

Evaluación de la adaptabilidad de híbridos de maíz a las condiciones agroclimáticas de la región de Azuero, Panamá, 2017



An assessment of hybrid maize 's adaptability to the agro-climatic conditions of the Region of Azuero

Gordón M, Román; Franco B, Jorge; Núñez C, Jorge; Sáez C, Ana E.; Jaén V, Jorge; Ramos M, Francisco; Ávila G, Aurisbel

Román Gordón M

gordon.roman@gmail.com

IDIAP, Panamá

Jorge Franco B

joenfra13@gmail.com

IDIAP, Panamá

Jorge Núñez C

jorgenunezcano@gmail.com

IDIAP, Panamá

Ana E. Sáez C

saezcae@hotmail.com

IDIAP, Panamá

Jorge Jaén V

jorgejaen02@gmail.com

IDIAP, Panamá

Francisco Ramos M

franciscoramos2016@gmail.com

IDIAP, Panamá

Aurisbel Ávila G

aurisbel.a@hotmail.com

IDIAP,, Panamá

Visión Antataura

Universidad de Panamá, Panamá

ISSN: 2309-6373

ISSN-e: 2520-9892

Periodicidad: Semestral

vol. 3, núm. 2, 2019

Luis.rodriguez@up.ac.pa

Recepción: 21 Septiembre 2019

Aprobación: 18 Noviembre 2019

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/225/225971004/index.html>

Resumen: Se realizó un experimento en diez localidades de la región de Azuero para determinar la adaptabilidad de 20 híbridos. Se utilizó un diseño experimental Alfa Látice 4 x 5 con tres repeticiones. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre los distintos híbridos evaluados en cuanto al rendimiento de grano. De los cultivares evaluados, la mitad sobrepasó la media general, sobresaliendo significativamente P-4028W, P-4039 y P-4226 con rendimientos promedios superiores a 7.60 tha-1. A este primer grupo le siguió ADV-9779, ADV-9789, ADV-9293, ADV-9022 y SV-3243 con medias superiores a siete toneladas. El testigo comercial 30F-35 presentó un rendimiento de 6.94 tha-1, el cual fue superado en más del 15% por los híbridos del primer grupo. De acuerdo con las puntuaciones de los primeros dos ejes del análisis Biplot GGE-SReg no se encontró un híbrido con mayor estabilidad en todos los ambientes evaluados; se hallaron dos grupos ambientales los que sobresalieron por su alto rendimiento, los tres híbridos del grupo con mayor rendimiento. Se realizó un experimento en diez localidades de la región de Azuero para determinar la adaptabilidad de 20 híbridos. Se utilizó un diseño experimental Alfa Látice 4 x 5 con tres repeticiones. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre los distintos híbridos evaluados en cuanto al rendimiento de grano. De los cultivares evaluados, la mitad sobrepasó la media general, sobresaliendo significativamente P-4028W, P-4039 y P-4226 con rendimientos promedios superiores a 7.60 tha-1. A este primer grupo le siguió ADV-9779, ADV-9789, ADV-9293, ADV-9022 y SV-3243 con medias superiores a siete toneladas. El testigo comercial 30F-35 presentó un rendimiento de 6.94 tha-1, el cual fue superado en más del 15% por los híbridos del primer grupo. De acuerdo con las puntuaciones de los primeros dos ejes del análisis Biplot GGE-SReg no se encontró un híbrido con mayor estabilidad en todos los ambientes evaluados; se hallaron dos grupos ambientales los que sobresalieron por su alto rendimiento, los tres híbridos del grupo con mayor rendimiento.

Palabras clave: estabilidad, Biplot GGE-SReg, repetitividad, Alfa Látice, estabilidad, Biplot GGE-SReg, repetitividad, Alfa Látice.

Abstract: An experiment was conducted in ten locations in the regions of Azuero to determine the adaptability of 20 corn hybrids. An experimental 4 x 5 Alpha Lattice design with three repetitions was used. The analysis of variance showed highly significant differences between the different hybrids evaluated for grain yield. Of the cultivars evaluated, half exceeded the general average, with the P-4028W, P-4039 and P-4226 hybrids standing out significantly with average yields exceeding 7.60 tha-1. This first group was followed by ADV-9779, ADV-9789, ADV-9293, ADV-9022 and SV-3243 with averages higher than seven tons. Commercial tester 30F-35 presented a yield of 6.94 tha-1, and it was surpassed by more than 15% by the hybrids of the first group. According to the scores of the first two axes of the Biplot GGE-SReg analysis, a hybrid with greater stability was not found in all the evaluated environments, two environmental groups were found where the three hybrids of the group with the highest performance stood out for their high performance.

Keywords: stability, Biplot GGE-SReg, repeatability, Alpha Lattice, stability, Biplot GGE-SReg, repeatability, Alpha Lattice.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz es considerado uno de los rubros más importantes para el país. De ahí, que entre las políticas sectoriales del Ministerio de Desarrollo Agropecuario está considerado como uno de los rubros prioritarios en la gestión actual del Gobierno. En el año 2013 fue promulgada la Ley 107, Ley de Granos (Programa de incentivos de la producción nacional de granos) en la que se busca garantizar la seguridad alimentaria, disminuir el costo de la canasta básica, lograr la autosuficiencia de varios rubros, entre los que está el maíz, así como el de recuperar la rentabilidad de este cultivo. Con la identificación y registro de nuevos cultivares de maíz (híbridos y variedades) se fortalece la base agro-tecnológica de Panamá en cuanto a sus recursos genéticos. De esta manera se busca cerrar la brecha entre la demanda y la oferta de este grano que es utilizado, para la alimentación humana y para la formulación de piensos para animales. Ante la situación mundial de uso de este grano para la producción de etanol en los países desarrollados, el valor de su tonelada ha ido en aumento, lo que constituye una oportunidad para el productor nacional de incrementar su producción y así contribuyendo con la seguridad alimentaria nacional, la producción sostenible y competitividad del cultivo. Un clima adverso y desastres naturales han sido las características comunes en todas las provincias del país. Los cambios más recientes, derivados entre otros factores, del calentamiento global y la crisis de precios de los alimentos han aumentado la vulnerabilidad y el riesgo de las comunidades rurales y de los productores causando un impacto significativo en la seguridad alimentaria y la pobreza extrema. Sequías al inicio de los ciclos de siembra, lluvias más intensas en algunos períodos de cultivo y la aparición de nuevas plagas están causando trastornos importantes en la productividad y la seguridad alimentaria. La variabilidad climática condiciona un cambio importante en las reglas de juego para la cadena del maíz, pues representa enormes retos y desafíos para los productores, y para otros actores de la cadena; porque generan la necesidad de hacer ajustes profundos en el Plan de Acción para la Competitividad de la Cadena del Maíz.

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, específicamente en ambientes contrastantes, es una de las prácticas más usuales para la recomendación de nuevos materiales a los productores de una región o zona específica. La interacción

Genotipo-Ambiente (IGA) ocurre cuando hay respuestas diferentes de los genotipos en relación con la variación del ambiente. 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 (Eberhart y Russell, 1966; Perkins y Jinks 1968). Técnicas multivariadas también han sido usadas para estudiar los efectos de la IGA, el análisis de componentes principales (PCA), análisis de coordenadas principales, 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; Crossa et al., 1990; Crossa et al., 1991).

El Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá tiene la responsabilidad de evaluar todos los cultivares utilizados por los productores de maíz en el país. Para ello, anualmente, se realizan ensayos en los que se evalúan los híbridos que las distintas casas comerciales importan al país y se comparan con los principales híbridos de mayor uso como testigos. A través de los años se ha investigado la generación y selección de híbridos para el sistema mecanizado de la región (Camargo et al. 2004, 2003, Gordón et al. 2017, 2016, 2006). Con estos trabajos se han registrado más de 15 nuevos híbridos en los últimos 10 años en el Comité Nacional de Semilla del Ministerio de Desarrollo Agropecuario para uso de los productores de maíz. El presente estudio se realizó con el objetivo de: evaluar la adaptación de híbridos de maíz de grano blanco y amarillo desarrollados por programas privados en diferentes ambientes de la región de Azuero. Un segundo objetivo 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 realizó un experimento en 10 localidades de la región de Azuero denominado “Prueba Regional de maíz”, en parcelas facilitadas por productores de maíz de la provincia de Los Santos, durante la segunda época de siembra del año 2017 (agosto-enero). El material genético de este ensayo consistió en 20 híbridos blancos y amarillos de las empresas Advanta, Pioneer, Semillas Valle y Syngenta (tabla 1). Se utilizó el diseño experimental Alfa-Látice 5 x 4 con tres repeticiones. El tamaño de las parcelas experimentales era de dos surcos de 5.2 m de largo. Se sembraron dos surcos de borde a cada lado del ensayo.

TABLA 1
Híbridos de maíz de grano blanco y amarillo evaluados en el ensayo regional de maíz, 2017

	Nombre de Híbridos	Empresa	Color del grano
1.	ADV-9789	Advanta	Amarillo
2.	ADV-9779	Advanta	Amarillo
3.	ADV-9339	Advanta	Amarillo
4.	ADV-9139	Advanta	Amarillo
5.	ADV-9022	Advanta	Amarillo
6.	ADV-9293	Advanta	Amarillo
7.	SV-1035	Semillas Valle	Amarillo
8.	SV-2104	Semillas Valle	Amarillo
9.	SV-292	Semillas Valle	Amarillo
10.	SV-3243	Semillas Valle	Amarillo
11.	SV-3245	Semillas Valle	Amarillo
12.	30F-35	Pioneer	Amarillo
13.	P-4226	Pioneer	Amarillo
14.	P-4039	Pioneer	Amarillo
15.	NB-7253	Syngenta	Amarillo
16.	SYN-730	Syngenta	Amarillo
17.	IMPACTO	Syngenta	Amarillo
18.	SYN-750	Syngenta	Amarillo
19.	P-4028W	Pioneer	Blanco
20.	P-4082W	Pioneer	Blanco

Comité Nacional de Semillas del Ministerio de Desarrollo Agropecuario

Los datos recabados 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 en tiempo de la cosecha, peso del grano, número de mazorcas con mala cobertura y % de humedad del grano en el momento de la cosecha. Adicionalmente, se midieron variables cualitativas, tales como: aspecto de planta y mazorcas (escala de 1 a 5), textura de grano en escala 1 a 4 (1 cristalino y 4 grano dentado), enfermedades al follaje: **Curvularia maydis**, **Bipolaris maydis**, **Exserohilum turcicum** con escala 1 a 5, donde 1 indica ausencia de enfermedad y 5 infección muy severa. La evaluación de enfermedades se efectuó entre los 70 y 80 dds del cultivo.

Se realizó 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:

$$h^2 = \frac{\sigma_{genotipo}^2}{\sigma_{genotipo}^2 + \sigma_{error}^2}$$

e elaboró 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. Para el cálculo de la repetitividad en el análisis combinado se utilizó la fórmula descrita por Vargas et al. (2013) de la siguiente manera:

$$h^2 = \frac{\sigma_{genotipo}^2}{\sigma_{genotipo}^2 + \sigma_{error}^2}$$

El rendimiento de grano de cada híbrido fue normalizado por medio del proceso de estandarización o normalización $(X_i - \mu) / d$, donde X_i es el rendimiento del híbrido de interés, μ es la media general y d 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 para 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), el cual 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. Para estimar la adaptabilidad y estabilidad de los híbridos en los ambientes evaluados se usó el modelo Biplot GGE-SReg (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 caso de una sola aplicación, la misma se hizo 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 (tabla 2). Todas las localidades registraron lluvias por encima de los 500 mm, con excepción de las localidades de El Ejido y Guararé, donde se registraron menos de 420 mm en las siembras realizadas. Casi todas las localidades presentaron registros por encima de los 75 mm en el período de 0 a 30 dds, lo que 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 52.6 mm, muy por debajo, de los 250 mm requeridos para reducir el estrés hídrico. En la mayoría de las localidades, el registro de las lluvias después de los 80 días se presentó por debajo de los 50 mm (excepto El Ejido E y Llano Abajo) lo que induce a una reducción del rendimiento de grano (Gordón et al., 2016; Gordón et al., 2004). El comportamiento de las lluvias después de los 80 días en las localidades estuvo relacionado con la fecha de siembra. Las siembras después del 15 de septiembre presentaron los registros más bajos.

TABLA 2
Fecha de siembra y precipitación pluvial de los ensayos en las localidades de Azuero, Panamá, 2017

Localidad	Fecha siembra	0 a 10	10 a 20	20 a 30	Sub total	30 a 40	40 a 50	Sub total	50 a 60	60 a 70	70 a 80	Sub total	80 a 90	90 a 100	Sub total	Total
El Ejido E	25-ago	0.4	1.4	16.4	18.2	33.8	11.8	45.6	63.6	7.4	59.4	130.4	87.4	39.4	126.8	321.0
El Salaito	30-ago	49.7	17.3	21.9	88.9	162.9	90.2	253.1	53.0	116.4	37.4	206.8	11.3	0.0	11.3	560.1
Guararé	04-sep	42.3	39.0	46.0	127.3	16.5	89.0	105.5	30.0	88.0	41.3	159.3	15.0	11.3	26.3	418.3
Llano Abajo	04-sep	34.0	18.0	24.0	76.0	15.0	85.0	100.0	20.2	111.0	175.0	306.2	71.0	26.0	97.0	579.2
Nuevo Ocu	06-sep	110.3	106.7	145.1	362.1	33.0	209.3	242.3	59.0	156.9	69.2	285.1	34.9	7.0	41.9	931.4
Pocri	08-sep	83.7	101.5	145.1	330.3	76.1	188.2	264.3	37.0	226.1	31.9	295.0	5.0	5.0	10.0	899.6
La Colorada	12-sep	52.0	110.0	64.0	226.0	72.0	132.0	204.0	106.0	266.0	198.0	570.0	40.0	0.0	40.0	1040.0
Destiladeros	19-sep	68.0	119.6	87.2	274.8	265.5	18.2	283.7	206.0	57.0	147.0	410.0	15.0	0.0	15.0	983.5
Pedasi	21-sep	71.7	109.5	101.3	282.5	268.6	1.0	269.6	206.0	91.0	128.0	425.0	0.0	15.0	15.0	992.1
El Ejido L	05-oct	11.8	69.4	21.8	103.0	77.2	49.4	126.6	39.4	13.2	0.0	52.6	25.6	0.0	25.6	307.8

Datos de lluvia del Proyecto Red Agroclimática del IDIAP

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis de repetitividad

De acuerdo con el análisis estadístico de todas las localidades el valor de la repetitividad (h₂) por ensayo fue superior a 0.30 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 observan 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 0.17 a 0.72 indicando la precisión de los ensayos individuales de según 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, 2017

Localidad	S2 Repetición	S2 Blk(Rep)	S2 Híbrido	S2 Residuo	DMS/Rango	h^2	C.V. (%)
1. El Ejido E	0.064	0.144	0.105	0.569	0.72	0.36	9.5
2. El Salaito	0.071	0.169	1.000	2.018	0.45	0.60	17.5
3. Guararé	0.272	0.136	1.092	0.490	0.30	0.87	8.7
4. Llano Abajo	0.000	0.045	0.565	0.147	0.22	0.92	5.2
5. Nuevo Ocu	0.104	0.000	1.916	0.427	0.26	0.93	7.9
6. Pocrí	0.000	0.086	1.506	0.328	0.23	0.93	7.1
7. La Colorada	0.084	0.096	0.445	0.093	0.17	0.93	5.2
8. Los Destiladeros	0.004	0.333	0.806	0.294	0.30	0.89	6.9
9. Pedasi	0.000	0.123	0.299	0.680	0.45	0.57	16.7
10. El Ejido L	0.000	0.034	0.045	0.064	0.48	0.68	16.0

Datos generados por los autores

3.2. Análisis de varianza combinado

El análisis de varianza combinado del rendimiento y de algunas características agronómicas de las diez localidades consideradas en 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. Según el análisis de varianza del rendimiento, el ambiente capturó el 75% de la suma de cuadrados total del experimento. Por su parte, los genotipos capturaron el 9.0% 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 de la Prueba Regional de maíz del IDIAP, Azuero, Panamá, 2017

F. de V	Rend	Flor	Alpt	Almz	Ptm-2	Mzm-2	Mzpt-1	PMz	Pod	Acat	Cob
Genotipo**	0.503	0.827	82.8	10.7	0.025	0.057	0.001	86.7	0.2	40.6	2.59
Ambiente**	4.580	4.385	126.0	82.3	0.097	0.086	0.001	1274.6	957.2	60.9	0.00
Gen x Amb**	0.290	0.284	12.3	1.9	0.053	0.066	0.000	53.4	0.4	42.2	1.19
Residuo	0.500	0.850	59.0	44.1	0.239	0.227	0.034	82.6	3.9	91.8	8.00
h^2	0.917	0.94	0.96	0.87	0.66	0.80	0.33	0.91	0.56	0.85	0.87
DMS/Rango	0.26	0.17	0.16	0.25	0.39	0.33	0.42	0.24	0.47	0.25	0.29
C.V. (%)	10.4	1.8	3.5	6.0	7.6	7.7	19.0	8.2	17.4	72.6	53.3

Datos generados por los autores

Tabla 4 **= diferencias estadísticas con probabilidad menor al 1% Rend= Rendimiento de grano, Flor= Floración femenina, Alpt= Altura de planta, Almz= Altura de mazorcas, Ptm-2= Plantas/m², Mzm-2= Mazorcas/m², MzPt-1= Mazorcas por planta, PMz = Peso de mazorcas, Pod= % de mazorcas podridas, Acat=% plantas acamadas de tallo, Cob = % Mazorcas con mala cobertura

Con relación al 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 El Ejido, Guararé, Llano Abajo, Nuevo Océ, Pocrí y Los Destiladeros (Grupo Ambiental A). En el segundo grupo se ubicaron los ensayos sembrados en El Salaíto, La Colorada y Pedasí (Grupo Ambiental B). La siembra tardía en El Ejido L se comportó distinta a estos dos grupos y no aparece registrada en la figura 1. En este análisis las localidades se agrupan en varios grupos generales; de modo similar a los grupos identificados del análisis Biplot-GGE-SReg.

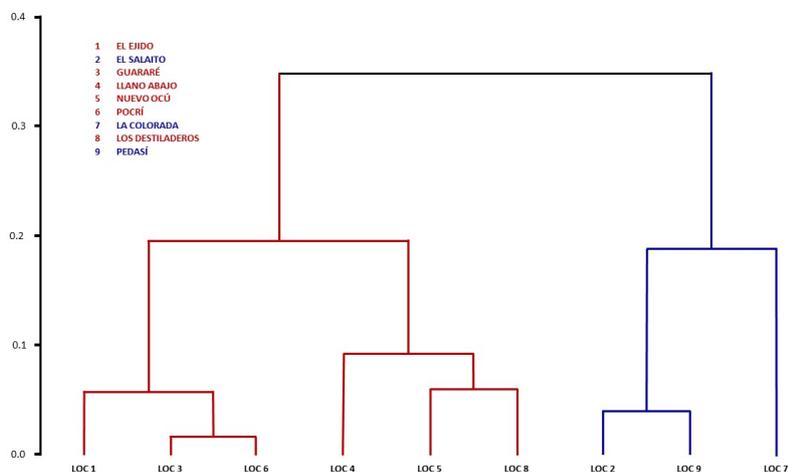


FIGURA 1
Dendrograma del análisis de conglomerados de las 10 localidades del ensayo de híbridos de la Prueba Regional de maíz, Azuero, Panamá, 2017
Datos generados por los autores

3.3 Efecto de ambientes

La media del rendimiento en las localidades del Grupo A (7.93 tha-1) fue superior al Grupo B (6.32 tha-1). Con relación al rendimiento de grano, el mayor promedio se obtuvo en las localidades de El Salaíto y Pocrí; mientras que, el más bajo se obtuvo en la siembra tardía de El Ejido en Los Santos con medias de 8.11 y 1.58 tha-1, respectivamente. El rendimiento promedio a través de las 10 localidades fue de 6.81 tha-1. El porcentaje de plantas acamadas de tallo fue bajo en casi todas las localidades, con excepción de la siembra temprana en Guararé, Pedasí y Pocrí, cuyo porcentaje de acame fue superior al 19%. A estas localidades le siguió Nuevo Océ, La Colorada y El Ejido E con porcentajes de acame superior al 10%. A pesar de las lluvias extemporáneas caídas a final de diciembre y a principio de enero, el porcentaje de mazorcas podridas reportado fue bajo con medias menores al 3.0%. En la siembra tardía de El Ejido, se presentó 99.4% de mazorcas con polinización deficiente debido a factores aún no determinados (figura 2). El ensayo con menor número de plantas en la cosecha se dio en Nuevo Océ con poblaciones menores a 6.00 plantas por metro cuadrado al momento de la cosecha. En todas las localidades se obtuvo más de 0.95 mazorcas por planta, con excepciones en El Ejido L y Pedasí. Las plantas con mayor altura promedio se registraron en Guararé (244 cm); mientras que, las más bajas (205 cm) se presentaron en El Ejido L y Llano Abajo. El porcentaje general de mazorcas con mala cobertura fue bueno registrándose menos del 3% de mazorcas descubiertas (tabla 5).



FIGURA 2
Dos híbridos del ensayo sembrado en fecha tardía en El Ejido
mostraron mal llenado de grano debido a la deficiente polinización

Fotos tomadas por el Proyecto de Maíz de IDIAP

TABLA 5
Medias ajustadas del rendimiento de grano y otras variables tomadas del Ensayo de Híbridos
de la Prueba Regional, según localidades y grupos, de acuerdo con el análisis de Ward, 2017

	Rend (t ha-1)	Flor (días)	Alpt (cm)	Almz (cm)	Ptm-2	Mzm-2	Mz Pt-1	PMz (g)	Pud (%)	Acat (%)	Enf (1-5)	Aspt (1-5)	Asmz (1-5)	Cob (%)	Pomz
El Ejido E	7.93	54	211	109	6.63	6.44	0.97	123	2.1	13.5	1.6	2.7	3.0	2.2	0.52
Guararé	8.00	52	244	130	6.48	6.30	0.97	127	1.2	22.7	3.2	2.9	2.7	1.7	0.54
Llano Abajo	7.34	51	205	97	6.69	6.63	0.99	111	1.1	8.1	2.6	2.7	2.7	1.2	0.48
Nuevo Ocuí	8.31	51	217	112	5.62	5.54	0.99	151	0.8	14.5	2.1	2.7	2.7	1.7	0.52
Pocri	8.11	51	223	116	6.29	6.13	0.98	133	0.6	19.2	2.2	2.8	2.7	2.1	0.52
Los Destiladeros	7.92	49	224	112	6.69	6.35	0.95	125	1.2	5.2	2.8	2.8	2.8	2.1	0.50
Promedio A	7.93	51	221	113	6.40	6.23	0.98	128	1.2	13.9	2.4	2.8	2.7	1.8	0.51
El Salaito	8.11	54	211	107	6.18	6.06	0.98	133	1.9	2.7	2.4	2.7	2.9	2.4	0.51
La Colorada	5.92	52	218	111	6.52	6.41	1.04	92	3.0	17.2	1.9	2.8	3.0	1.3	0.51
Pedasi	4.92	52	214	107	6.59	6.00	0.91	82	2.3	25.7	2.0	2.9	3.1	1.9	0.50
Promedio B	6.32	52	214	109	6.43	6.16	0.98	102	2.4	15.2	2.1	2.8	3.0	1.9	0.51
El Ejido L	1.58	57	205	99	6.50	6.02	0.93	26	--	3.1	1.9	2.8	4.3	2.0	0.48
Promedio General	6.81	52	217	110	6.42	6.19	0.97	110	1.6	13.2	2.3	2.8	3.0	1.8	0.51

Datos generados por los autores

Tabla 5 Rend= Rendimiento de grano, Flor= Floración femenina, Alpt= Altura de planta, Almz= Altura de mazorcas, Ptm2= Plantas/m-2, Mzm-2= Mazorcas/m2, MzPt-1= 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 tres grupos ambientales definidos se puede observar en la tabla 6. El testigo con mayor área sembrada en la región de Azuero (30F-35) presentó un rendimiento promedio en las diez localidades de 6.94 tha-1. De todos los híbridos evaluados, diez sobrepasaron la media general de las diez localidades, sobresaliendo de manera significativa los híbridos: P-4028 W, P-4039 y P-4226, con medias superiores 7.90 tha-1. Estos mismos híbridos superaron estadísticamente al testigo 30F-35 en más del 15%. Les siguieron a este primer grupo de híbridos, los híbridos ADV-9779, ADV-9789, ADV-9293, ADV-9022 y SV-3243, con rendimientos superiores al testigo y a la media general (6.81 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-1035 con media de 5.92 tha-1. En las localidades del Grupo A, el rendimiento más alto se obtuvo en los híbridos P-4028W y P-4226 (9.39 tha-1) seguido por los híbridos P-4039 y ADV-9779 con 9.22 y 9.10 tha-1, respectivamente. En el Grupo B, el mayor rendimiento se obtuvo con el híbrido P-4039 seguido del P-4028W y P-4039. En la localidad El Ejido L sobresalió por su mejor rendimiento el SYN-730 y ADV-9293, los cuales fueron los menos afectados por el problema de la deficiente polinización que se presentó en esta localidad.

TABLA 6
Medias ajustadas del rendimiento de grano, de los híbridos evaluados y su comportamiento versus el testigo de mayor área sembrada en el país, Azuero, Panamá, 2017

Híbridos	Rendimiento (tha-1)				% sobre 30F-35 (TL)			
	10 loc	Gr-A	Gr-B	Ejido L	10 loc	Gr-A	Gr-B	Ejido L
1. P-4028W	8.21	9.39	8.05	1.58	18	14	31	12
2. P-4039	8.02	9.22	7.86	1.30	16	12	28	-8
3. P-4226	7.97	9.39	7.27	1.80	15	14	18	27
4. ADV-9779	7.57	9.10	6.56	1.33	9	10	7	-6
5. ADV-9789	7.53	8.89	6.73	1.65	9	8	9	17
6. ADV-9293	7.26	8.68	6.23	1.98	5	5	1	40
7. ADV-9022	7.08	8.65	5.94	1.22	2	5	-4	-13
8. SV-3243	7.01	8.00	6.92	1.67	1	-3	12	18
9. 30F-35 (Testigo)	6.94	8.24	6.16	1.41	0	0	0	0
10. P-4082W	6.84	7.80	6.66	1.45	-1	-5	8	3
11. SV-292	6.52	7.52	6.18	1.64	-6	-9	0	16
12. SV-2104	6.42	7.28	6.34	1.33	-7	-12	3	-6
13. SYN-750	6.30	7.39	5.44	1.98	-9	-10	-12	40
14. NB-7253	6.24	7.14	6.13	1.13	-10	-13	0	-20
15. IMPACTO	6.24	7.15	6.01	1.23	-10	-13	-2	-13
16. SYN-730	6.20	7.26	5.54	2.01	-11	-12	-10	43
17. SV-3245	6.04	6.70	6.10	1.87	-13	-19	-1	33
18. ADV-9339	6.03	6.99	5.57	1.57	-13	-15	-10	12
19. ADV-9139	5.93	7.09	5.05	1.87	-15	-14	-18	33
20. SV-1035	5.92	6.88	5.56	1.54	-15	-17	-10	0

Datos generados por los autores

En cuanto a la población de plantas al momento de la cosecha, los valores oscilaron entre 5.87 y 6.69 plantas cosechadas, siendo el ADV-9139 el híbrido con el menor número de plantas al momento de la cosecha con 5.87 plantas m⁻². El híbrido SV-3245 presentó la más alta susceptibilidad a la pudrición de mazorcas con porcentaje de 3% en el promedio de todas las localidades. Por otro lado, los híbridos P-4226 y ADV-9789 mostraron el menor porcentaje de mazorcas podridas con tan solo 0.5 y 0.7%. Todos los híbridos exhibieron

una alta prolificidad de mazorcas por planta con valores muy cercanos a una mazorca por planta. Todos los híbridos fueron muy similares en floración femenina, con valores entre 51 y 53 dds. Con respecto a la altura de planta, el híbrido de menor estatura fue el ADV-9339 con 199 cm. Las medidas de la altura de la mazorca variaron entre 103 a 114 cm, siendo el mismo híbrido con la posición más baja de esta característica.

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 SV-3245 con una puntuación de 3.3. Con relación al acame de tallo, el porcentaje promedio fue de 13.2%, siendo los híbridos SYN-750 y SV-292 los de menor porcentaje de acame (7.4 y 7.9%), respectivamente. Por otro lado, SV-3245 fue el de mayor porcentaje con valores superiores al 35%. Todos los híbridos presentaron un bajo porcentaje de punta de la mazorca descubierta, pero el SV-292 con 6% fue el que más alto valor promedio presentó. Todos los híbridos tuvieron una relación altura de mazorca sobre altura de planta cercana o menor al 50%, indicando una buena característica agronómica. Referente al Rendimiento normalizado, los tres híbridos más rendidores estuvieron por encima de 0.90 valor de Z representando un rendimiento superior al 15% de la media general del ensayo. La gran mayoría de los híbridos de grano amarillo presentaron una puntuación cercana a 1.0 con respecto a la textura, lo que indica que son considerados cristalinos coincidiendo con la textura preferida en el mercado de maíz de Panamá. Los híbridos de grano blanco P-4028W y P-4082W, así como el 30F-35 y SV-3245 son de grano Semi-Dentados (calificación de textura de 3.0). En consideración al porcentaje de desgrane, sobresalieron los cuatro híbridos de la casa Advanta: ADV-9779, ADV-9789, ADV9339 y ADV-9139, con medias superiores al 90%. También destacan con esta característica, los híbridos SYN 730, SYN-750, ADV-9022 y ADV-9293, con media superior al 86%.

TABLA 7
Medias ajustadas de las variables agronómicas medidas en los 20 híbridos
evaluados en el ensayo regional, combinado 10 localidades, Azuero, Panamá, 2017

Híbridos	RNi	Flor M (días)	Flor F (días)	Alpt (cm)	Almz (cm)	Ptm-2	MzPt-1	PMz (g)	Pud (%)	Acat (%)	Enf (1-5)	Aspt (1-5)	Asmz (1-5)	Cob (%)	Pomz	Text (1-4)	Desg (%)
1. P-4028W	1.11	51	53	231	114	6.55	0.98	129	1.8	8.2	2.5	2.8	2.9	1.4	0.49	3.1	85
2. P-4039	0.94	50	52	226	114	6.69	0.98	122	1.6	11.1	2.5	2.9	2.8	4.3	0.51	1.2	86
3. P-4226	1.11	50	51	231	117	6.68	0.98	123	0.7	9.1	2.7	3.0	2.8	0.2	0.51	1.0	83
4. ADV-9779	0.50	51	53	213	109	6.52	0.97	120	1.1	19.9	1.9	2.8	2.9	1.0	0.51	1.0	90
5. ADV-9789	0.63	49	51	212	107	6.50	0.97	120	0.5	12.7	2.1	2.6	2.7	1.1	0.50	1.0	91
6. ADV-9293	0.48	51	53	211	108	6.35	0.95	121	1.0	10.2	2.2	2.7	2.7	1.2	0.51	1.0	87
7. ADV-9022	0.14	53	55	210	110	6.36	0.94	117	1.9	13.6	2.0	2.8	2.8	0.3	0.52	1.0	88
8. SV-3243	0.23	49	51	217	110	6.41	1.13	109	1.3	17.0	2.6	2.9	3.0	0.2	0.51	1.0	84
9. 30F-35	0.05	50	52	230	109	6.53	0.97	110	2.0	12.1	2.3	2.6	3.1	3.9	0.47	3.0	86
10. P-4082W	0.04	51	53	223	113	6.29	0.96	113	2.4	10.2	2.3	2.9	3.1	2.1	0.51	2.9	85
11. SV-292	-0.20	49	51	224	112	6.52	0.98	103	2.5	7.9	2.2	2.8	3.1	6.0	0.50	1.0	84
12. SV-2104	-0.37	49	52	221	114	6.18	0.97	109	1.3	16.2	2.6	2.9	3.1	0.4	0.52	1.0	84
13. SYN-750	-0.35	50	52	217	109	6.50	0.95	101	1.0	7.4	2.2	2.8	3.0	2.0	0.50	1.1	88
14. NB-7253	-0.57	51	53	208	107	6.52	0.96	99	0.9	18.2	1.6	2.6	3.1	0.6	0.52	1.6	86
15. IMPACTO	-0.57	51	53	207	106	6.52	0.99	97	1.4	17.9	1.7	2.7	3.1	0.6	0.52	1.6	86
16. SYN-730	-0.48	50	52	219	110	6.48	0.95	101	1.5	8.0	2.1	2.8	2.9	3.6	0.50	1.1	89
17. SV-3245	-0.63	49	51	220	115	6.43	0.99	96	3.0	37.6	3.3	3.0	3.1	1.3	0.52	2.6	85
18. ADV-9339	-0.70	50	52	199	103	6.47	0.90	104	1.5	8.0	2.2	2.7	3.0	0.5	0.52	1.1	90
19. ADV-9139	-0.66	51	53	201	108	5.87	0.95	110	2.5	10.5	2.1	2.7	2.9	1.3	0.54	1.0	91
20. SV-1035	-0.70	49	51	221	109	6.05	0.97	104	2.1	8.4	2.2	2.8	3.1	4.8	0.49	1.0	82
Promedio		50	52	217	110	6.42	0.97	110	1.6	13.2	2.3	2.8	3.0	1.8	0.51	1.5	86
DMS5%	0.49	1	1	5	4	0.32	0.09	8	1.2	7.4	0.3	0.1	0.1	1.7	0.02	0.3	
h2	0.92	0.94	0.94	0.96	0.87	0.66	0.33	0.91	0.56	0.85	0.94	0.85	0.88	0.87	0.82	0.98	
DMS/Rango	0.27	0.16	0.17	0.16	0.25	0.39	0.42	0.24	0.48	0.25	0.15	0.30	0.30	0.29	0.25	0.16	
C.V. (%)		1.7	1.8	3.5	6.0	7.6	19.0	8.2	123	72.6	12.8	8.6	8.4	153	6.2	25.6	

Datos generados por los autores

Tabla 7 RNi= Rendimiento de grano normalizado, Flor M= Floración Masculina, Flor F= Floración femenina, Alpt= Altura de planta, Almz= Altura de mazorcas, Ptm2= Plantas/m-2, Mzm-2= Mazorcas/m2, MzPt-1= 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 el valor de los dos ejes principales de la interacción genotipo-ambiente, obtenidos a través del modelo Biplot GGE-SReg. El resultado de este análisis indicó que los dos primeros ejes (PCA) explicaron el 81.7% de la interacción genotipo ambiente con tan solo el 28.9% de los grados de libertad. El PCA-1 explicó el 71.9 %; mientras que, el PCA-2 fue responsable del 9.8% 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, 2017

F de V.	g.l.	Suma de Cuadrados Tipo IV	Cuadrados Medios	Probabilidad F
AMB	9	2491.81	276.87	0.001
GEN	19	317.49	16.71	0.001
GEN x AMB	171	240.94	1.41	0.001
PCA-1	27	401.43	14.87	0.001
PCA-2	25	54.76	2.19	0.001
Residuo	128	102.24	0.80	

Datos generados por los autores

En la tabla 9 se presentan las puntuaciones Biplot GGE-SReg, tanto de los 20 genotipos como de los 10 ambientes, los cuales presentan diferentes patrones de interacción. Según las puntuaciones de los ejes PCA-1 y PCA-2, los híbridos 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 de 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 el ADV-9779, ADV-9789 y 30F-35. Yan et al. (2000) plantea que, al graficar las puntuaciones de ambos ejes principales, se forma un polígono con los híbridos que quedan en la parte externa de la figura, los cuales fueron: P-4028W, P-4226, ADV-9022, SYN-750, ADV-9193, SV-1035, SV-3245 y P-4028W. Los híbridos localizados en los vértices se consideran 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, 2017

Híbridos	Abrev.	Puntuación PCA1	Puntuación PCA2	Localidades	Abrev.	Grupo Ambiental	Puntuación PCA1	Puntuación PCA2
1. ADV-9789	PAC	0.754	-0.325	El Ejido E	EEE	A	0.575	0.092
2. ADV-9779	PER	0.962	-0.321	El Salaito	SAL	B	1.293	1.624
3. ADV-9339	A93	-0.768	-0.024	Guararé	GUA	A	1.366	-0.209
4. ADV-9139	A91	-0.938	-0.378	Llano Abajo	LLB	A	0.876	-0.107
5. ADV-9022	A90	0.420	-0.767	Nuevo Ocu	NOC	A	1.628	-1.054
6. ADV-9293	A92	0.400	-0.580	Pocri	POC	A	1.562	-0.139
7. SV-1035	S35	-0.990	-0.057	La Colorada	COL	B	0.617	0.213
8. SV-2104	S04	-0.467	0.475	Destiladeros	DES	A	1.026	-0.301
9. SV-292	S92	-0.316	-0.101	Pedasi	PED	B	0.636	0.512
10. SV-3243	S43	0.115	0.503	El Ejido L	EEL	C	-0.058	-0.203
11. SV-3245	S45	-0.849	0.368					
12. 30F-35	F35	0.162	-0.322					
13. P-4226	P26	1.135	-0.527					
14. P-4039	P39	1.236	0.639					
15. NB-7253	NB5	-0.560	0.479					
16. SYN-730	SY30	-0.564	-0.084					
17. IMPACTO	IMP	-0.572	0.237					
18. SYN-750	SY50	-0.558	-0.586					
19. P-4028W	P28	1.455	0.722					
20. P-4082W	P82	-0.059	0.649					

Datos generados por los autores

Con respecto a la interacción genotipo ambiente, la figura 3 muestra los híbridos que mejor se comportaron en cada uno de los grupos ambientales, de acuerdo a la posición o cercanía de cada grupo a la que se encuentran. La figura 2, muestra que Nuevo Ocú y Pocrí en el Grupo A y El Salaíto en el Grupo B fueron los ambientes que mejor discriminaron los genotipos.

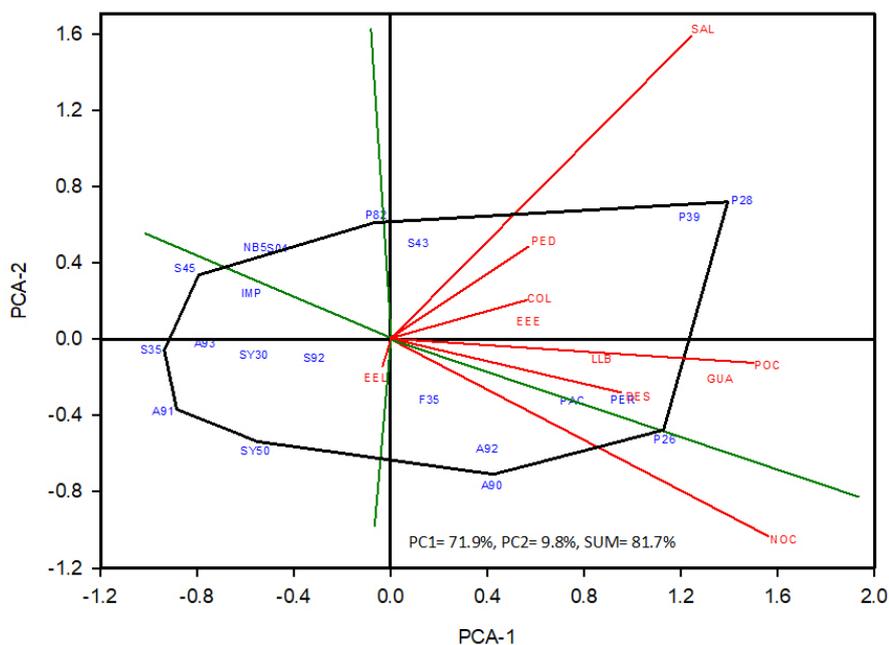


FIGURA 3
Puntuaciones del primer y segundo eje del componente principal de 20 híbridos de maíz grano blanco en 10 localidades de Azuero, Panamá, 2017 (Biplot GGE-SReg)
Datos generados por los autores

4. CONCLUSIONES

- Los híbridos P-4028W, P-4039 y P-4226 sobresalieron por su alto rendimiento, buenas características agronómicas y rendimientos superiores a las 7.90 tha-1. A este grupo le siguieron los híbridos ADV-9779, ADV-9789, ADV-9293, ADV-9022 y SV-3243 con rendimientos superiores a la media general.
- Debido al buen comportamiento de las lluvias en este año agrícola, se obtuvieron buenos rendimientos de manera general en todas las localidades, con excepción de la siembra realizada de manera tardía en El Ejido.
- El análisis Biplot GGE-SReg no identificó ningún material como estable y altos rendimientos a través de todas las localidades; por el contrario, se identificaron híbridos con buena adaptabilidad en los dos grupos de localidades agrupadas por este análisis.

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

Camargo, I., Gordón, R., Franco, J., y González, A. (2004). Interpretación de la interacción genotipo-ambiente y Confiabilidad de la respuesta de 5 híbridos de maíz en 30 ambientes de Azuero, Panamá, 2001 –2003. *IDIAP, Ciencia Agropecuaria*, 16, 1-16

- Camargo, I., Gordón, R., y Fuentes, M. (2003). Estabilidad y confiabilidad de los nuevos híbridos de maíz en comparación al testigo regional HB-83, 1998-2000. *Agronomía Mesoamericana*, 14(2), 129-134.
- Crossa, J. (1990). Statistical analysis of multi-location trials. *Advances in agronomy*, 44, 55-85.
- Crossa, J., Gauch, H.G., y R.W. Zobel, R.W. (1990). Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop. Sci.*, 30, 493-500
- Crossa, J., P.N. 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.
- 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 Mendoza, R., Franco, J.E., Núñez, J.I., Sáez, A.E. y Jaén, J.E. (2017). Adaptabilidad de 20 híbridos de maíz a las condiciones agroclimáticas de la zona maicera de la Región de Azuero, Panamá, 2016. *Visión Antataura* 1(2), 1-17.
- Gordón Mendoza, R., Franco Barrera J.E., y Camargo Buitrago, I. (2016). Impacto de la tecnología generada en el cultivo de maíz para la Región de Azuero. *Ciencia Agropecuaria*, 24, 1-18
- 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. Panamá: IDIAP
- Gordón, R., Camargo, I., Franco, J., y A. González, A. (2006). Evaluación de la adaptabilidad y estabilidad de 14 híbridos de maíz, Azuero, Panamá. *Agronomía Mesoamericana*, 17(2), 189-199.
- Gordón, R., Camargo, I., Franco, J., y A. González, A. (2004). Impacto de la Precipitación Pluvial en el Rendimiento de Grano de Maíz en la Región de Azuero, Panamá, 1995-2003. II. Análisis del Rendimiento y su Relación con la Época de Siembra. IDIAP, *Ciencia Agropecuaria*, 16, 31-44.
- 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 Szlavnic, 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