

EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE VARIEDADES DE MAÍZ PARA SISTEMAS DE AGRICULTURA FAMILIAR DE PANAMÁ, 2017-2019¹

*Román Gordón-Mendoza²; Jorge E. Franco-Barrera³; Jorge I. Núñez-Cano³;
Ana E. Sáez-Cigarruista³; Francisco P. Ramos-Manzané⁴; Jorge E. Jaén-Villarreal³;
Félix M. San Vicente-García⁵*

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la adaptabilidad y estabilidad de variedades de maíz amarillo de grano normal y alta calidad proteica, se sembraron ensayos en treinta localidades de Panamá. Estos mismos ensayos fueron sembrados en campos de agricultores colaboradores y en la Estación Experimental de El Ejido del IDIAP durante tres años (2017-2019). El primer año se evaluaron 12 variedades luego se redujeron a 10 y finalmente en el 2019 se evaluaron las seis mejores variedades. Se utilizó el diseño experimental Alfa Láctice con tres repeticiones el cual varió a través de años. A los datos obtenidos se les aplicó un análisis de varianza combinado tipo REML y las medias fueron separadas utilizando la Diferencia Mínima Significativa. El análisis de varianza individual por año y combinado a través de años mostró diferencias altamente significativas entre las distintas variedades evaluadas para la variable rendimiento de grano y otras características agronómicas. El análisis mostró que, al reducir el número de variedades, la varianza entre genotipos se redujo, mientras que la varianza entre ambientes aumentó. Al segundo año de estudio se seleccionó la variedad de grano de alta calidad proteica S16LTYQHAB05 como la mejor entre estos genotipos. Después de tres años, el testigo IDIAP-MV-1102 tuvo un rendimiento de 5,49 t·ha⁻¹, y el mismo fue superado en más del 15% por el sintético S10TLYNGSHGAB01 con rendimiento de 6,39 t·ha⁻¹. El análisis Biplot GGE-SReg identificó a este último como el más estable a través de las localidades. El análisis de la confiabilidad de la respuesta normalizada, indicó que en ocho de cada diez localidades el S10TLYNGSHGAB01 superó al genotipo testigo nacional. De acuerdo a los resultados de esta investigación, se concluye que estas dos variedades cumplen con los requisitos para ser registradas, y se podría recomendar que los utilicen los agricultores de la República de Panamá.

Palabras claves: Estabilidad, Biplot GGE-SReg, confiabilidad de la respuesta normalizada, QPM, grano normal.

¹ Recepción: 25 de junio de 2020. Aceptación: 21 de septiembre de 2020. Investigación realizada con fondos del Proyecto "Generación de variedades e híbridos de maíz" del DIAP

² Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), M.Sc. e-mail: gordon.roman@gmail.com

³ Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), M.Sc.

⁴ Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Ing. Agrónomo.

⁵ Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Ph.D.



EVALUATION AND SELECTION OF MAIZE VARIETIES FOR FAMILIAR FARMING SYSTEMS, PANAMA 2017-2019

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the adaptability and stability of high-quality protein maize (QPM) yellow maize varieties, planted across thirty locations in Panama. They were planted in collaborating farmers' fields and in the IDIAP Experimental Station of El Ejido during three years (2017-2019). The first year, 12 varieties were evaluated, then they were reduced to 10, and finally, in 2019, the six best varieties were evaluated. It was used The Alpha Lattice experimental design with three repetitions, which varied through years. A combined analysis of variance type REML was calculated to the data and the means were separated using the Minimum Significant Difference. The analysis of variance per year and combined through years showed highly significant differences between the varieties evaluated for grain yield and other agronomic traits. The analysis showed that, by reducing the number of varieties, the variance between genotypes decreased, while the variance between environments increased. In the second year of the study, the QPM variety S16LTYQHAB05 was selected as the best among these genotypes. After three years, the control IDIAP-MV-1102 had a yield of $5,49 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, and it was surpassed by more than 15% by the synthetic S10TLYNGSHGAB01 with a yield of $6,39 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. The Biplot GGE-SReg analysis identified the latter as the most stable across locations. The analysis of the reliability of the normalized response indicated that in eight out of ten locations the S10TLYNGSHGAB01 outperformed the national control genotype. Registration of the two varieties is recommended for farmers' use in the Republic of Panama.

Key words: Stability, Biplot GGE-SReg, Reliability normalized response, QPM, normal grain.

INTRODUCCIÓN

En Panamá se consumen anualmente cerca de medio millón de toneladas de maíz de grano amarillo. En el país se producen en promedio 89,000 toneladas y el resto son importadas. El 12% del grano que se comercializa en el país, es para el consumo humano, en tanto que el 88% restante, es dedicado a la producción de alimentos para animales en forma de piensos. En Azuero se produce el 80% del maíz nacional, en un área cercana a las 15 mil hectáreas; el resto es producido en todo el país. Una parte de la producción comercial procede de los sistemas altamente tecnificados que utilizan semilla de híbridos simples. La otra parte del grano comercializado, resulta de los productores con tecnología intermedia y agricultura campesina que utilizan semilla de variedades de polinización



©2020 Ciencia Agropecuaria es desarrollada en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escribir a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa

abierta. Estos últimos se encuentran ubicados a lo largo de todo el país y representan un gran porcentaje de habitantes de las zonas rurales del país.

Ambos sistemas de producción se han desarrollado bajo un clima adverso con baja precipitación pluvial, la cual ha sido característico en todas las provincias del país en la última década. 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. Reportes de investigaciones recientes, incluyendo estudios de modelación, señalan que el impacto del calentamiento global podría causar significativas disminuciones en el rendimiento de maíz y otros cultivos en los próximos años (Ruane et al., 2013; Srivastava et al., 2018; Kogo et al., 2019). El desarrollo de nuevos cultivares que mitiguen el efecto de la sequía y mejoren la eficiencia del cultivo producirá beneficios económicos para los agricultores al reducir el impacto de la sequía y otros problemas abióticos.

El Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT) como parte del CGIAR (Consortium of International Agricultural Research Centers) genera variedades sintéticas de maíz que distribuye a muchos países a nivel de los cinco continentes. Estas variedades están dirigidas a productores de agricultura familiar tradicional o de bajos insumos, que siembran en entornos de secano con presencia de estrés hídrico por distribución irregular de las lluvias. Los ensayos en ambientes múltiples son muy importantes en los programas de mejoramiento del cultivo para estudiar la estabilidad del rendimiento de los distintos cultivares a través de los mismos.

Uno de los propósitos de la evaluación de genotipos a través de ambientes, es identificar localidades de prueba que discriminen de manera efectiva genotipos superiores para un Mega ambiente. Una localidad de prueba "ideal" debería ser tanto discriminatorio de los genotipos como representativo del Mega ambiente (Yan et al., 2007). Las diferentes respuestas de los genotipos en los distintos ambientes son conocidas como la Interacción Genotipo-Ambiente (IGA). Existen muchos modelos que miden esta interacción (Eberhart y Russell, 1966; Crossa et al., 1991; Yan y Rajcan, 2002), pero todos buscan interpretar como interaccionan los genotipos en los distintos ambientes evaluados. El modelo GGE SReg es un modelo multiplicativo que absorbe los efectos principales de los genotipos más la



interacción ambiental, que son los dos factores importantes en la selección de variedades (Yan et al., 2000; Yan y Tinker, 2006). Los Biplots GGE utilizan los efectos primarios y secundarios del análisis de regresión de sitio (SReg) y son útiles en el análisis de los mega ambientes, los entornos de prueba y la evaluación de genotipos (Yan et al., 2007). El modelo SReg se basa en un modelo similar al de AMMI, pero los términos lineales de genotipos no son considerados de manera individual. Si no, que se adicionan al término multiplicativo de la interacción Genotipo Ambiente. El SReg es un método útil para la agrupación de ambientes con interacción no opuesta, es decir, ordenamiento sin cambio de genotipos en ambientes que conforman un grupo (Cornelius y Crossa, 1999; Yan et al., 2000). En este método se realiza una estandarización usando el error estándar de la media de cada cultivar dentro de ambientes (Cornelius y Crossa, 1999); además, permite la representación simultánea de la variabilidad de genotipos y ambientes, basada en el análisis de componentes principales (Yan et al., 2000). El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la adaptación de variedades de maíz de grano normal y alta calidad proteica con grano de color amarillo en diferentes ambientes de Panamá. Un segundo objetivo fue el de determinar la interacción de los genotipos con los diferentes ambientes, para identificar variedades superiores, con buena estabilidad de rendimiento y adaptabilidad específica en los ambientes evaluados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localidades y Material Genético

Múltiples ensayos (30) fueron sembrados en distintas localidades distribuidas estratégicamente en el país durante tres ciclos agrícolas (2017, 2018 y 2019; estos mismos ensayos fueron establecidos en parcelas de productores colaboradores de las provincias de Los Santos, Veraguas y Chiriquí, así como en la Estación Experimental El Ejido ubicada en Los Santos, Panamá. Todos los genotipos evaluados en esta investigación fueron proporcionados por el CIMMYT y forman parte del proyecto “*Maize Breeding Network for Latin America*”. Los ensayos en campo fueron financiados por el “Proyecto generación de variedades e híbridos de maíz” del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (Cuadro 1).



Cuadro 1. Diseño, número de repeticiones, tratamientos y localidades de los ensayos de evaluación de variedades en Panamá, 2017-2019.

| Año | Diseño | No Rep | No Trat | Provincia | No loc | Localidades |
|------|-------------------|--------|---------|------------|--------|---|
| 2017 | Alfa Látice 3 x 4 | 3 | 12 | Los Santos | 4 | El Ejido A*, El Salaito, Nuevo Ocu, La Colorada |
| 2018 | Alfa Látice 2 x 5 | 3 | 10 | Los Santos | 11 | El Ejido A*, Guararé, Santo Domingo, La Mina, La Candelaria, Purio, Pedasí, La Laguna, Chupá, Aranda, El Ejido O* |
| | | | | Veraguas | 1 | Los Yáñez |
| | | | | Chiriquí | 2 | Río Sereno, Monte Lirio |
| 2019 | Alfa Látice 2 x 3 | 3 | 6 | Los Santos | 10 | El Ejido A*, La Candelaria, El Ejido S*, Chupá, La Mina, La Laguna, Purio, El Nanzal, Aranda, Quindío |
| | | | | Veraguas | 2 | Los Yáñez, Guarumal |
| | | | | Total | 30 | |

*El Ejido A, S y O se refiere a la siembra en El Ejido en el mes de agosto, septiembre y octubre, respectivamente.

En el año 2017 se sembraron 12 variedades de maíz grano amarillo y en el mismo se incluyeron cinco variedades de grano de alta calidad proteica (QPM) y siete variedades de grano normal. En el 2018 se evaluaron 10 variedades, de los cuales tres genotipos eran QPM y el resto de grano normal. Por otra parte, en el año 2019 se sembraron seis variedades, todas de grano normal. Las variedades evaluadas por año corresponden a los sintéticos formados con las líneas élite del programa de trópicos bajos del CIMMYT hasta el año 2016. Todos los años se sembraron dos testigos (local y regional) de grano normal, el testigo local fue la variedad IDIAP-MV-1102 (S07TLYNHGAB01) y el testigo regional el sintético S07TLYNHGAB02. En los dos primeros años en donde se evaluaron variedades de grano QPM, se usó como testigo regional el sintético S03TLYQHAB03 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Variedades evaluadas por ciclo agrícola en cada experimento, Panamá 2017-19.

| 2017 | 2018 | 2019 | Tipo de grano |
|------------------------|------------------------|-----------------------|---------------|
| 1. S16LTYNHGAB01 | 1. S16LTYNHGAB01 | 1. S16LTYNHGAB01 | Normal |
| 2. S16LTYNHGAB03 | 2. S16LTYNHGAB03 | 2. S16LTYNHGAB03 | Normal |
| 3. S10TLYNGSHGAB01 | 3. S10TLYNGSHGAB01 | 3. S10TLYNGSHGAB01 | Normal |
| 4. S10TLYNGSHGAB02 | 4. S10TLYNGSHGAB02 | 4. S10TLYNGSHGAB02 | Normal |
| 5. S07TLYNHGAB02 (TR) | 5. S07TLYNHGAB02 (TR) | 5. S07TLYNHGAB02 (TR) | Normal |
| 6. IDIAP-MV-1102 (TL) | 6. IDIAP-MV-1102 (TL) | 6. IDIAP-MV-1102 (TL) | Normal |
| 7. S16LTYNHGAB02 | 7. S16LTYNHGAB02 | | Normal |
| 8. S16LTLYQHAB01 | 8. S16LTLYQHAB01 | | QPM |
| 9. S16LTLYQHAB05 | 9. S16LTLYQHAB05 | | QPM |
| 10. S03TLYQHAB03 (TRQ) | 10. S03TLYQHAB03 (TRQ) | | QPM |
| 11. S16LTLYQHAB04 | | | QPM |
| 12. S16LTLYQHAB03 | | | QPM |

TR = Testigo Regional, TL = Testigo Local



©2020 Ciencia Agropecuaria es desarrollada en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escribir a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa

Unidad Experimental

Las parcelas experimentales consistieron de dos hileras 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 posturas de siembra para una densidad inicial de 6,66 plantas por metro cuadrado. En Veraguas y Chiriquí la distancia entre postura fue de 0,50 m, dejando dos plantas por golpe, para una población inicial de 5,33 plantas por metro cuadrado. El manejo agronómico de los ensayos respecto al control de malezas y plagas dependió de su incidencia basándose en las recomendaciones de la guía para el manejo integrado del cultivo de maíz del IDIAP (Gordón, 2009). En los ensayos sembrados en Los Santos se aplicó a la siembra 273 kg·ha⁻¹ de una fórmula completa (13-26-10-3) en forma de banda a 2,5 cm de profundidad y 3,0 cm de distancia de la hilera de siembra; en las Veraguas y Chiriquí, el abono fue colocado en posturas a 3,0 cm del hoyo de siembra. Se realizaron dos aplicaciones suplementarias de nitrógeno en forma de urea al voleo entre las hileras del maíz, la primera a los 21 días después de siembra (dds) y la segunda a los 37 dds a razón de 159 y 204 kg·ha⁻¹, respectivamente. Las malezas fueron controladas con la aplicación de herbicidas pre emergentes (atrazina más pendimetalina) y se realizaron deshierbes manuales por escape del control antes de la cosecha. No se realizó en ninguno de los ensayos control de insectos.

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. 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*. En donde 1,0 indica ausencia de enfermedad y 5,0 infección muy severa. La evaluación se realizó en la etapa R3 (75-80 dds) del cultivo, antes de la senescencia de las hojas (CIMMYT, 1995). Para el análisis estadístico de las variables porcentaje de plantas acamadas, mazorcas podridas y mazorcas con punta descubiertas, se les transformó utilizando la fórmula de la raíz cuadrada más un medio ($\sqrt{x + 0.5}$). 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 por localidad fue $(X_i - \mu) / \delta$, en donde X_i es el rendimiento de la variedad de interés, μ es la media y δ es la desviación estándar de cada localidad. Posteriormente, se obtuvo la media de cada variedad a través de localidades.

Diseño Experimental y Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza por localidad y uno combinado por año. Se realizó un análisis combinado de los tres años con las seis variedades en común. Para el análisis combinado a través de años se consideró un diseño de Bloques Completo al Azar (BCA) con tres repeticiones. El análisis anual de varianzas por localidad se realizó 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 Alfa Látice (1) y de BCA (2).

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

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

En donde Y_{ijk} es el tratamiento de interés; μ 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 ε_{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 0,00, se les realizó un análisis de varianza combinado por año usando el modelo Alfa Látice (3) y combinando a través de años con un modelo BCA (4) con los siguientes modelos matemáticos:

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

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

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.

Análisis de Estabilidad

Para el análisis de estabilidad por año y combinado de los tres años, se utilizó el modelo Biplot GGE-SReg, que integra el análisis de varianza y el análisis de componentes principales (Yan et al., 2000). El SReg es basado en la Regresión de sitios Lineal-bilineal (multiplicativo) de (Cornelius et al., 1996). El modelo matemático del SReg (6) es:

$$\bar{y}_{ik} = \mu + \delta_j + \sum_{k=1}^t \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + \bar{\epsilon}_{ij}. \quad (6)$$

En donde \bar{y}_{ik} es el Rendimiento promedio de un genotipo i en un ambiente k , μ es la media del genotipo i -ésimo en el j -ésimo ambiente; δ_j es el efecto de las desviaciones de las medias del ambiente, λ_k es el valor singular para el PCA o son constantes de escala (valores singulares) que permiten la imposición de restricciones de orto-normalidad en los vectores singulares para genotipos α_{ik} y ambientes γ_{jk} ; de modo que $\sum_i \alpha_{ik}^2 = \sum_j \gamma_{jk}^2 = 1$ y $\sum_i \alpha_{ik} \alpha_{ik'} = \sum_j \gamma_{jk} \gamma_{jk'} = 0$ para $k \neq k'$; α_{ik} y γ_{jk} son llamadas “primario”, “secundario”, “terciario”....etc efectos de genotipos y ambientes respectivamente.; $\bar{\epsilon}_{ij}$ es el Error experimental asumiendo ser normal y con distribución independiente ($0, \sigma^2/r$).

Los datos de rendimiento fueron sometidos a un análisis de conglomerado mediante el método de Ward (Johnson, 2000) para determinar la formación de grupos de localidades en función del potencial del rendimiento o media ambiental. Este método utiliza el análisis de la varianza para evaluar la distancia entre grupos (localidades), minimizando la suma de los cuadrados de las distancias entre los conglomerados que son formados en cada interacción.

Análisis de Confiabilidad de la Respuesta

El análisis de confiabilidad se aplicó a las cinco variedades (excluyendo al testigo local) que fueron evaluadas los tres años. Para la confiabilidad o respuesta normalizada (RN_i), del i -ésimo genotipo se determinó a partir de los diferenciales de rendimiento con respecto al testigo IDIAP-MV-1102. Los valores promedios de las diferencias (d_i) y la desviación estándar de las diferencias (S_{d_i}) se estimaron en todos los ambientes. A continuación, se determinó el valor estandarizado (d_i/S_{d_i}), al cual se le incorpora la



probabilidad normal estandarizada, mediante la tabla de distribución normal tipificada $N(0, 1)$, que proporciona los valores de alfa de la cola (probabilidad de encontrar un valor de Z mayor al indicado). A esta probabilidad se le denomina confiabilidad normalizada con respecto al testigo (RNi) (Córdova et al., 1993, Camargo et al., 2014). Se seleccionó el mejor genotipo y se le calculó la diferencia y probabilidad de su ocurrencia con respecto al testigo local (IDIAP-MV-1102) y al testigo regional (S07TLYNHGAB02). Se utilizó la prueba de Rachas de Wald-Wolfowitz para determinar que las diferencias del mejor sintético contra los testigos en todas las localidades son productos del azar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de los ensayos de 2017

El análisis individual por localidad indicó que todos los análisis presentaron repetitividad entre 0,73 y 0,91, por lo que todas las localidades fueron incluidas en el análisis combinado (Gordón y Camargo, 2015; Camargo et al., 2017). El análisis de varianza combinado presentó diferencias altamente significativas entre ambientes y variedades para la mayoría de las variables estudiadas. La interacción genotipo ambiente resultó altamente significativa para las variables plantas y mazorcas cosechada, peso de mazorcas y rendimiento de grano. De acuerdo al análisis de varianza del rendimiento, el ambiente capturó el 33% de la suma de cuadrados total del experimento. Por su parte los genotipos capturaron el 36% de la variabilidad total del análisis de varianza.

De todas las variedades evaluadas, seis sobrepasaron la media general de las cuatro localidades, sobresaliendo de manera significativa los sintéticos de grano normal S10TLYNGSHGAB01 y S10TLYNGSHGAB02, y de alta calidad proteica S16LTYQHGAB05 y S16LTYQHGAB01 con medias superiores $6,50 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. La variedad de grano normal superó estadísticamente al testigo IDIAP-MV-1102 en 19% y al testigo QPM en 20%. Por otra parte, las variedades QPM superaron al testigo QPM en 18 y 16%. Siguieron al primer grupo de variedades, el formado por los sintéticos S07TLYNHGAB02, S16LTYQHGAB03 y S16LTYQHGAB04 con rendimientos superiores a $6,00 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. El resto de los sintéticos evaluados tuvieron rendimientos por debajo del promedio de las cuatro localidades (Cuadro 3). En cuanto a la población de plantas al momento de la cosecha, se encontró diferencia estadística significativa entre las variedades evaluadas oscilando los valores entre 6,41 y 5,89 plantas cosechadas. Todos los sintéticos fueron muy similares en



floración femenina, con valores entre 49 y 51 dds. Con relación a la altura de planta, la variedad de menor estatura fue el S16LTYNHGAB01 con 215 cm. Las medidas de la altura de la mazorca variaron entre 108 a 121 cm, siendo el sintético S11TLYNHGAB03 con la posición más baja de la mazorca. Todos los materiales presentaron una alta prolificidad de mazorcas por planta con valores muy cercanos a una mazorca por planta. El sintético S16LTYNHGAB02 presentó la más alta susceptibilidad a la pudrición de mazorcas con porcentajes superiores al 8% en el promedio de todas las localidades. Por otro lado, el resto de los sintéticos presentaron bajos porcentajes de mazorcas podridas (menos del 5%). De acuerdo a Gordón et al. (2017), el cultivar más estable y de mayor rendimiento a través de las localidades fue S10TLYNGSHGAB01 según el análisis Biplot realizado este año, esto por presentar la mayor puntuación en el Eje del Componente Principal 1 (PCA1) y más cercano a cero en el segundo eje (PCA2) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Medias Ajustadas, Puntuación de los dos primeros ejes de la Interacción Genotipo Ambiente y Cuadrados Medios de las variables analizadas. Combinado cuatro localidades, Panamá, 2017.

| Variedades | Rend (tha ⁻¹) | Flor (días) | AlPt (cm) | Almz (cm) | Ptm ⁻² | Mzm ⁻² | MzPt ⁻¹ | PMz (g) | TPod (%) | TAcA (%) | Enf (1-5) | Aspt (1-5) | Asmz (1-5) | TCob (%) | PCA1 | PCA2 |
|--------------------------------|---------------------------|-------------|-----------|-----------|-------------------|-------------------|--------------------|---------|----------|----------|-----------|------------|------------|----------|-------|-------|
| 1. S10TLYNGSHGAB01 | 6,88 | 51 | 230 | 121 | 6,41 | 6,14 | 0,96 | 112 | 3,5 | 32 | 2,6 | 2,9 | 2,7 | 6,2 | 0,86 | -0,10 |
| 2. S16LTYQHAB05 | 6,79 | 49 | 228 | 116 | 6,20 | 6,13 | 0,99 | 112 | 3,9 | 26 | 3,0 | 2,9 | 2,8 | 2,6 | 0,66 | 0,46 |
| 3. S16LTYQHAB01 | 6,67 | 50 | 224 | 114 | 6,26 | 6,10 | 0,97 | 110 | 3,8 | 21 | 3,2 | 3,0 | 2,9 | 1,2 | 0,56 | 0,39 |
| 4. S10TLYNGSHGAB02 | 6,58 | 50 | 233 | 116 | 6,25 | 5,97 | 0,96 | 110 | 4,6 | 28 | 2,7 | 2,9 | 2,9 | 7,5 | 0,53 | -0,27 |
| 5. S07TLYNHGAB02 (TR) | 6,41 | 51 | 233 | 119 | 6,12 | 6,01 | 0,98 | 107 | 3,3 | 29 | 2,7 | 3,0 | 3,0 | 5,4 | 0,33 | -0,42 |
| 6. S16LTYQHAB03 | 6,26 | 51 | 227 | 118 | 6,27 | 5,97 | 0,95 | 106 | 4,2 | 31 | 2,5 | 2,9 | 2,8 | 7,9 | 0,15 | -0,13 |
| 7. S16LTYQHAB04 | 6,06 | 50 | 229 | 112 | 6,31 | 6,05 | 0,96 | 101 | 4,4 | 27 | 2,6 | 3,0 | 3,0 | 3,7 | -0,03 | 0,12 |
| 8. IDIAP-MV-1102 (TL) | 5,80 | 51 | 225 | 115 | 5,89 | 5,69 | 0,97 | 102 | 4,4 | 33 | 2,6 | 2,9 | 2,9 | 4,1 | -0,68 | 0,08 |
| 9. S03TLYQHAB03 (TRQ) | 5,74 | 49 | 230 | 112 | 6,04 | 6,00 | 1,00 | 96 | 4,3 | 31 | 3,0 | 3,0 | 3,1 | 6,2 | -0,47 | 0,55 |
| 10. S11TLYNHGAB03 | 5,49 | 51 | 218 | 108 | 6,06 | 5,79 | 0,96 | 95 | 4,5 | 33 | 2,9 | 2,9 | 3,0 | 9,8 | -0,70 | 0,15 |
| 11. S16LTYNHGAB01 | 5,45 | 49 | 215 | 110 | 5,87 | 5,67 | 0,96 | 97 | 6,9 | 36 | 2,4 | 2,9 | 3,3 | 13,7 | -0,68 | 0,08 |
| 12. S16LTYNHGAB02 | 5,21 | 50 | 217 | 110 | 5,80 | 5,62 | 0,98 | 94 | 8,5 | 34 | 2,6 | 3,0 | 3,2 | 15,1 | -0,88 | -0,06 |
| Promedio | 6,11 | 50 | 226 | 114 | 6,12 | 5,93 | 0,97 | 104 | 4,7 | 30 | 2,7 | 2,9 | 3,0 | 6,9 | | |
| DMS_{5%} | 0,50 | 1 | 8 | 4 | 0,42 | 0,43 | 0,05 | 6 | 2,6 | 12 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 4,0 | | |
| S² Genotipos | 0,290 | 0,56 | 28 | 13 | 0,01 | 0,01 | 0,000 | 42 | 0,000 | 0,000 | 0,04 | 0,00 | 0,02 | 16 | | |
| S² Ambientes | 0,351 | 1,00 | 90 | 50 | 0,24 | 0,23 | 0,000 | 155 | 0,000 | 0,002 | 0,08 | 0,01 | 0,08 | 0 | | |
| S² Amb x Gen | 0,063 | 0,09 | 10 | 3 | 0,03 | 0,05 | 0,000 | 7 | 0,000 | 0,001 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0 | | |
| S² Error | 0,201 | 0,86 | 61 | 23 | 0,17 | 0,13 | 0,003 | 31 | 0,000 | 0,003 | 0,10 | 0,05 | 0,05 | 24 | | |
| h² | 0,90 | 0,86 | 0,79 | 0,84 | 0,34 | 0,28 | 0,00 | 0,91 | 0,59 | 0,00 | 0,79 | 0,00 | 0,83 | 0,89 | | |
| DMS/Rango | 0,30 | 0,37 | 0,41 | 0,34 | 0,69 | 0,82 | 1,05 | 0,31 | 0,50 | 0,77 | 0,38 | 1,04 | 0,29 | 0,49 | | |

Rend =Rendimiento de grano, Flor =Floración femenina, AlPt =Altura de planta, Almz =Altura de mazorca, Ptm⁻² =Plantas/m², Mzm⁻² =Mazorcas/m², MzPt⁻¹ =Mazorcas por planta, PMz =Peso de mazorcas, TPod =% mazorcas podridas transformada, TAcA =% plantas acamadas transformada, Enf =Bipolaris, Aspt =Aspecto de planta, Asmz =Aspecto de mazorcas, TCob = % de mala cobertura transformada, * los valores de la media ajustada son de la variable sin transformar.

Análisis de los ensayos de 2018

Durante el año 2018, todos los ensayos realizados presentaron repetitividades que oscilaron entre 0,51 a 0,99 por lo que fueron incluidos en el análisis combinado de este año (Gordón y Camargo 2015; Camargo et al., 2017). Este análisis presentó diferencias significativas para las principales variables de respuesta entre localidades, genotipos y la



interacción genotipo ambiente. El ambiente capturó el 76%, mientras que el genotipo capturó el 8% y la interacción el 5% del total de la variación experimental. Este resultado sugiere que la gran diferencia se debió a las localidades con poca interacción entre los genotipos a través de las localidades. Los estadísticos de repetitividad (0,97) así como el cociente DMS/Rango (0,16) indican buena precisión experimental del análisis combinado.

En este ciclo sobresalió de nuevo el sintético S10TLYNGSHGAB01 con una media de 6,28 t·ha⁻¹ superando significativamente al testigo nacional en 0,81 t·ha⁻¹ (15%). A esta variedad le siguieron los sintéticos S16LTYNHGAB03, S16LTYNHGAB01 y S10TLYNGSHGAB02 con rendimientos superiores a 5,60 t·ha⁻¹. No se presentó diferencia significativa entre los tres genotipos de alta calidad proteica, sin embargo, los mismos tuvieron rendimientos inferiores al testigo de grano normal. Con relación a la altura de planta, la media general fue de 221 cm, en donde las variedades normales son de mayor altura que las variedades QPM. En la floración femenina no se observó diferencia entre todas las variedades con una media general de 53 días. El mayor tamaño de mazorcas se observó en S10TLYNGSHGAB01 con un peso de 108 g, siendo ésta la única que superó los 100 g. Todas las variedades presentaron baja incidencia de enfermedades foliares, buena cobertura de la mazorca y poca presencia de granos afectados por hongos (Cuadro 4). Al igual que en el año 2017, el sintético más estable fue el S10TLYNGSHGAB01; como lo indican los valores de los dos primeros ejes de los componentes principales de la interacción genotipo ambientes calculados en el análisis de estabilidad. Se puede apreciar que este cultivar presenta el mayor valor del PCA1 y el más cercano a cero en el PCA2, convirtiéndolo en el de mayor rendimiento y mayor estabilidad (Cuadro 4).

Análisis de los ensayos de 2019

De las doce localidades donde se sembró el ensayo, dos localidades (La Laguna y Purio) presentaron repetitividades con valor de cero, en el resto de las localidades este valor osciló entre 0,28 y 0,83. En estas dos localidades el CV fue de 7,0 y 9,3 mientras que la varianza entre tratamientos fue de 0,00. Esto indica que el valor de la repetitividad no se debió a un valor del error experimental alto, si no, que las seis variedades evaluadas no difieren significativamente entre sí. El análisis combinado fue realizado con las 10 localidades restantes, presentando una repetitividad de 0,88 y un DMS/Rango de 0,34. En



este análisis, las localidades capturaron el 46% de la variabilidad total, mientras que el genotipo y su interacción con el ambiente representan el 12 y 14% de la varianza total.

En este ciclo agrícola, el S10LYNGSHGAB01 por tercer año presentó el rendimiento más alto, con una media de 6,29 t·ha⁻¹ y un peso de 104 g por mazorca, superando al testigo local en 16%. Todos los demás sintéticos tuvieron rendimientos estadísticamente similares al testigo IDIAP-MV-1102 que presentó un rendimiento de 5,43 t·ha⁻¹. De todas las variedades evaluadas, dos superaron la media general del ensayo. Todas las variedades presentaron una floración femenina alrededor de 54 días después de la siembra. El porcentaje de mazorcas podridas (<10%) así como la calificación de enfermedades foliares fue baja. El porcentaje de plantas acamadas de los sintéticos experimentales fue menor al testigo local. La cobertura de mazorcas mal descubiertas fue bajo y todos los genotipos presentan una textura cristalina del grano (Cuadro 5).

Cuadro 4. Cuadrados Medios y Medias Ajustadas de las variables agronómicas medidas en las 10 variedades evaluadas en el ensayo regional. Combinado 14 localidades, Panamá, 2018.

| Variedades | Rend (t·ha ⁻¹) | Flor (días) | Alpt (cm) | Almz (cm) | Ptm ² | Mzm ² | MzPt ¹ | PMz (g) | TPod (%) | TAcá (%) | Enf (1-5) | Aspt (1-5) | Asmz (1-5) | TCob (%) | PCA1 | PCA2 |
|--------------------------------|-------------------------------|----------------|--------------|--------------|------------------|------------------|-------------------|------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|-------------|-------|-------|
| 1. S10LYNGSHGAB01 | 6,28 | 53 | 226 | 114 | 6,22 | 5,89 | 0,95 | 108 | 3,5 | 42 | 1,8 | 2,9 | 3,0 | 4,1 | 1,73 | 0,06 |
| 2. S16LYNHGAB03 | 5,84 | 53 | 227 | 113 | 6,29 | 5,84 | 0,93 | 99 | 3,1 | 45 | 1,9 | 2,9 | 3,0 | 3,5 | 0,57 | 0,65 |
| 3. S16LYNHGAB01 | 5,74 | 54 | 226 | 114 | 6,32 | 6,03 | 0,96 | 94 | 4,1 | 46 | 1,8 | 2,9 | 3,0 | 2,8 | 0,39 | 0,39 |
| 4. S10LYNGSHGAB02 | 5,67 | 52 | 221 | 110 | 6,25 | 5,81 | 0,92 | 97 | 4,1 | 38 | 1,9 | 2,9 | 2,9 | 3,9 | 0,78 | -1,10 |
| 5. S16LYNHGAB02 | 5,55 | 53 | 227 | 113 | 6,19 | 5,87 | 0,95 | 94 | 3,1 | 41 | 1,8 | 3,0 | 3,1 | 3,9 | 0,36 | -0,26 |
| 6. IDIAP-MV-1102 (TL) | 5,47 | 53 | 223 | 113 | 6,17 | 5,63 | 0,91 | 95 | 3,5 | 49 | 1,7 | 2,9 | 3,0 | 1,8 | 0,11 | -0,04 |
| 7. S07LYNHGAB02 (TR) | 5,42 | 53 | 218 | 109 | 6,14 | 5,77 | 0,94 | 93 | 4,4 | 43 | 2,1 | 2,9 | 3,2 | 2,7 | -0,16 | 0,72 |
| 8. S03TLYQHAB03 (TRQ) | 4,78 | 52 | 216 | 106 | 6,09 | 5,77 | 0,95 | 83 | 4,7 | 45 | 2,2 | 3,0 | 3,6 | 8,9 | -1,11 | -0,07 |
| 9. S16LYQHAB05 | 4,74 | 53 | 216 | 107 | 6,07 | 5,66 | 0,93 | 82 | 6,2 | 52 | 2,3 | 3,0 | 3,5 | 2,7 | -1,18 | 0,11 |
| 10. S16LYQHAB01 | 4,61 | 53 | 214 | 106 | 6,20 | 5,62 | 0,90 | 81 | 5,6 | 47 | 2,4 | 3,0 | 3,5 | 3,5 | -1,12 | -0,46 |
| Promedio | 5,41 | 53 | 221 | 110 | 6,19 | 5,79 | 0,93 | 93 | 4,2 | 45 | 2,0 | 2,9 | 3,2 | 3,8 | | |
| DMS_{5%} | 0,28 | 0 | 4 | 3 | 0,18 | 0,22 | 0,04 | 6 | 2,1 | 5 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 1,7 | | |
| S² Genotipos | 0,28 | 0,26 | 26 | 9 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 68 | 0,0000 | 0,000 | 0,05 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | | |
| S² Ambientes | 2,38 | 0,13 | 468 | 136 | 0,30 | 0,60 | 0,01 | 651 | 0,0030 | 0,017 | 0,18 | 0,23 | 0,33 | 0,00 | | |
| S² Amb x Gen | 0,04 | 0,11 | 0 | 2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 20 | 0,0000 | 0,000 | 0,06 | 0,02 | 0,06 | 0,00 | | |
| S² Error | 0,30 | 0,47 | 68 | 36 | 0,19 | 0,26 | 0,01 | 108 | 0,0010 | 0,003 | 0,09 | 0,07 | 0,17 | 0,00 | | |
| h² | 0,97 | 0,92 | 0,94 | 0,90 | 0,24 | 0,57 | 0,34 | 0,95 | 0,46 | 0,73 | 0,89 | 0,00 | 0,84 | 0,90 | | |
| DMS/Rango | 0,16 | 0,23 | 0,26 | 0,34 | 0,76 | 0,52 | 0,64 | 0,20 | 0,63 | 0,38 | 0,32 | 0,96 | 0,44 | 0,24 | | |

Rend =Rendimiento, Flor =Floración, Alpt =Altura de planta, Almz =Altura de mazorca, Ptm² =Plantas/m², Mzm² =Mazorcas/m², MzPt¹ =Mazorcas por planta, PMz =Peso de mazorcas, TPod =% mazorcas podridas trasformada, TAcá =% plantas acamadas trasformada, Enf =Bipolaris, Aspt =Aspecto de planta, Asmz =Aspecto de mazorcas, TCob = % de mala cobertura trasformada, * los valores de la media ajustada son de la variable sin transformar.



Cuadro 5. Cuadrados Medios y Medias Ajustadas de las variables agronómicas medidas en las seis variedades evaluadas en el ensayo regional. Combinado 10 localidades, Panamá, 2019.

| Variedades | Rend (t·ha ⁻¹) | RN _i | Flor (días) | Alpt (cm) | Almz (cm) | Ptm ⁻² | Mzm ⁻² | MzPt ⁻¹ | PMz (g) | *TPod (%) | *TAc (%) | Enf (1-5) | Aspt (1-5) | Asmz (1-5) | *TCob (%) | Tex (1-4) |
|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|--------------|--------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------|--------------|-------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| 1. S10TLYNGSHGAB01 | 6,29 | 0,99 | 53 | 232 | 124 | 6,57 | 6,08 | 0,93 | 104 | 7,5 | 24 | 1,7 | 2,8 | 2,5 | 4,9 | 1,0 |
| 2. S16LTYNHGAB03 | 5,69 | 0,05 | 54 | 235 | 125 | 6,65 | 5,81 | 0,87 | 98 | 9,4 | 24 | 1,9 | 2,9 | 2,8 | 4,2 | 1,2 |
| 3. S10TLYNGSHGAB02 | 5,56 | -0,20 | 53 | 228 | 122 | 6,51 | 5,76 | 0,89 | 97 | 9,2 | 28 | 1,9 | 2,8 | 2,8 | 4,9 | 1,2 |
| 4. S16LTYNHGAB01 | 5,49 | -0,18 | 54 | 237 | 127 | 6,67 | 5,73 | 0,86 | 96 | 8,9 | 24 | 1,8 | 3,0 | 2,8 | 3,2 | 1,0 |
| 5. IDIAP-MV-1102 (TL) | 5,43 | -0,23 | 54 | 229 | 122 | 6,22 | 5,56 | 0,90 | 99 | 7,8 | 35 | 1,8 | 3,0 | 2,8 | 2,4 | 1,0 |
| 6. S07TLYNHGAB02 (TR) | 5,31 | -0,43 | 53 | 226 | 120 | 6,41 | 5,65 | 0,88 | 94 | 9,0 | 26 | 1,9 | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 1,1 |
| Promedio | 5,63 | 0,00 | 54 | 231 | 123 | 6,50 | 5,77 | 0,89 | 98 | 8,6 | 27 | 1,8 | 2,9 | 2,8 | 3,8 | 1,1 |
| DMS_{5%} | 0,33 | 0,40 | 0,4 | 4,8 | 3,6 | 0,21 | 0,32 | 0,04 | 3,9 | 2,31 | 5 | 0,12 | 0,15 | 0,15 | 1,74 | 0,16 |
| S² Genotipos | 0,11 | 0,24 | 0,49 | 15,9 | 4,7 | 0,02 | 0,018 | 0,000 | 9,5 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,009 | 0,011 | 0,000 | 0,003 |
| S² Ambientes | 0,46 | 0,00 | 2,81 | 404,2 | 153,2 | 0,04 | 0,034 | 0,001 | 172,7 | 0,009 | 0,010 | 0,127 | 0,337 | 0,077 | 0,000 | 0,234 |
| S² Amb x Gen | 0,04 | 0,00 | 0,01 | 0,0 | 0,0 | 0,03 | 0,062 | 0,001 | 5,7 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,007 |
| S² Error | 0,37 | 0,75 | 0,86 | 108,4 | 59,1 | 0,12 | 0,294 | 0,005 | 55,4 | 0,001 | 0,003 | 0,071 | 0,107 | 0,100 | 0,001 | 0,101 |
| h² | 0,89 | 0,92 | 0,95 | 0,84 | 0,74 | 0,80 | 0,57 | 0,54 | 0,83 | 0,00 | 0,80 | 0,50 | 0,76 | 0,80 | 0,65 | 0,50 |
| DMS/Rango | 0,33 | 0,28 | 0,23 | 0,42 | 0,50 | 0,46 | 0,62 | 0,63 | 0,39 | 1,09 | 0,48 | 0,69 | 0,53 | 0,43 | 0,71 | 0,84 |

Rend =Rendimiento de grano, RN_i =Rendimiento Normalizado, Flor =Floración femenina, AlPt =Altura de planta, Almz =Altura de mazorca, Ptm⁻² =Plantas/m², Mzm⁻² =Mazorcas/m², MzPt⁻¹ =Mazorcas por planta, PMz =Peso de mazorcas, TPod =% mazorcas podridas trasformada, TAc =% plantas acamadas transformada, Enf =Bipolaris, Aspt =Aspecto de planta, Asmz =Aspecto de mazorcas, TCob = % de mala cobertura transformada, Tex = Textura del grano, * los valores de la media ajustada son de la variable sin transformar.

Análisis Combinado 2017-2019

Análisis estadístico

Para el análisis combinado del 2017 a 2019 se tomaron las seis variedades evaluadas los tres años. De acuerdo al análisis estadístico individual para la variable rendimiento de grano de las treinta localidades, siete tuvieron una repetitividad de 0,0 y en 23 este valor fue superior a 0,20; por lo cual, estas últimas fueron incluidas en el análisis combinado (Gordón y Camargo, 2015 y Camargo et al., 2017). Es importante señalar que el aumento de las localidades con repetitividad cero, se debió a que la varianza entre genotipos fue nula. En la mayoría de las localidades del 2017 y 2018 al eliminar variedades, dejando solo para el análisis las seis que se mantuvieron por su buen rendimiento a través de los años; se observó que las varianzas entre tratamientos fueron menores o igual a cero, al compararla con el análisis del juego completo de variedades por año (Cuadro 6).

El análisis de varianzas señala una diferencia altamente significativa entre ambientes y variedades para todas las variables estudiadas (Cuadro 7). La interacción genotipo ambiente resultó altamente significativa para la mayoría de las variables analizadas. De acuerdo al análisis de varianza del rendimiento, el ambiente capturó el 73% de la suma de cuadrados total del experimento. Por su parte los genotipos capturaron el 5% de la variabilidad total del análisis de varianza. Este resultado muestra que la mayor variabilidad del ensayo se debe a la gran diferencia entre los ambientes evaluados y que



existe poca diferencia entre los seis genotipos evaluados. De acuerdo a este análisis, la repetitividad del combinado para el rendimiento de grano fue de 0,93 y un DMS/Rango de 0,27. El resto de las variables presentaron valores de repetitividad superiores a 0,20. Estos valores sugieren una buena precisión experimental de este ensayo (Cuadro 7).

Cuadro 6. Valor del Cuadrado medio de genotipos y repetitividad del análisis por localidad con el número total de genotipos y con los seis genotipos seleccionados para el combinado. Panamá, 2017-2019.

| 2017 | S ² Trat | | h ² | | 2018 | S ² Trat | | h ² | | 2019 | S ² Trat | | h ² | |
|-------------|---------------------|------|----------------|------|-------------|---------------------|-------------|----------------|-------------|------------|---------------------|-------------|----------------|--|
| | 12 G | 6 G | 12 G | 6 G | | 12 G | 6 G | 10 G | 6 G | | 6G | 6G | | |
| El Ejido A | 0,22 | 0,25 | 0,73 | 0,69 | El Ejido A* | 0,08 | 0,00 | 0,51 | 0,00 | El Ejido A | 0,19 | 0,65 | | |
| El Salaito | 0,53 | 0,82 | 0,81 | 0,90 | Guararé* | 0,36 | 0,00 | 0,74 | 0,00 | Candelaria | 0,18 | 0,80 | | |
| Nuevo Ocu | 0,54 | 0,61 | 0,90 | 0,90 | S. Domingo* | 0,20 | 0,00 | 0,85 | 0,00 | El Ejido S | 0,06 | 0,28 | | |
| La Colorada | 0,16 | 0,07 | 0,91 | 0,91 | La Mina* | 0,28 | 0,00 | 0,80 | 0,00 | Chupá | 0,17 | 0,69 | | |
| | | | | | Candelaria | 0,20 | 0,03 | 0,67 | 0,32 | La Mina | 0,07 | 0,47 | | |
| | | | | | Purio | 0,40 | 0,10 | 0,74 | 0,40 | La Laguna* | 0,00 | 0,00 | | |
| | | | | | La Laguna | 0,20 | 0,08 | 0,77 | 0,68 | Purio* | 0,00 | 0,00 | | |
| | | | | | Chupá | 0,23 | 0,16 | 0,81 | 0,80 | El Nanzal | 0,08 | 0,70 | | |
| | | | | | Aranda | 0,20 | 0,14 | 0,77 | 0,73 | Aranda | 0,14 | 0,83 | | |
| | | | | | Quindío | 0,13 | 0,08 | 0,65 | 0,51 | Quindío | 0,76 | 0,64 | | |
| | | | | | Los Yáñez* | 0,12 | 0,00 | 0,60 | 0,00 | Los Yáñez | 0,06 | 0,35 | | |
| | | | | | Río Sereno | 1,36 | 0,85 | 0,98 | 0,85 | Guarumal | 0,21 | 0,63 | | |
| | | | | | Monte Lirio | 0,79 | 0,28 | 0,94 | 0,42 | | | | | |
| | | | | | El Ejido O | 0,03 | 0,06 | 0,88 | 0,94 | | | | | |

* Localidades excluidas del análisis combinado de los tres años.

Cuadro 7. Cuadrados Medios y estadísticos calculados del análisis de varianza combinado. Panamá, 2017-2019.

| | Rend | RNi | Flor | Alpt | Almz | Ptm ⁻² | Mzm ⁻² | MzPt ⁻¹ | PMz | TPod | TAcA | Enf | Aspt | Asmz | TCob | Tex |
|--------------------------------|------|------|------|-------|------|-------------------|-------------------|--------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| S² Genotipos | 0,13 | 0,23 | 0,18 | 2,0 | 1,6 | 0,02 | 0,02 | 0,000 | 20,8 | 0,000 | 0,000 | 0,01 | 0,002 | 0,01 | 0,000 | 0,006 |
| S² Ambientes | 1,53 | 0,00 | 3,02 | 301,4 | 79,3 | 0,16 | 0,29 | 0,005 | 510,8 | 0,015 | 0,009 | 0,21 | 0,198 | 0,26 | 0,000 | 0,165 |
| S² Amb x Gen | 0,11 | 0,13 | 0,20 | 22,6 | 17,3 | 0,03 | 0,05 | 0,001 | 16,0 | 0,000 | 0,000 | 0,02 | 0,000 | 0,003 | 0,000 | 0,023 |
| S² Error | 0,33 | 0,54 | 0,83 | 120,2 | 82,7 | 0,14 | 0,27 | 0,005 | 82,5 | 0,001 | 0,003 | 0,09 | 0,107 | 0,11 | 0,001 | 0,122 |
| h² | 0,93 | 0,94 | 0,89 | 0,42 | 0,44 | 0,80 | 0,73 | 0,30 | 0,92 | 0,22 | 0,71 | 0,73 | 0,59 | 0,82 | 0,70 | 0,67 |
| DMS/R | 0,27 | 0,24 | 0,36 | 0,83 | 0,73 | 0,49 | 0,47 | 0,89 | 0,30 | 0,90 | 0,53 | 0,73 | 0,68 | 0,41 | 0,62 | 0,66 |
| CV | 30,5 | - | 3,3 | 0,8 | 1,5 | 27,4 | 30,0 | 188,8 | 1,8 | 226,1 | 193,9 | 88,9 | 59,5 | 58,2 | 235,7 | 146,7 |
| No locs | 23 | 23 | 21 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 22 | 21 | 23 | 21 | 21 | 21 | 20 |

Rend =Rendimiento de grano, RN_i =Rendimiento Normalizado, Flor =Floración femenina, AlPt =Altura de planta, Almz =Altura de mazorca, Ptm⁻² =Plantas/m², Mzm⁻² =Mazorcas/m², MzPt⁻¹ =Mazorcas por planta, PMz =Peso de mazorcas, TPod =% mazorcas podridas trasformada, TAcA =% plantas acamadas transformada, Enf =Bipolaris, Aspt =Aspecto de planta, Asmz =Aspecto de mazorcas, TCob = % de mala cobertura transformada, Tex = Textura del grano.

Efecto de Ambientes

Dentro del grupo de localidades incluidas en el análisis combinado sobresale el ensayo de El Ejido O, esta localidad presenta buenos estadísticos de precisión experimental con una repetitividad de 0,94 y coeficiente de variación de 14,5%, pero una media ambiental de 0,87 t·ha⁻¹. El bajo potencial de rendimiento en esta localidad se debió a las condiciones altamente estresantes por deficiencias hídricas después de la floración en las siembras que se realizan en esta localidad fuera de la fecha de recomendación para



el área donde está ubicada la misma. El objetivo de esta localidad fue ver si alguno de los genotipos evaluados sobresale sobre el resto o si el comportamiento de todos los cultivares es similar entre ellos en comparación de las localidades con mejor potencial de rendimiento o son sembradas dentro de las fechas recomendadas. Se encontró que el excluirla del análisis combinado no afectó el resultado de ninguno de los análisis, ni tampoco los estadísticos de precisión. Lo que se encontró es que la media general de rendimiento de todas las variedades se disminuyó en aproximadamente $0,22 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Al dar estos resultados se procedió a incluirla en el análisis combinado así como en el Dendograma, los análisis de estabilidad y confiabilidad de la respuesta.

De acuerdo al análisis de Conglomerados de Ward, en el Dendograma se identificaron dos grupos ambientales o dominios de recomendación con una altura de corte de 0,202 (Figura 1). El primer grupo estuvo formado por los ensayos sembrados en el año 2017 en las localidades de El Ejido A, El Salaíto y La Colorada (Grupo Ambiental A). En un trabajo realizado por Gordón et al. (2019) en evaluación de híbridos de maíz, reportó que las dos últimas localidades también conformaron un grupo ambiental; lo que indica la similitud de las mismas al momento de discriminar los cultivares de maíz. En el segundo grupo se ubicaron el resto de las localidades sembradas los tres años (Grupo Ambiental B). En este análisis las localidades se agrupan en varios grupos generales; de modo similar a los grupos identificados del análisis Biplot-GGE-SReg.

La media del rendimiento en las localidades del Grupo A ($6,10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) fue superior al promedio de las localidades del Grupo B ($5,63 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Esta diferencia puede ser por la cantidad de localidades que conformaron cada grupo, el cual fue mucho más numeroso en el Grupo B. Con relación al rendimiento de grano, tomando en cuenta ambos grupos, el mayor promedio lo obtuvo la localidad Monte Lirio ($7,28 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), mientras que el menor promedio fue en El Ejido O con $0,87 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, ambas del Grupo B. El rendimiento promedio a través de las 23 localidades fue de $5,69 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. En todas las localidades se presentó la floración femenina alrededor de los 53 días después de siembra. En cuanto al porcentaje de plantas acamadas de tallo, el mismo fue alto en la mayoría de las localidades (mayor al 20% de plantas acamadas) con excepción de Yáñez, El Ejido S y El Ejido O. Los mayores porcentajes de mazorcas podridas fueron reportados en Yáñez y Guarumal; ambas



localidades ubicadas en Veraguas con porcentajes por arriba del 20,0%; en el resto de las localidades esta variable es baja con menos del 5,0% de mazorcas podridas (Cuadro 8).

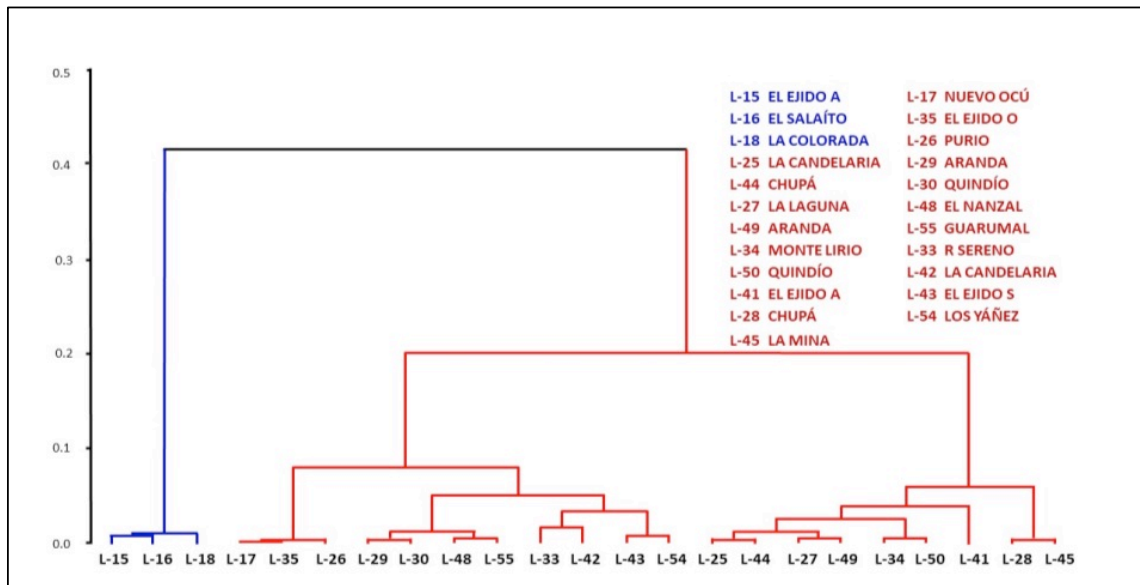


Figura 1. Análisis de conglomerados de las 23 localidades del ensayo de seis variedades de maíz, Panamá 2017-2019.

Los ensayos con menor número de plantas a la cosecha se dieron en Monte Lirio, Nuevo Océ, Río Sereno y El Salaíto con poblaciones menores a 6,00 plantas por metro cuadrado al momento de la cosecha. Las plantas con mayor altura promedio se registraron en Guarumal (280 cm) mientras que las más bajas (196 cm) se presentaron en El Ejido O. El porcentaje general de mazorcas con mala cobertura fue bueno presentándose menos del 9% de mazorcas descubiertas (Cuadro 8). Las enfermedades foliares se presentaron con baja incidencia, siendo El Salaíto con la media de evaluación (3,2) más alta de todas las localidades (Cuadro 8). En todas las localidades se obtuvo más de 0,85 mazorcas por planta, excepto en El Ejido (2019) con 0,68 mazorcas por planta. La variable que explica el bajo rendimiento en El Ejido O es el número de mazorcas cosechas el cual fue afectado por la deficiencia hídrica a la que fue sometida esta localidad a partir de la etapa Vt hasta la formación de la capa negra.



Cuadro 8. Medias Ajustadas del rendimiento de grano y otras variables tomadas del Ensayo de variedades, según localidades y grupo de acuerdo al análisis de Ward. Panamá, 2017-2019.

| Localidad | Año | Rend | Flor | Alpt | Almz | Ptm ² | Mzm ² | MzPt ⁻¹ | Pmz | Pod | Aca | Enf | Aspt | Asmz | Cob |
|-------------------|------|-------------|-----------|------------|------------|------------------|------------------|--------------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| El Ejido A | 2017 | 6,80 | 51 | 238 | 126 | 6,50 | 6,31 | 0,97 | 108 | 4,7 | 30 | 2,3 | 3,1 | 3,3 | 8,3 |
| El Salaito | 2017 | 6,19 | 52 | 219 | 111 | 5,84 | 5,60 | 0,96 | 110 | 4,2 | 40 | 3,2 | 2,9 | 2,7 | 7,0 |
| La Colorada | 2017 | 5,30 | 49 | 231 | 113 | 6,53 | 6,18 | 0,94 | 86 | 6,6 | 36 | 2,6 | 2,9 | 3,1 | 6,9 |
| Promedio A | | 6,10 | 51 | 229 | 117 | 6,29 | 6,03 | 0,96 | 101 | 5,2 | 35 | 2,7 | 3,0 | 3,0 | 7,4 |
| Monte Lirio | 2018 | 7,38 | --- | 210 | 115 | 4,96 | 4,96 | 1,01 | 149 | 1,5 | --- | 2,7 | --- | --- | --- |
| Purio | 2018 | 6,64 | 52 | 226 | 107 | 6,22 | 6,11 | 0,99 | 109 | 0,2 | 33 | 1,7 | 2,8 | 3,0 | 2,6 |
| Aranda | 2018 | 6,63 | 52 | 197 | 102 | 6,70 | 6,69 | 1,00 | 99 | 0,9 | 26 | 1,6 | 3,0 | 2,8 | 2,6 |
| La Candelaria | 2018 | 6,31 | 53 | 221 | 119 | 6,59 | 6,33 | 0,96 | 100 | 3,6 | 61 | 2,1 | 2,9 | 3,1 | 7,6 |
| Chupá | 2018 | 6,30 | 53 | 226 | 115 | 6,50 | 6,30 | 0,97 | 100 | 2,1 | 31 | 1,7 | 3,2 | 2,9 | 0,8 |
| Quindío | 2019 | 6,26 | 54 | 246 | 122 | 6,46 | 5,49 | 0,85 | 113 | 4,5 | 23 | 1,8 | 3,2 | 2,9 | 6,0 |
| Nuevo Océ | 2017 | 6,10 | 51 | 216 | 110 | 5,58 | 5,46 | 0,98 | 112 | 2,8 | 20 | 2,4 | 2,9 | 2,7 | 8,9 |
| El Ejido A | 2019 | 6,05 | 53 | 206 | 103 | 6,14 | 5,59 | 0,91 | 109 | 2,9 | 23 | 1,7 | 3,1 | 3,1 | 3,7 |
| La Mina | 2019 | 5,95 | 53 | 222 | 130 | 6,77 | 6,18 | 0,91 | 96 | 0,7 | 22 | 2,0 | 3,1 | 2,6 | 3,0 |
| Aranda | 2019 | 5,92 | 52 | 227 | 118 | 6,49 | 5,86 | 0,90 | 101 | 0,9 | 19 | 1,9 | 3,1 | 2,8 | 2,3 |
| La Laguna | 2018 | 5,87 | 53 | 241 | 116 | 6,52 | 6,37 | 0,98 | 92 | 0,8 | 60 | 2,1 | 3,0 | 3,2 | 2,2 |
| El Nanzal | 2019 | 5,85 | 52 | 244 | 129 | 6,50 | 5,72 | 0,88 | 103 | 0,8 | 76 | 1,8 | 3,1 | 2,8 | 4,9 |
| La Candelaria | 2019 | 5,85 | 53 | 211 | 123 | 6,67 | 5,80 | 0,87 | 101 | 1,8 | 18 | 1,9 | 3,1 | 2,9 | 2,7 |
| Quindío | 2018 | 5,81 | 54 | 214 | 102 | 6,49 | 6,06 | 0,93 | 95 | 1,0 | 51 | 1,7 | 2,8 | 3,0 | 1,4 |
| El Ejido S | 2019 | 5,43 | 54 | 220 | 112 | 6,40 | 5,68 | 0,89 | 96 | 2,5 | 11 | 1,5 | 2,9 | 2,9 | 3,2 |
| Río Sereno | 2018 | 5,43 | --- | 217 | 112 | 5,78 | 4,64 | 0,81 | 122 | --- | --- | 1,7 | --- | --- | --- |
| Guarumal | 2019 | 4,95 | 56 | 280 | 123 | 6,06 | 5,61 | 0,93 | 89 | 28,9 | 36 | 2,3 | 2,1 | 1,9 | 2,9 |
| Los Yáñez | 2019 | 4,01 | 58 | 220 | 124 | 6,50 | 6,26 | 0,96 | 64 | 53,2 | 2 | 1,0 | 1,3 | 2,9 | 4,7 |
| Chupá | 2019 | 4,88 | 53 | 218 | 112 | 6,72 | 5,45 | 0,81 | 90 | 4,3 | 27 | 1,7 | 3,2 | 2,9 | 5,0 |
| El Ejido O | 2018 | 0,87 | 53 | 196 | 90 | 6,21 | 4,23 | 0,68 | 20 | --- | 10 | 1,5 | 3,5 | 4,9 | 0,1 |
| Promedio B | | 5,63 | 53 | 223 | 114 | 6,31 | 5,74 | 0,91 | 98 | 6,6 | 30 | 1,9 | 2,9 | 3,0 | 3,6 |

Rend =Rendimiento (t·ha⁻¹), Flor =Floración, AlPt =Altura de planta, Almz =Altura de mazorca, Ptm² =Plantas/m², Mzm² =Mazorcas/m², MzPt⁻¹ =Mazorcas por planta, PMz =Peso de mazorcas, Pod =% mazorcas podridas, Aca =% plantas acamadas, Enf =Bipolaris, Aspt =Aspecto de planta, Asmz =Aspecto de mazorcas, Cob = % de mala cobertura transformada.

Efecto de Genotipos

El rendimiento de grano promedio del combinado de las 23 localidades, así como el rendimiento de las seis variedades en los dos grupos ambientales definidos se presentan en el Cuadro 9. El testigo nacional IDIAP-MV-1102 presentó un rendimiento promedio de 5,45 t·ha⁻¹. De todas las variedades evaluadas, dos sobrepasaron la media general en el combinado de 23 localidades, sobresaliendo de manera significativa las variedades S10TLYNGSHAB01 y S10TLYNGSHGAB03 con medias de 6,39 y 5,74 t·ha⁻¹. Estas mismas superaron estadísticamente al testigo en 17 y 5%, respectivamente. Siguieron a éste primer grupo, el formado por S16LTYNHGAB03 y S16LTYNHGAB01 con rendimientos similares al testigo. La variedad S10TLYNGSHGAB01 presentó el rendimiento más alto en las localidades del Grupo B con 6,35 t·ha⁻¹ (19% sobre el testigo) y no difirió estadísticamente del SL10TLYNGSHGAB03 en el Grupo A.



Cuadro 9. Medias ajustadas del rendimiento de grano, de las variedades evaluadas y su comportamiento versus el testigo de mayor área sembrada en el país, Panamá 2017-2019.

| | Rendimiento de grano (t·ha ⁻¹) | | | % sobre el testigo IDIAP-MV-1102 | | |
|----------------------|--|-------------|-------------|----------------------------------|----------|----------|
| | 23 Loc | GA | GB | 23 Loc | GA | GB |
| 1 S10TLYNGSHGAB01 | 6,39 | 6,65 | 6,35 | 17 | 10 | 19 |
| 2 S10TLYNGSHGAB02 | 5,74 | 6,67 | 5,60 | 5 | 11 | 5 |
| 3 S16LTYNHGAB03 | 5,63 | 5,36 | 5,67 | 3 | -11 | 6 |
| 4 S16LTYNHGAB01 | 5,50 | 5,42 | 5,52 | 1 | -10 | 3 |
| 5 IDIAP-MV-1102 (TL) | 5,45 | 6,03 | 5,36 | 0 | 0 | 0 |
| 6 S07TLYNHGAB02 (TR) | 5,41 | 6,47 | 5,25 | -1 | 7 | -2 |
| Promedio | 5,69 | 6,10 | 5,63 | 4 | 1 | 6 |

Con relación a la población de plantas al momento de la cosecha, los valores oscilaron entre 6,08 y 6,39 plantas cosechadas por metro cuadrado, siendo el IDIAP-MV-1102 el sintético con el menor número de plantas al momento de la cosecha. Todas las variedades, presentaron valores similares en porcentaje de mazorcas podridas con porcentaje inferiores a 7,0% en el promedio de todas las localidades. Todos los materiales presentaron una alta prolificidad de mazorcas por planta con valores muy cercanos a una mazorca por planta. Las variedades fueron muy similares en floración femenina, con valores entre 52 y 53 dds. Respecto a la altura de planta, el sintético de menor estatura fue el S07TLYNHGAB02 seguido por el IDIAP-MV-11022 con 220 y 222 cm, respectivamente. Las medidas de altura de la mazorca variaron entre 112 a 117 cm, siendo estos mismos sintéticos los que presentaron la posición más baja, mientras que el más alto fue el S16LTYNHGAB01 (Cuadro 10).

En cuanto a las principales enfermedades foliares en cada localidad se calificaron diversas enfermedades, por lo que la media general indica más bien la sanidad foliar de los cultivares. El porcentaje promedio de acame de tallo fue de 31%, siendo el S10TLHNGSHGAB2 el de menor porcentaje de acame con 28%. Por otro lado, IDIAP-MV-1102 fue el de mayor porcentaje con 36% de plantas acamadas. Todos los sintéticos presentaron un bajo porcentaje de punta de la mazorca descubierta, sin embargo, el IDIAP-MV-1102 fue el que más bajo valor promedio presentó con 2,5%. Las variedades tuvieron una altura de mazorca y altura de planta similar con medias de 115 y 224 cm, respectivamente. La variedad S10TLYNGSHGAB01 presentó un Rendimiento Normalizado de 0,98, representando la única superior a la media. La gran mayoría de los sintéticos presentaron una puntuación cercana a 1,0 con respecto a la textura, lo que indica



que pueden ser considerados como Cristalinos, coincidiendo con la textura preferida en el mercado de maíz de Panamá.

Cuadro 10. Medias Ajustadas del rendimiento de grano y otras características agronómicas del Combinado a través de los años de seis variedades de maíz. Panamá, 2017-2019.

| | Rend t·ha ⁻¹ | RN _i | Flor días | Alpt cm | Almz cm | Ptm ² | Mzm ² | MzPt ⁻¹ | Pmz g | Pod % | Aca % | Enf 1-5 | Aspt 1-5 | Asmz 1-5 | Cob % | Tex 1-4 |
|---------------------------|----------------------------|-----------------|--------------|------------|------------|------------------|------------------|--------------------|----------|----------|----------|------------|-------------|-------------|----------|------------|
| S10TLYNGSHGAB01 | 6,39 | 0,98 | 53 | 226 | 116 | 6,39 | 6,02 | 0,94 | 108 | 6.6 | 30 | 1,9 | 2,8 | 2,8 | 4,7 | 1,1 |
| S10TLYNGSHGAB02 | 5,74 | -0,01 | 52 | 224 | 114 | 6,37 | 5,80 | 0,91 | 99 | 6.5 | 28 | 2,0 | 2,9 | 3,0 | 4,7 | 1,3 |
| S16LTYNHGAB03 | 5,63 | -0,12 | 53 | 225 | 114 | 6,39 | 5,79 | 0,91 | 97 | 5.1 | 31 | 2,0 | 2,9 | 3,0 | 4,9 | 1,2 |
| S16LTYNHGAB01 | 5,50 | -0,22 | 53 | 226 | 117 | 6,41 | 5,79 | 0,91 | 95 | 6.5 | 32 | 1,9 | 3,0 | 3,0 | 4,7 | 1,3 |
| IDIAP-MV-1102 (TL) | 5,45 | -0,27 | 53 | 222 | 114 | 6,08 | 5,56 | 0,92 | 98 | 6.3 | 36 | 1,9 | 3,0 | 3,0 | 2,5 | 1,0 |
| S07TLYNHGAB02 (TR) | 5,41 | -0,36 | 53 | 220 | 112 | 6,22 | 5,70 | 0,92 | 95 | 5.6 | 30 | 2,0 | 2,9 | 3,1 | 3,3 | 1,2 |
| Promedio | 5,69 | 0,00 | 53 | 224 | 115 | 6,31 | 5,78 | 0,92 | 98 | 6.1 | 31 | 1,9 | 2,9 | 3,0 | 4,1 | 1,2 |
| DMS 5% | 0,27 | 0,32 | 0,1 | 5 | 4 | 0,17 | 0,22 | 0,03 | 4 | 3.8 | 4 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 1,5 | 0,2 |

Rend =Rendimiento de grano, RN_i =Rendimiento Normalizado, Flor =Floración femenina, AlPt =Altura de planta, Almz =Altura de mazorca, Ptm² =Plantas/m², Mzm² =Mazorcas/m², MzPt⁻¹ =Mazorcas por planta, PMz =Peso de mazorcas, Pod =% mazorcas podridas, Aca =% plantas acamadas, Enf =Bipolaris, Aspt =Aspecto de planta, Asmz =Aspecto de mazorcas, Cob = % de mala cobertura, Tex = Textura del grano.

Interacción Genotipo por Ambiente

El análisis de varianza Tipo IV del rendimiento de grano para el combinado de 23 localidades, así como el valor de los dos ejes principales de la interacción genotipo-ambiente, obtenidos a través del modelo Biplot GGE-SReg se presenta en el Cuadro 11. El resultado de este análisis indicó que los dos primeros ejes (PCA) explicaron el 75,6% de la interacción genotipo ambiente con tan solo el 39,6% de los grados de libertad.

Las puntuaciones Biplot GGE-SReg, tanto de los genotipos como de las localidades, presentan diferentes patrones de interacción (Cuadro 12). Con estas puntuaciones cada variedad y cada localidad es representada en la gráfica Biplot que se muestra en la Figura 2. De acuerdo a Yan et al. (2000), al graficar las puntuaciones de ambos ejes principales, se forma un polígono con los genotipos que están más alejados del centro (0,0). Estos genotipos en los vértices del polígono son los que más aportan a la interacción, es decir, éstos son considerados los mejores e inferiores dependiendo de su ubicación (Yan et al., 2007; Samonte et al., 2005). Las líneas punteadas en verde son perpendiculares a cada lado del polígono desde el punto central de la gráfica. Estas líneas dividen el polígono en sectores o Grupos Ambientales (con ambientes similares entre sí para la respuesta de los genotipos ubicados dentro de cada sector). En donde el genotipo que está ubicado en el vértice de cada sector corresponde al genotipo con mejor desempeño en el mismo (Yan et al., 2007).



©2020 Ciencia Agropecuaria es desarrollada en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escribir a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa

Cuadro 11. Análisis de varianza Tipo IV y componentes principales (PCA) para la variable rendimiento de grano, Panamá, 2017-2019.

| <i>F de V</i> | <i>gl</i> | <i>Suma de Cuadrados Tipo IV</i> | <i>Cuadrados Medios</i> |
|---------------|-----------|--------------------------------------|-----------------------------|
| AMB | 22 | 634,24 | 28,83** |
| GEN | 5 | 46,25 | 9,25** |
| GEN x AMB | 110 | 72,46 | 0,66 |
| PCA-1 | 26 | 61,22 | 2,35 |
| PCA-2 | 24 | 28,48 | 1,16 |

Cuadro 12. Puntuaciones de los dos ejes correspondientes a los componentes principales (PCA) para rendimiento de grano según genotipo y localidad, Panamá 2017-2019.

| <i>Híbridos</i> | <i>PCA1</i> | <i>PCA2</i> | <i>Localidades</i> | <i>Abrev.</i> | <i>Año</i> | <i>PCA1</i> | <i>PCA2</i> |
|-----------------------|-------------|-------------|--------------------|---------------|------------|-------------|-------------|
| 1. S16LTYNHGAB01 | -0,560 | -0,624 | El Ejido A | L15 | 2017 | 0,326 | 0,656 |
| 2. S16LTYNHGAB03 | 0,027 | -1,169 | El Salaíto | L16 | 2017 | 0,453 | 1,040 |
| 3. S10TLYNGSHGAB01 | 1,674 | 0,096 | Nuevo Ocú | L17 | 2017 | 0,728 | 0,449 |
| 4. S10TLYNGSHGAB02 | 0,423 | 0,711 | La Colorada | L18 | 2017 | 0,074 | 0,323 |
| 5. S07TLYNHGAB02 (TR) | -0,795 | 0,897 | La Candelaria | L25 | 2018 | 0,175 | -0,148 |
| 6. IDIAP-MV-1102 (TL) | -0,769 | 0,088 | Purio | L26 | 2018 | 0,376 | 0,325 |
| 7. | | | La Laguna | L27 | 2018 | 0,188 | -0,289 |
| 8. | | | Chupá | L28 | 2018 | 0,173 | -0,412 |
| 9. | | | Aranda | L29 | 2018 | 0,328 | -0,131 |
| 10. | | | Quindío | L30 | 2018 | 0,353 | -0,074 |
| 11. | | | Río Sereno | L33 | 2018 | 0,903 | 0,054 |
| 12. | | | Monte Lirio | L34 | 2018 | 0,685 | -0,536 |
| 13. | | | El Ejido O | L35 | 2018 | 0,212 | 0,130 |
| 14. | | | El Ejido A | L41 | 2019 | 0,258 | -0,028 |
| 15. | | | La Candelaria | L42 | 2019 | 0,315 | 0,072 |
| 16. | | | El Ejido S | L43 | 2019 | 0,427 | -0,030 |
| 17. | | | Chupá | L44 | 2019 | 0,379 | -0,276 |
| 18. | | | La Mina | L45 | 2019 | 0,128 | -0,360 |
| 19. | | | El Nanzal | L48 | 2019 | 0,213 | 0,050 |
| 20. | | | Aranda | L49 | 2019 | 0,300 | -0,338 |
| 21. | | | Quindío | L50 | 2019 | 0,982 | -0,451 |
| 22. | | | Los Yáñez | L54 | 2019 | 0,397 | 0,131 |
| 23. | | | Guarumal | L55 | 2019 | -0,324 | -0,056 |

Si todos los ambientes o localidades caen en un solo sector, esto indica que un solo cultivar tuvo el mayor rendimiento en todos los ambientes. Si los marcadores ambientales caen en diferentes sectores, esto indica que diferentes cultivares ganaron en diferentes sectores. Determinar el patrón de qué cultivar fue mejor en qué ambiente de un conjunto de localidades, es una propiedad intrínseca del Biplot GGE (Yan y Kang, 2003; Yan et al., 2007). De acuerdo al resultado de este análisis se formaron dos sectores o Grupos Ambientales. El primero conformado por las localidades El Ejido A (L15), El Salaíto (L16) y La Colorada (L18), todas sembradas el año 2017. Un segundo grupo estuvo conformado por el resto de las 20 localidades (Grupo Ambiental B). En el Grupo A, el rendimiento más



alto se obtuvo con el S10TLYNSHGAB02, mientras que el S10TLYNSHGAB01 fue el más alto en el Grupo B. De acuerdo a los marcadores de los genotipos o puntuaciones de los ejes PCA-1 y PCA-2 la variedad más estable (valor del eje PCA-2 más cercano a 0) en el análisis de las 23 localidades fue la S10TLYNGSHGAB01 (Figura 2).

Las localidades con vectores más largos o las localidades que están más alejadas del centro del gráfico (líneas de rojo en la gráfica Biplot) discriminan más los genotipos (Yan et al., 2000). Si un marcador de una localidad está cerca del origen del Biplot; es decir, si la localidad tiene un vector muy corto, significa que todos los genotipos se desempeñaron de manera similar y, por lo tanto, proporcionó poca o ninguna información sobre las diferencias de genotipo. Un vector corto también podría significar que el entorno no está bien representado por PC1 y PC2 si el Biplot no explica la mayor parte del GGE de los datos (Yan et al., 2000; Yan et al., 2007). En esta evaluación las localidades de El Salaito (Grupo A) y Quindío (Grupo B) están más alejadas del centro, por lo que son consideradas las que mejor discriminaron a los genotipos respectivamente.

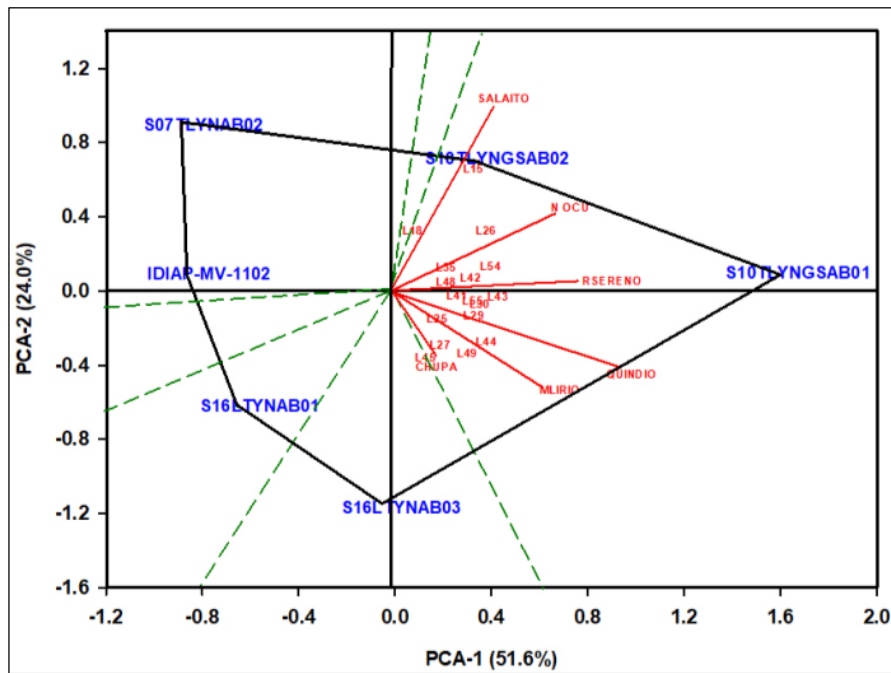


Figura 2. Puntuaciones del primer y segundo eje del componente principal de seis variedades de maíz grano en 23 localidades de Panamá, 2017-2019 (Biplot GGE-SReg).



©2020 Ciencia Agropecuaria es desarrollada en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escribir a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa

Análisis de confiabilidad o respuesta normalizada

Los resultados del análisis de estabilidad y confiabilidad de la respuesta normalizada (RN_i), para las cinco variedades evaluadas los tres años en las 23 localidades, se presentan en el Cuadro 13. Las confiabilidades de la respuesta normalizada difirieron a través de los distintos cultivares de acuerdo al valor del estadístico de Wald ($W= 65,76$, $P=1,77 \times 10^{-7}$). El genotipo S10TLYNGSHGAB01, de baja interacción con el ambiente y una puntuación cercana a cero del segundo eje del Componente Principal (PCA2), presentó una respuesta normalizada superior, con un valor de RN_i de 0,94. El resto de las variedades presentaron respuestas normalizadas menores de 0,70 y valores del PCA2 alejados de 0,00. La respuesta normalizada de la variedad S10TLYNGSHGAB01 significa que en noventa y cuatro de cada cien localidades hay una respuesta superior de esta variedad con respecto al testigo nacional IDIAP-MV-1102. Esta diferencia fue en promedio general de $0,94 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Las magnitudes de las respuestas normalizadas coinciden con los encontrados por Gordón et al. (2015) y Camargo et al. (2003). A diferencia de la estabilidad, la confiabilidad permite hacer inferencias más amplias que ésta, ya que depende de las diferencias con el testigo y el genotipo de interés en las distintas localidades utilizadas en la evaluación (Eskridge et al., 1993).

Cuadro 13. Rendimiento promedio, diferencias de rendimiento (Di), desviación estándar de las diferencias (Sdi), Respuestas normalizadas (RN_i), Puntuación del componente principal del segundo eje de la interacción Genotipo Ambiente (PCA2) y probabilidad de la Respuesta Normalizada con respecto al testigo local IDIAP-MV-1102, Panamá, 2017-2019.

| VARIEDAD | Rend t·ha ⁻¹ | Diferencia t·ha ⁻¹ | Desv. Est. t·ha ⁻¹ | RN _i (Di/Sdi) | Puntuación PCA2 | Probabilidad RN _i >0* |
|------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------------------------|
| S16LTYNHGAB01 | 5,50 | 0,06 | 0,509 | 0,11 | -0,624 | 0,54 |
| S16LTYNHGAB03 | 5,63 | 0,18 | 0,742 | 0,25 | -1,169 | 0,60 |
| S10TLYNGSHGAB01 | 6,39 | 0,94 | 0,622 | 1,52 | 0,096 | 0,94 |
| S10TLYNGSHGAB02 | 5,74 | 0,29 | 0,664 | 0,44 | 0,711 | 0,67 |
| IDIAP-MV-1102 | 5,45 | | | | 0,088 | |

* Estadístico de Wald = 65,76 $P=1,77 \times 10^{-7}$ para hipótesis nula de que no hay diferencias entre confiabilidades verdaderas.

Las curvas de frecuencia acumuladas de las diferencias de las cuatro nuevas variedades con respecto al testigo IDIAP-MV-1102 en función de la probabilidad normalizada presentaron distintos patrones (Figura 3). La confiabilidad de la respuesta difirió a través de las mismas. Según Eskridge et al. (1993), en cuanto más se desplace la función de confiabilidad hacia la derecha, mayor será la diferencia de medias y es más



©2020 Ciencia Agropecuaria es desarrollada en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escribir a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa

probable que la variedad de prueba supere a la variedad testigo. En esta gráfica se aprecia como el sintético S10TLYNGSHGAB01 es mejor que las otras tres variedades en cuanto a superar al testigo en mayor cantidad total para una misma frecuencia acumulada. Se verifica que entre mayor es la diferencia de rendimiento, mayor es la confiabilidad estimada, es decir, si se toma la mediana (50% de todas las localidades), el sintético S10TLYNGSHGAB01 supera al testigo en un poco más de 0,70 toneladas, mientras que los otros sintéticos promedian menos 0,17 t·ha⁻¹. De acuerdo a Camargo et al. (2003), la variación en confiabilidad para los genotipos dentro de un diferencial dado, se debe básicamente a las diferentes magnitudes de las desviaciones estándares a través de los distintos ambientes.

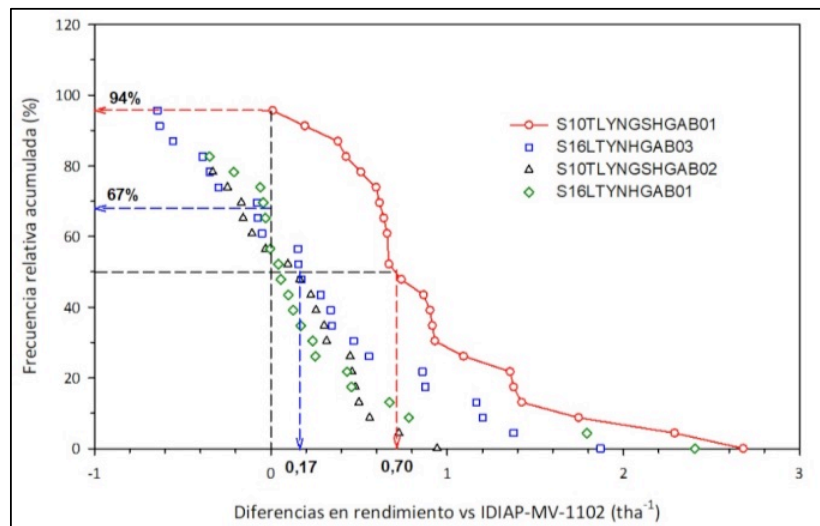


Figura 3. Relación de la frecuencia acumulada de la probabilidad normalizada con las diferencias de rendimiento de las variedades experimentales y el testigo IDIAP-MV-1102, Panamá 2017-2019.

Al comparar la variedad S10TLYNGSHGAB01 con el testigo Regional y Nacional se encontró que el mismo supera a ambos con patrones de frecuencias acumuladas de la respuesta normalizada similar (Figura 4). El resultado del análisis de Rachas, el estadístico de Wald (0,014) indica que la nueva variedad tiene una respuesta similar ante los dos testigos; es decir, no hay diferencias entre las confiabilidades de las respuestas del S10TLYNGSHGAB01 con respecto a los dos testigos; superándolos a ambos en la mayoría de las localidades. Estos resultados han mostrado que ambos testigos son muy buenos genotipos que combinan altos rendimientos y baja interacción. Camargo et al., 2003,



señalan que estas son características favorables que contribuyen a que las respuestas normalizadas de los nuevos genotipos no muestren ganancias muy significativas en rendimientos. Por otra parte, Córdova et al., 1993, indican que los testigos regionales o nacionales deben permitir tanto a productores como a mejoradores un término de referencia para comparar nuevos genotipos; por lo tanto, es necesario que tengan un nivel adecuado de producción y un comportamiento estable a través de los ambientes que estamos interesados en llevar o liberar nuevos cultivares; de lo contrario, si no se tiene un testigo que esté bien adaptado a las condiciones ambientales y de suelo en donde se llevan los ensayos, la confiabilidad nos llevará a conclusiones erróneas (Eskridge y Mumm, 1992).

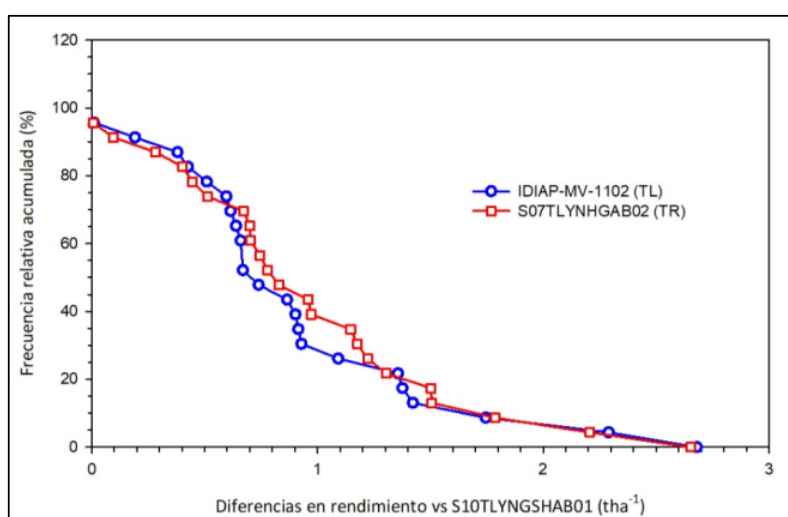


Figura 4. Relación de la frecuencia acumulada de la probabilidad normalizada con las diferencias de rendimiento la variedad S10TLYNGSHAB01 y los dos testigos, Panamá 2017-2019.

CONCLUSIONES

- Se logró identificar genotipos superiores de grano normal adaptados a las condiciones edafoclimáticas del país y que superan al testigo nacional y regional utilizado en la investigación.
- La integración de las metodologías utilizadas como Biplot GGE-SReg y confiabilidad de la respuesta, ayudan a aumentar la certeza de los investigadores en el proceso de selección de cultivares élites con buena adaptabilidad y estabilidad a la región de interés, permitiendo la selección de cultivares superiores.



©2020 Ciencia Agropecuaria es desarrollada en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escribir a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa

- La repetitividad como herramienta que mide la precisión experimental se ve afectada cuando todos los cultivares evaluados tienen un potencial de rendimiento similar, reduciendo la varianza entre genotipos hasta tomar valor de cero.

RECOMENDACIONES

- Presentar toda la documentación generada para el registro ante el Comité Nacional de Semillas del Ministerio de Desarrollo Agropecuario, de las nuevas variedades S10TLYNGSHGAB01 y S16LTYQHGAB05 para su siembra en la República de Panamá.
- El nombre sugerido para estas variedades es de IDIAP-MV-1816 en el caso de la variedad amarilla de grano normal y de IDIAP-MQ-18 para la variedad de grano amarillo de alta calidad proteica.

BIBLIOGRAFÍA

- Camargo-Buitrago, I., R. Gordón-Mendoza, y E.I. Quirós-McIntire. 2017. La repetitividad como estimador de la precisión experimental en el análisis de experimentos. *Agronomía Mesoamericana* 28(1):159-169. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.24239>.
- Camargo, I., E.I. Quirós y V.M. Camargo. 2014. Selección de nuevos genotipos de arroz basados en la probabilidad de superar al testigo. *Agronomía Mesoamericana* 25(1):63-71. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43730495007> (consultado 14 abr. 2020).
- Camargo, I., R. Gordón y M.R. Fuentes. 2003. Estabilidad y confiabilidad de los nuevos híbridos de maíz en comparación al testigo regional HB-83, 1998-200. *Agronomía Mesoamericana* 14(2):129-134. <https://www.redalyc.org/pdf/437/43714201.pdf>
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1995. Manejo de los ensayos e informe de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT. México, D.F. 20p.
- Córdova, H.S., y H.J. Barreto, J. Crossa. 1993. Impacto del desarrollo de híbridos en Centro América: confiabilidad de las ganancias en rendimiento sobre el genotipo H5 y



consideraciones para selección de testigos regionales. En: Síntesis de resultados Experimentales del PRM. 4:3-10. <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/3636/67845.pdf> (consultado 14 ago. 2020).

Cornelius, P.L., and J. Crossa. 1999. Prediction assessment of shrinkage estimators of multiplicative model for multi environment cultivar trials. *Crop Science*. 39:998-1009. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.0011183X003900040007x>

Cornelius, P.L., J. Crossa, and M.S. Seyedsadr. 1996. Statistical test and estimators of multiplicative models for genotype-by-environment interaction. En: Kang, M.S. y Gauch, H.G. (eds). *Genotype-by-environment interaction*. Boca Ratón, FL., CRC Press. 199-234.

Crossa, J., P.N. Fox, W.H. Pfeiffer, S. Rajaram, and H.G. Gauch, Jr. 1991. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. *Theoretical and Applied Genetics*. 81(1):27-37. <https://doi.org/10.1007/BF00226108>

Eberhart, S.A., and W.A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 6:36-40. <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>

Eskridge, K.M., O.S. Smith, and P.F. Byrne. 1993. Comparing test cultivars using reliability functions of test check differences from on farm trials. *Theoretical and Applied Genetics*. 87:60-64.

Eskridge, K.M., and R.F. Mumm. 1992. Choosing plant cultivars based on the probability of outperforming a check. *Theoretical and Applied Genetics*. 84:494-500.

Gordón-Mendoza, R., J.E. Franco, J.I. Núñez, A.E. Sáez, J.E. Jaén., F.P. Ramos y A.E. Ávila. 2019. Evaluación de la adaptabilidad de híbridos de maíz a las condiciones agroclimáticas de la Región de Azuero, Panamá, 2017. *Visión Antataura* 3(2):15-32.



Gordón-Mendoza, R., J. Franco Barrera, J. Núñez Cano, J. Jaén Villarreal, A. Sáez Cigarruista, F. Ramos Manzané y A. Ávila Guevara. 2017. Variedades de maíz en la Región de Azuero, Panamá, 2017. *Ciencia Agropecuaria* 28:117-131.

Gordón-Mendoza, R., y I. Camargo-Buitrago. 2015. Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 26(1) 55:63. DOI: [10.15517/am.v26i1.16920](https://doi.org/10.15517/am.v26i1.16920)

Gordón, R. 2009. Manejo Integral del cultivo de Maíz. Folleto Técnico. IDIAP. 20 pág.

Johnson, D.E. 2000. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. International Thompson Editors. 566 p.

Kogo, B.K., L. Kumar, R. Koech, and P. Langat. 2019. Modelling Impacts of climate change on maize (*Zea mays L.*) growth and productivity: A review of models, outputs and limitations. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 7:76-95. DOI: [10.4236/gep.2019.78006](https://doi.org/10.4236/gep.2019.78006)

Ruane, A.C., C.L. DeWayne, R.M. Horton, R. Gordón, R. McCollum, D. Brown, B. Killough, R. Goldberg, A.P. Greeley, and C. Rosenzweig. 2013. Climate change impact uncertainties for maize in Panama: Farm information, climate projections, and yield sensitivities. *Agricultural and Forest Meteorology*. 170:132-145. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.10.015>

Samonte, S.O.PB., L.T. Wilson, A.M. McClung, and J.C. Mendley. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE Biplot analyses. *Crop Science*. 45:2414-24124.

Srivastava, A.K., C.M. Mboh, G. Zhao, T. Gaiser, and F. Ewert. 2018. Climate change impact under alternate realizations of climate scenarios on maize yield and biomass in Ghana. *Agricultural Systems* 159:157-174. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2017.03.011>



- Vargas, M., E. Combs, G. Alvarado, G. Atlin, K. Mathews, and J. Crossa. 2013. META: A suite of SAS Programs to analyze Multi environment breeding trials. *Agronomy Journal*. 105:11-19.
- Yan, W., M.S. Kang, B. Ma, S. Woods, and P.L. Cornelius. 2007. GGE Biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science* 47:641-653.
DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0374>
- Yan, W., and N.A. Tinker. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*. 86: 623-645.
DOI: <https://doi.org/10.4141/P05-169>
- Yan, W., and M.S. Kang. 2003. *GGE Biplot Analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists*. CRC Press, Boca Ratón, FL. 271 p.
- Yan, W., and I. Rajcan. 2002. Biplot Analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science* 42:11-20. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.1100>
- Yan, W., L.A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnic. 2000. Cultivar Evaluation and Mega Environment Investigation based on the GGE Biplot. *Crop Science*. 40:597-605.
DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x>

