de las localidades.

Referencias Bibliográficas

- Camargo-Buitrago, I., Gordón Mendoza R. y Quirós McIntire E.I. (2017). La repetitividad como estimador de la precisión experimental en el análisis de experimentos. *Revista Agronomía Mesoamericana* 28(1), 159-169.
- Contraloría General de la República de Panamá. (2017). *Importación de maíz en la República: Años 1991-2014*. Cuadro 331-02. Instituto Nacional de Estadística y Censo. Recuperado de: <https://www.contraloria.gob.pa/inec/archivos/P6811331-02.pdf>.
- Crossa, J. (1988). A comparison of results obtained with two methods for assessing yield stability. *Theor. Appl. Genet* 75, 460- 467.
- Crossa, J. (1990). Statistical analysis of multi-location trials. *Advances in agronomy* 44, 55-85.
- Crossa, J., Gauch, Jr. H.G., y Zobel R.W. (1990). Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop. Sci.* 30, 493-500.
- Crossa, J., Fox P.N., Pfeiffer W.H., Rajaram S., y Gauch, Jr. H.G. (1991). AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. *Theor Appl. Genet.* 81, 27-37.
- Eberhart, S. A., y Russell W.A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop. Sci.* 6, 36-40.
- Finlay, K.W., y Wilkinson G.N. (1963). The Analysis of Adaptation in plant breeding program. *Aust. J. Agric. Res.* 14, 742-754.
- Gauch, H. G., y Zobel R.W. (1988). Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 76, 1-10.
- Gordón M, R. y Camargo B. 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. (2009). *Manejo Integral del cultivo de Maíz*. Folleto Técnico. IDIAP. 20 pág.
- Johnson, D.E. (1998). *Métodos multivariados aplicados al análisis de datos*. International Thompson Editors. Cap 9.

- Perkins, J. M. y Jinks J.L. (1968). Environmental and genotype-environmental components of variability. IV Non-linear interactions for multiple inbred lines. *Heredity*, 23, 525-535.
- Vargas, M., Combs E., Alvarado G., Atlin G., Mathews K., y Crossa J. (2013). META: A suite of SAS Programs to analyze Multi environment breeding trials. *Agron. J.* 105, 11-19.
- Westcott, B. (1986). Some methods of analyzing genotype environment interaction. *Heredity* 56, 243-253.
- Yan, W., Hunt L.A., Sheng Q. y Szlavnicz Z. (2000). Cultivar Evaluation and Mega Environment Investigation based on the GGE Biplot. *Crop Sci.* 40, 597-605.
- Zobel R.W., Wright M.J. y Gauch, Jr. H.G. (1988). Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.* 80, 388-393.