

SELECCIÓN DE MAÍZ DE GRANO BLANCO QPM Y ALTO CONTENIDO DE ZINC¹

**Román Gordón-Mendoza²; Jorge E. Franco-Barrera³; Francisco P. Ramos-Manzané⁴;
Ismael Camargo-Buitrago⁵; Félix M. San Vicente-García⁶**

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la adaptabilidad y estabilidad de variedades de maíz de grano normal, alto contenido de zinc y alta calidad proteica de color blanco, se sembraron ensayos en 16 localidades de Panamá. Los mismos fueron sembrados en campos de agricultores colaboradores y la Estación Experimental El Ejido del IDIAP por tres años (2022-2024). El primer año se evaluaron 18 variedades, luego se redujeron a 12 y finalmente en el 2019 se evaluó la de mejor desempeño con seis variedades liberadas previamente en el Proyecto de maíz. Para el análisis de la data se utilizó el diseño experimental Bloques Completos al Azar con tres repeticiones. 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 de varianza a través de los años, así como el análisis de estabilidad indican que el sintético S16LTWNQHZNHGAB01 fue la de mejor desempeño y más estables en las distintas localidades. Después de tres años de evaluación, el testigo local IDIAP-MQ-09 tuvo un rendimiento de 4,70 t·ha⁻¹, y el mismo fue superado en más del 25% por el sintético S16LTWNQHZNHGAB01 con rendimiento de 6,06 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 nueve de cada diez localidades la nueva variedad supera al testigo nacional. Se recomienda el registro de esta variedad para uso por los agricultores de la República de Panamá.

Palabras clave: Adaptabilidad, Biplot GGE, Confiabilidad de la respuesta, estabilidad, variedades sintéticas.

¹Recepción: 19 de junio de 2025. Aceptación: 11 de julio de 2025.

²Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Centro de Innovación Agropecuaria de Azuero "Ing. Germán De León" (CIA-Azuero), Los Santos, Panamá. e-mail: gordon.roman@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8433-2357>

³IDIAP, CIA-Azuero, Panamá. Ph.D. Nutrición Mineral e-mail: jorgenunezcano@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0005-3417-4791>

⁴IDIAP, CIA-Azuero. Ingeniero Agrónomo. e-mail: franciscoramos2016@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0003-3203-3069>

⁵Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). e-mail: camargo.ismael@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4199-0621>

⁶Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), e-mail: fsanvi60@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5988-3114>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

SELECTION OF A WHITE-GRAIN QPM MAIZE WITH HIGH ZINC CONTENT

ABSTRACT

The adaptability and stability of white-grain maize varieties with normal endosperm, high zinc content, and quality protein maize (QPM) characteristics were evaluated across 16 locations in Panama. Field trials were conducted in collaborating farmers' fields and at the El Ejido Experimental Station of the Panamanian Agricultural Innovation Institute (IDIAP) over three consecutive years (2022–2024). During the first year, 18 varieties were evaluated; this number was subsequently reduced to 12, and in the final year, the best-performing candidate was compared with six varieties previously released by the national maize breeding project. Experiments were established using a randomized complete block design with three replications. Data were analyzed using a combined restricted maximum likelihood (REML) analysis of variance, and treatment means were separated using the least significant difference (LSD) test. Individual and combined analyses of variance across years revealed highly significant differences among varieties for grain yield and other agronomic traits. Combined analyses across environments, together with stability analyses, identified the synthetic variety S16LTWNQHZNHGAB01 as the highest-yielding and most stable genotype across locations. After three years of evaluation, the local check variety IDIAP-MQ-09 achieved a mean grain yield of 4.70 t·ha⁻¹, whereas S16LTWNQHZNHGAB01 produced 6.06 t·ha⁻¹, representing a yield increment of more than 25%. The GGE-SReg biplot analysis further identified S16LTWNQHZNHGAB01 as the most stable genotype across environments. Reliability analysis of the standardized response indicated that the new variety outperformed the national check in approximately 9 out of 10 test environments. Based on its superior yield performance, stability, and adaptability, the registration and release of S16LTWNQHZNHGAB01 for cultivation by farmers in the Republic of Panama is recommended.

Keywords: Adaptability, GGE biplot, reliability analysis, stability, synthetic varieties.

INTRODUCCIÓN

Entre los principales retos que enfrentan los científicos fitomejoradores y agrónomos, están el cambio y la variabilidad climática y mejorar genéticamente la calidad nutricional de los alimentos sin comprometer aspectos como la adaptabilidad, características agronómicas y los rendimientos (Xiong et al., 2022).

La agricultura y el cambio climático están íntimamente relacionados en varios aspectos, ya que el cambio climático es la principal causa de estrés biótico y abiótico, que tiene efectos adversos en la agricultura, variaciones en la precipitación anual, la temperatura media, olas de calor, modificaciones en las malezas, plagas o microorganismos, cambios globales en el nivel de CO₂ atmosférico o de ozono, y fluctuaciones en el nivel del mar (Raza et al., 2019).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

En este sentido, la vulnerabilidad es un concepto que se adapta a diferentes contextos y, debido a esto, resulta complejo estudiarla en su totalidad, por lo que cada modelo teórico y marco metodológico se ha adaptado al contexto de la región específica (Reyes-Anistro et al., 2018). Si bien la resiliencia climática de los nuevos cultivares se ha convertido en el núcleo de los programas de mejoramiento genético, existe una creciente evidencia que demuestran las dificultades y los desafíos en el desarrollo de cultivares resilientes o adaptados a el cambio climático (Xiong et al., 2022).

Por otro lado, el mejoramiento de la calidad nutricional de los alimentos es crucial para la salud pública, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad del sistema alimentario. La biofortificación es una estrategia para mejorar la calidad nutricional de los alimentos, especialmente cultivos básicos, al aumentar el contenido de nutrientes como vitaminas y minerales (Ashraf, 2025).

La desnutrición y el hambre oculta están presentes tanto en países desarrollados como en desarrollo y tienen efectos devastadores a nivel mundial. La biofortificación es el método más sostenible y rentable para aliviar la desnutrición. La biofortificación se ha utilizado para producir cultivos con una densidad y biodisponibilidad de nutrientes adecuadas y ayudar a combatir el hambre oculta (Ofori et al., 2022).

Mediante el fitomejoramiento podemos aumentar los niveles de nutrientes en cultivos básicos hasta alcanzar los niveles requeridos para mejorar la nutrición humana, sin comprometer el rendimiento, ni las características agronómicas preferidas por los agricultores (Bouis & Saltzman, 2017). Sin embargo, uno de los mayores desafíos de la biofortificación, además de los métodos para fortalecer el valor nutricional de los cultivos, es la aceptación pública de los alimentos biofortificados (Ofori et al., 2022).

En general, los granos básicos, legumbres, semillas oleaginosas, hortalizas y frutas son cultivos en los que se centra principalmente la biofortificación mediante estos métodos, centrándose en Zn, Fe, magnesio (Mg), selenio (Se), ácido fólico, carotenoides y vitamina A (Sheoran et al., 2022). Un ejemplo importante de este método de mejoramiento es el



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

desarrollo de maíz de calidad proteica (QPM), ampliamente aceptado por los agricultores. Sin embargo, con métodos convencionales, también se pueden lograr cultivares de maíz con niveles de Zn y Betacaroteno; en arroz y trigo enriquecidos con Fe y Zn, con un mayor rendimiento (Sheoran et al., 2022). En concordancia con esta tendencia global, los proyectos de maíz del IDIAP han generado variedades con alta calidad de proteínas (Gordón-Mendoza et al., 2020; Gordón-Mendoza et al., 2015), alto contenido de Betacarotenos (Gordón-Mendoza et al., 2018).

También es indispensable disponer de estadísticos robustos durante el proceso de selección y evaluación para estos fines (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2021) proponen diferentes herramientas estadísticas básicas para la toma de decisiones al momento de introducir innovaciones tecnológicas varietales, al evaluar genotipos en diferentes años y localidades, tales como: la repetitividad (Yan & Holland, 2010; Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015; Camargo-Buitrago et al., 2017); la adaptabilidad y estabilidad fenotípica mediante el modelo Biplot GGE (Yan et al., 2000; Yan & Rajcan, 2002; Yan & Kang, 2003); el análisis de confiabilidad o respuesta normalizada (Eskridge & Mumm, 1992; Nuland & Eskridge 1992; Eskridge et al., 1993; Eskridge, 1997); el análisis de conglomerado por el método de Ward (Johnson, 2000), que permiten seleccionar con todo el rigor científico los materiales genéticos superiores evaluados en diferentes ambientes y años. El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar la adaptabilidad, estabilidad y respuesta normalizada de variedades de maíz de grano normal y alta calidad proteica y zinc de color blanco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localidades y material genético

En el segundo semestre de los ciclos agrícolas 2022, 2023 y 2024 se sembraron múltiples ensayos (17 en distintas localidades de la Región de Azuero. Todos los genotipos evaluados en esta investigación fueron enviados del Proyecto “*Maize Breeding Network for Latin America*” del Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Los ensayos en campo fueron financiados por el “Proyecto generación de variedades e



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

híbridos de maíz” del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá Agropecuaria de Panamá (Cuadro 1).

Cuadro 1. Diseño, número de repeticiones, tratamientos y localidades de los ensayos de evaluación de variedades en Panamá, 2022-2024.

Año	Diseño	Rep.	Trat.	Provincia	Loc.	Localidades
2022	Alfa Látime 3x6	3	18	Los Santos	5	El Ejido, El Nanzal, San José, Río Pocrí y La Candelaria
2023	Alfa Látime 4x3	3	12	Los Santos	6	El Ejido, El Nanzal, San José, Río Pocrí, Nuevo Ocú y Purio
2024	Bloque al azar	3	7	Los Santos	6	Río Pocrí, La Candelaria, Nuevo Ocú, Purio El Montero, y Mariabé
Total					17	

Rep. Repeticiones; Trat. Tratamientos; Loc. Localidades.

Los mismos se realizaron en parcelas de productores colaboradores, así como en la Estación Experimental El Ejido ubicada en Los Santos, Panamá durante la segunda época de siembra del año 2022 a 2024 (agosto-enero). Las otras ocho localidades se ubicaron en distintos puntos de la provincia de Los Santos. Se midió la precipitación pluvial durante todo el desarrollo del cultivo en pluviómetros cercanos a las localidades en donde se sembraron los ensayos.

En el año 2022 se sembraron 18 variedades de maíz grano blanco, en el mismo se incluyeron siete variedades de grano de alta calidad proteica y alto contenido de Zinc (QPM), 10 variedades de grano normal y un testigo. En el 2023 se evaluaron 12 variedades de grano blanco, de los cuales seis genotipos eran QPM altos en contenido de Zinc, tres variedades de grano normal y tres testigos (dos de los mismos son híbridos Triples y una variedad). Por otra parte, en el año 2024 se sembraron siete variedades, cinco de las cuales son de grano amarillo entre normales, QPM, alto contenido de Betacarotenos y dos de grano blanco QPM. De este grupo de siete variedades, seis ya están liberadas por el IDIAP como variedades para uso de los productores. Las variedades evaluadas en los dos primeros años corresponden a los sintéticos formados con las líneas élite de los distintos programas del CIMMYT hasta el año 2020. Todos los años se sembró la variedad testigo de grano blanco de alta calidad proteica IDIAP-MQ-09, el cual es una variedad sintética (S06TLWQHGAB2) liberada en el año 2013 (Cuadro 2).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 2. Variedades evaluadas por ciclo agrícola en cada experimento, Panamá, 2022-24.

2022	2023	2024
1. S13LTWQHZNHGAB03 2. S16LTWQHZNHGAB07 3. S16LTWNQHZNHGAB01 4. S16LTWNQHZNHGAB02 5. S19LTWQZNHGAB01 6. S19LTWQZNHGAB02 7. S16LTWNHGAB05 8. S20LLTWNHGAB01 9. S19LTWNHGAB13 10. IDIAP-MQ-09 (TL)	1. S13LTWQHZNHGAB03 2. S16LTWQHZNHGAB07 3. S16LTWNQHZNHGAB01 4. S16LTWNQHZNHGAB02 5. S19LTWQZNHGAB01 6. S19LTWQZNHGAB02 7. S16LTWNHGAB05 8. S20LLTWNHGAB01 9. S19LTWNHGAB13 10. IDIAP-MQ-09 (TL)	1. IDIAP-ProA-04 2. IDIAP-MQ-18 3. S16LTWNQHZNHGAB01 4. IDIAP-MV-0706 5. IDIAP-MV-1102 6. IDIAP-MV-1816 7. IDIAP-MQ-09 (TL)
11. S20LLTWZNHGAB01 12. S19LTWNHGAB05 13. S19LTWNHGAB06 14. S19LTWNHGAB08 15. S19LTWNHGAB09 16. S19LTWNHGAB11 17. S19LTWNHGAB12 18. S19LTWNHGAB14	11. SV7019 (TL) 12. CLWQHZN69/CLWQHZN19/ CLWQHZN46 (TR)	

TR = Testigo Regional; TL = Testigo Local.

Unidad experimental

Todos los ensayos 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. Las parcelas experimentales consistieron en dos surcos de 5,2 m de largo. El manejo agronómico de los ensayos respecto al control de malezas y plagas dependió de su incidencia basándose en las recomendaciones del Manual Técnico del maíz del IDIAP (Gordón, 2021). Se aplicó a la siembra 273 kg·ha⁻¹ de una fórmula completa (15,8-26-10-7,56) en forma de banda a 2,5 cm de profundidad. Se realizaron dos aplicaciones suplementarias de nitrógeno al voleo sobre la superficie del suelo. La primera en forma de Urea-S (38-0-0-7S) alrededor de la etapa V6 o 21 días después de siembra (dds) a razón de 159 kg·ha⁻¹ y la segunda en la etapa V10 a V11 (35 dds) con la fórmula 30-0-20 a razón de 204 kg·ha⁻¹. 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.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Variables medidas

Los datos tomados incluyeron caracteres cuantitativos como: días a floración masculina y femenina, altura de planta y mazorca, número de plantas acamadas de tallo, número de mazorcas podridas, número de plantas y mazorcas al momento de la cosecha, rendimiento de grano, número de mazorcas con mala cobertura y humedad del grano. Además, se midieron variables cualitativas, como: aspecto de planta y mazorcas (escala 1 a 5), textura de grano (escala 1 a 4), enfermedades al follaje tales como *Bipolaris maydis*, *Exserohilum turcicum*. 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. 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 combinado por año con las 10 variedades en común, así como un combinado de los primeros dos años (2022 y 2023). Para los análisis de varianza individuales y combinado se utilizó el diseño de Bloques Completo al Azar (BCA) con tres repeticiones. Los análisis de varianzas se realizaron con el método REML (Restricted Maximum Likelihood) propuesto por Vargas et al., (2013). El cálculo por localidad de las varianzas de cada una de las fuentes de variación (1) y de la repetitividad (2) se realizó de acuerdo con las siguientes fórmulas:

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

$$H = \frac{\delta^2_{Trat}}{\delta^2_{Trat} + \delta^2_{Error} / No \text{ rep}} \quad (2)$$



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

En donde Y_{ijk} es el tratamiento de interés; μ es la media general; Rep_i es el efecto de la i -ésima repetición; Gen_k es el efecto j -ésimo genotipo, y ε_{ij} es el error residual. En este modelo los genotipos se consideran como efectos fijos y las repeticiones como efectos al azar. Las localidades que tuvieron una repetitividad superior a cero, se les realizó un análisis de varianza combinado por año (3) y un combinando a través de años con el modelo BCA (3). Para la repetitividad del análisis combinado (4) se utilizó la fórmula propuesta por Vargas et al (2013):

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

$$H = \frac{\delta^2_{Trat}}{\delta^2_{Trat} + \delta^2_{Loc}/No\ loc + \delta^2_{Error}/(No\ loc \times No\ rep)} \quad (4)$$

En donde los nuevos términos Loc_i y $Loc_i \times Gen_i$ son los efectos para la i -ésima localidad y la interacción genotipo por localidad, ambos considerados términos al azar dentro del modelo. 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 o el Mejor predictor lineal insesgado (BLUP) 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 & Crossa, 1999). El modelo matemático del SReg (5) es:

$$\bar{y}_{ik} = \mu + \delta_j + \sum_{k=1}^t \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + \bar{\varepsilon}_{ij} \quad (5)$$

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



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

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.; $\bar{\varepsilon}_{ij}$ 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). Este método utiliza el análisis de la varianza para evaluar la distancia entre grupos, minimizando la suma de los cuadrados de las distancias entre los conglomerados que son formados en cada interacción.

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 (RNI), del i -ésimo genotipo se determinó a partir de los diferenciales de rendimiento con respecto al testigo IDIAP-MQ-09. Los valores promedios de las diferencias (d_i) y la desviación estándar de las diferencias (Sd_i) se estimaron en todos los ambientes. A continuación, se determinó el valor estandarizado (d_i/Sd_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., 1994; 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-MQ-09 (Eskridge & Mumm, 1992).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las fechas de siembra y la precipitación pluvial en las cuatro etapas de desarrollo del cultivo de las localidades se presentan en el Cuadro 3, junto a los lugares donde se sembraron los ensayos. La etapa de 0 a 30 dds se refiere a la etapa inicial de crecimiento vegetativo en donde la falta de lluvias puede causar la muerte de la planta. La etapa de 31 a 50 dds es la etapa prefloración, mientras que de 51 a 80 dds incluye la floración y llenado de



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

grano, siendo éstas las dos etapas más críticas en donde se requiere buena humedad para la formación y llenado del grano. La cuarta etapa que va de 81 a 100 dds se considera la etapa final de llenado y pérdida de humedad del grano (Gordón et al., 2025).

Las localidades de El Ejido, San José y El Nanzal sembradas en el 2022 presentaron registros de lluvia por encima de los 500 mm desde la siembra hasta los 100 dds, por el contrario, los ensayos de La Candelaria, Río Pocrí tuvieron acumulados menores de 470 mm, ambos valores considerados como buenos para el desarrollo del cultivo de maíz (Cuadro 3).

Las localidades de El Nanzal, La Candelaria y Río Pocrí tuvieron acumulados de lluvia por debajo de los 100 mm en los primeros 30 días. En todas las localidades del 2022 en el período entre 31 a 50 dds hubo lluvias menores a los 200 mm. En San José y El Ejido, la precipitación fue de 188 y 79 mm, en el período o fase final que va de 81 a 100 dds. El resto de las localidades la lámina acumulada al final del periodo fue de menos de 40 mm (Cuadro 3).

Cuadro 3. Fecha de siembra, precipitación pluvial en las localidades de los ensayos, Panamá, 2022-2024.

Localidad	Fecha siembra	Precipitación pluvia (mm)/período (dds)				
		0-30 dds	31-50	51-80	81-100	Total
El Ejido	25-ago-22	170	159	250	79	658
San José	29-ago-22	177	137	281	188	783
El Nanzal	31-ago-22	87	186	260	39	572
Río Pocrí	01-sep-22	86	109	212	35	442
La Candelaria	05-sep-22	94	103	184	32	413
El Ejido	22ago-23	49	64	205	196	514
El Nanzal	30-ago-23	56	49	228	107	440
Río Pocrí	31-ago-23	114	23	207	115	459
Purio	01-sep-23	83	38	288	83	492
La Candelaria	05-sep-23	57	97	141	135	430
Nuevo Océ	12-sep-23	21	123	214	28	386
Río Pocrí	16-sep-24	144	94	233	31	502
La Candelaria	30-ago-24	144	94	233	31	502
El Montero	06-sep-24	194	145	444	74	857
Purio	04-sep-24	189	146	461	58	854
Nuevo Océ	17-sep-24	171	103	221	18	513
Mariabé	10-sep-24	190	231	379	52	852

dds - días después de la siembra.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

En el año 2023, todas las localidades presentaron registros de lluvia por debajo de los 500 mm desde la siembra hasta los 100 días después de la siembra (dds), con excepción de la siembra en El Ejido con acumulado de 514 mm, siendo ésta la localidad con mayor acumulación de lluvias de todo el período. La localidad con el registro más bajo (386 mm) fue Nuevo Ocu. Los ensayos en El Nanzal, Río Pocrí y Purio se caracterizaron por presentar un bajo acumulado de lluvias (113 mm) en la fase vegetativa del cultivo y el mayor acumulado (401 mm) después de la floración (50 a 100 dds). En La Candelaria a pesar de tener acumulados similares, la distribución en estas dos etapas fue más parecida en ambas fases del cultivo. En varias las localidades, en el período o fase final que va de 81 a 100 dds, la precipitación fue por encima de los 250 mm. Por otra parte, las siembras realizadas en 2024 en las localidades de El Montero, Purio y Mariabé presentaron registros por encima de los 800 mm desde la siembra hasta los 100 dds. Ese mismo año, las siembras realizadas en Río Pocrí, La Candelaria y Nuevo Ocu presentaron registros muy cercanos a los 500 mm, pero con la ventaja que en el período más crítico que es entre los 50 y 80 dds tuvieron una muy buena precipitación acumulada (alrededor de los 230 mm) y muy baja (menos de 30 mm) en la etapa de 80 a 100 dds. En relación con las localidades de Purio y Mariabé presentaron lluvias acumuladas alrededor de los 850 mm con una buena distribución durante todo el período de desarrollo del cultivo (Cuadro 3).

En general, todos los suelos en donde se llevaron los experimentos se consideran suelos de fertilidad media para el cultivo de maíz. Estos suelos son clasificados como bajos en fósforo con excepción del suelo de Río Pocrí y El Nanzal en donde el valor encontrado es igual o superior a la dosis crítica de 13 cmol/kg (Gordón-Mendoza et al., 2016). En relación con el potasio, los suelos son considerados de contenido medio a alto. En calcio y magnesio se clasifican como altos en contenido; y bajos en aluminio. Su pH es ácido a muy ácido y su textura va de arcillosa a franco arcillosa con excepción de la localidad La Candelaria que presentan textura arenosa. Todos los suelos son bajos en materia orgánica y bajos en zinc (Cuadro 4).

Análisis de los ensayos de 2022 y 2023

El análisis individual por localidad indicó que todos los análisis presentaron repetitividad (H) entre 0,93 y 0,17 por lo que todas las localidades fueron incluidas en el análisis combinado.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

También se presenta el cociente DMS/Rango el cual varió de 0,22 a 0,83, indicando este valor la buena precisión de los ensayos individuales (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015; Camargo-Buitrago et al., 2017). El coeficiente de variación máximo fue de 14,1 en el Ensayo de El Nanzal, mientras que el más bajo fue 6,3 en Río Pocrí del año 2023, el cual presentó la mayor repetitividad con 0,93 (Cuadro 5).

Cuadro 4. Análisis del suelo en las localidades de los ensayos, Azuero, Panamá, 2022-2024.

Localidad	Textura %	M.O	pH	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe	Zn	Cu
	A-L-Arc	%		Cmol/kg					mg/l			
El Ejido	20-32-48	1,24	5,4	4	0,22	15,9	12,4	0,2	36,4	12,3	1,5	4,8
San José	34-20-46	1,60	5,5	2	0,19	18,3	10,5	0,1	29,0	2,0	0,0	6,0
El Nanzal	40-26-34	3,02	6,2	13	0,48	1,6	0,7	0,3	65,0	40,0	4,0	6,0
Río Pocrí	40-32-28	0,21	5,8	61	0,50	23,2	13,0	0,2	26,2	21,6	1,4	2,1
La Candelaria	52-28-20	0,57	5,7	0	0,28	7,8	9,1	0,2	36,2	31,6	1,9	4,2
El Ejido	20-32-48	1,24	5,4	4	0,22	15,9	12,4	0,2	36,4	12,3	1,5	4,8
El Nanzal	40-26-34	3,02	6,2	13	0,48	1,6	0,7	0,3	65,0	40,0	4,0	6,0
Río Pocrí	40-32-28	0,21	5,8	61	0,50	23,2	13,0	0,2	26,2	21,6	1,4	2,1
Purio	40-36-24	0,66	4,7	2	0,40	19,2	11,9	0,3	44,0	14,0	0,9	1,0
La Candelaria	52-28-20	0,57	5,7	0	0,28	7,8	9,1	0,2	36,2	31,6	1,9	4,2
Nuevo Ocu	34-20-46	1,60	5,5	2	0,19	18,3	10,5	0,1	29,0	2,0	0,0	6,0
Río Pocrí	40-32-28	0,21	5,8	61	0,50	23,2	13,0	0,2	26,2	21,6	1,4	2,1
La Candelaria	52-28-20	0,57	5,7	0	0,28	7,8	9,1	0,2	36,2	31,6	1,9	4,2
Purio	40-36-24	0,66	4,7	2	0,40	19,2	11,9	0,3	44,0	14,0	0,9	1,0
Nuevo Ocu	34-20-46	1,60	5,5	2	0,19	18,3	10,5	0,1	29,0	2,0	0,0	6,0
Mariabé	38-32-30	2,68	5,6	2	0,23	15,1	9,4	0,1	67,4	95	1,9	7,6

A = arena, L = limo, Arc = arcilla, M.O. = materia orgánica

Cuadro 5. Cuadrados medios por fuente de variación, Cociente DMS/Rango, repetitividad y coeficiente de variación del análisis por localidad del ensayo variedades, Azuero, Panamá, 2022-23.

Localidad	Año	S ² Repetición	S ² Genotipo	S ² Residuo	DMS/ Rango	H	C.V. (%)
1. El Ejido-2	2022	0,022	0,371	0,358	0,49	0,76	9,2
2. San José-2	2022	0,004	0,363	0,149	0,37	0,88	6,9
3. El Nanzal-2	2022	0,069	0,086	0,281	0,70	0,48	11,7
4. Río Pocrí-2	2022	0,004	0,357	0,516	0,61	0,67	11,1
5. La Candelaria-2	2022	0,000	0,314	0,332	0,45	0,74	11,1
6. El Ejido-3	2023	0,027	0,310	0,092	0,30	0,91	9,0
7. El Nanzal-3	2023	0,360	0,022	0,327	0,83	0,17	14,1
8. Río Pocrí-3	2023	0,081	0,601	0,136	0,25	0,93	6,3
9. Purio-3	2023	0,058	0,626	0,168	0,27	0,92	6,9
10. La Candelaria-3	2023	0,205	0,708	0,162	0,22	0,93	7,3
11. Nuevo Ocu-3	2023	0,000	0,672	0,406	0,34	0,83	10,8



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El análisis de varianza combinado del rendimiento y algunas características agronómicas de las once localidades presenta una repetitividad de 0,93, con un coeficiente DMS/Rango de 0,22. El coeficiente de variación fue de 9,7% para la variable rendimiento de grano; los valores de todos estos estadísticos indican buena precisión experimental (Cuadro 6). Este 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 todas las variables excepto la floración femenina, peso de mazorcas, posición relativa de la mazorcas y textura de grano. De acuerdo con el análisis de varianza del rendimiento, el ambiente capturó el 57% de la suma de cuadrados total del experimento. Por su parte los genotipos capturaron el 17% de la variabilidad total del análisis de varianza.

Cuadro 6. Cuadrado medio de las fuentes de variación del análisis de varianza combinado del rendimiento y otras características agronómicas de 11 localidades, Azuero, Panamá, 2022-23.

<i>F de V</i>	<i>Rend</i>	<i>Flor</i>	<i>Alpt</i>	<i>Almz</i>	<i>Ptm⁻²</i>	<i>Mzm⁻²</i>	<i>Mzpt⁻¹</i>	<i>PMz</i>	<i>TPod</i>	<i>TAc</i>	<i>TCob</i>	<i>TDPE</i>	<i>Enf</i>	<i>Aspt</i>
Genotipo	0,277	0,181	53	25	0,075	0,103	0,000	48,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,085	0,004
Ambiente	0,937	4,447	694	350	0,051	0,137	0,002	457,1	0,000	0,011	0,000	0,000	0,476	0,006
Gen x Amb	0,124	0,155	0	4	0,104	0,076	0,000	20,0	0,000	0,001	0,000	0,000	0,068	0,014
Residuo	0,272	1,504	90	62	0,139	0,251	0,006	190,3	0,000	0,003	0,001	0,000	0,278	0,063
H	0,93	0,75	0,95	0,92	0,85	0,88	0,60	0,86	0,39	0,72	0,88	0,76	0,85	0,56
DMS/Rango	0,22	0,42	0,19	0,27	0,32	0,26	0,64	0,30	0,75	0,42	0,29	0,39	0,34	0,60
C.V. (%)	9,7	2,2	4,6	8,1	6,0	8,5	8,1	14,6	0,0	5,8	4,3	0,000	17,6	8,4

**= 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, TPod= % de mazorcas podridas transformada, TAc=% plantas acamadas de tallo transformada, TCob = % Mazorcas con mala cobertura transformada, TDPE= % Diente de perro transformada., Aspt = aspecto de planta.

De acuerdo con el análisis de Conglomerados de Ward se identifican tres grupos ambientales o dominios de recomendación con una distancia de 0,25. El primer grupo estuvo formado por las localidades de San José-2 y La Candelaria-2, (Grupo A), un segundo grupo (Grupo B) reunió a las localidades sembradas en La Candelaria-3, Nuevo Ocué-3 y Purio-3. El tercer grupo o Grupo C se conformó con el resto de las localidades (Figura 1).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

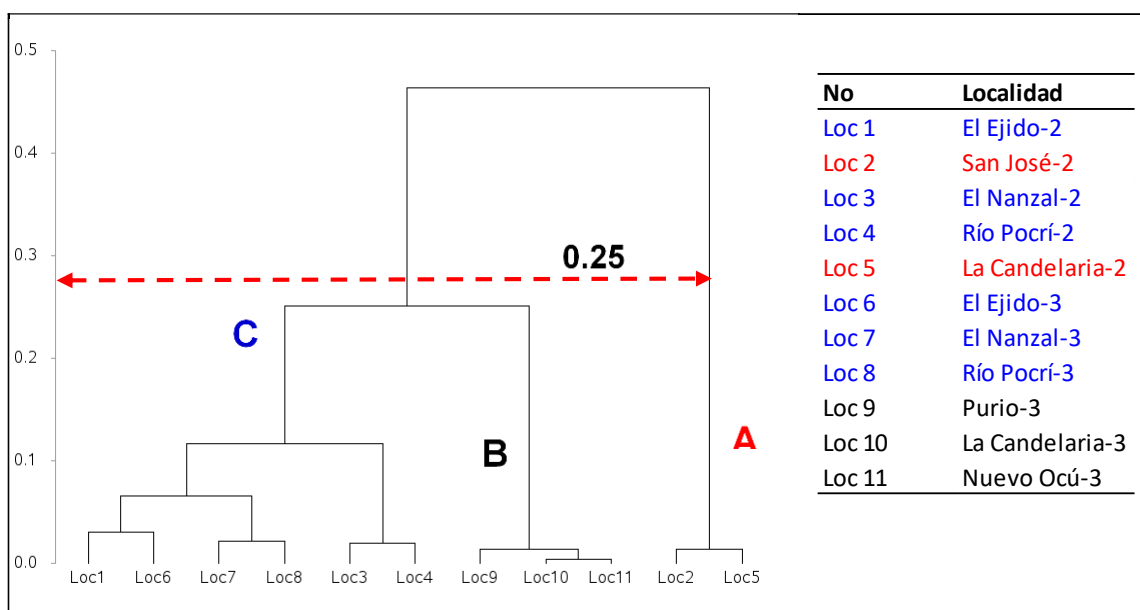


Figura 1. Dendrograma del análisis de conglomerados de las once localidades del ensayo de variedades de grano blanco, Panamá, 2022-23.

De todas las variedades evaluadas, cuatro superaron la media general de las once localidades, sobresaliendo de manera significativa el sintético de grano normal S19LTWNHGAB13 y el sintético QPM alto en zinc S16LTWNQHZNHGAB01 con medias superiores $5,90 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. La variedad de grano normal superó estadísticamente al testigo IDIAP-MQ-09 en 40% y a la media en general en 33%. Por otra parte, la variedad QPM superó al testigo en 36% y a la media general en 26%. Siguió al primer grupo de variedades, el formado por los sintéticos S20LLTWNHGAB01, y S19LTWQZNHGAB02 con rendimientos superiores a la media general $5,36 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. El resto de los sintéticos evaluados tuvieron rendimientos por debajo del promedio de las once localidades (Cuadro 7).

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 6,38 y 5,39 plantas cosechadas. Todos los sintéticos fueron muy similares en floración femenina, con valores entre 55 y 57 dds. Con relación a la altura de planta, la variedad de menor estatura fue el S13LTWQHZNHGAB03 con 193 cm. Las medidas de la altura de la mazorca variaron entre 88 a 104 cm, siendo el mismo sintético el de la posición más baja de la mazorca (88 cm). Todos los materiales presentaron una alta prolificidad de mazorcas por



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

planta con valores muy cercanos a una mazorca por planta. El sintético S16LTWNQHZNHGAB02 presentó la más alta susceptibilidad a la pudrición de mazorcas con porcentajes superiores al 4,9% en el promedio de todas las localidades. Por otro lado, el resto de los sintéticos presentaron bajos porcentajes de mazorcas podridas (menos del 4%).

Cuadro 7. Medias Ajustadas del rendimiento de grano y otras características agronómicas. Puntuación de los dos primeros ejes de la Interacción Genotipo Ambiente. Combinado 11 localidades, Panamá, 2022-23.

Variedades	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)	Cob (%)	Tex (1-4)	PCA1	PCA2
1. S19LTWNHGAB13	6,15	0,97	55	217	103	6,29	6,03	0,95	108	3,0	34,8	2,7	3,0	4,3	2,1	-0,35	-0,49
2. S16LTWNQHZNHGAB01	5,96	0,71	56	211	102	6,38	6,27	0,98	100	3,7	40,5	2,7	3,0	7,0	1,2	0,84	0,42
3. S20LLTWNHGAB01	5,81	0,55	55	211	100	6,37	5,96	0,94	103	2,1	46,8	3,0	2,8	3,8	2,5	0,01	-0,41
4. S19LTWQZNHGAB02	5,70	0,41	57	216	104	6,20	6,12	0,99	98	3,9	39,8	2,8	3,1	8,8	1,2	-0,14	-0,63
5. S16LTWNQHZNHGAB02	5,35	-0,02	56	206	97	6,22	5,87	0,94	95	4,3	41,0	3,4	3,0	5,1	1,8	-0,63	-0,53
6. S16LTWQHZNHGAB07	5,17	-0,27	55	199	93	6,28	6,07	0,97	90	4,0	38,2	3,0	2,8	2,6	1,2	0,52	-0,08
7. S16LTWNHGAB05	5,17	-0,21	55	205	94	6,37	5,94	0,93	91	1,9	41,6	2,9	3,0	2,2	1,5	1,02	0,74
8. S13LTWQHZNHGAB03	5,04	-0,40	55	193	88	6,34	5,92	0,94	89	3,1	30,6	3,0	3,0	2,8	1,1	0,65	0,07
9. S19LTWQZNHGAB01	4,87	-0,63	56	206	97	6,32	5,95	0,94	82	4,0	37,2	3,7	3,1	1,0	1,3	-0,28	-0,14
10. IDIAP-MQ-09	4,38	-1,11	55	203	92	5,39	5,00	0,93	91	3,0	43,4	2,8	3,0	2,3	1,2	-1,64	1,06
Promedio	5,36		56	207	97	6,22	5,91	0,95	95	3,3	39,4	3,0	3,0	4,0	1,5		
DMS_{5%}	0,39		1	5	4	0,32	0,33	0,04	8	1,8	6,8	0,3	0,2	2,3	0,3		

Rend= Rendimiento de grano, RN_i = Rendimiento Normalizado, 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, Aca=% plantas acamadas de tallo, Cob = % Mazorcas con mala cobertura, Tex= Textura de grano, PCA1 = Eje del Componente principal 1, PCA2 = Eje del Componente principal 2.

Con relación a la interacción genotipo ambiente, la Figura 2A muestran las variedades que mejor se comportaron en cada uno de los grupos ambientales, de acuerdo con la posición o cercanía a la que se encuentran de cada grupo ambiental. La variedad de mejor desempeño en las localidades del Grupo A y C fue el S19LTWNHGAB13 y S16LTWNQHZNHGAB01 ambas variedades están ubicados en el vértice del polígono que está en el sector (Yan et al., 2000). De acuerdo con el análisis Biplot realizado este año el cultivar de grano más estable y de mayor rendimiento a través de las localidades fue S20LLTWNHGAB01, mientras que S16LTWNQHZNHGAB01 fue el más estable para las variedades QPM. Ambos presentan la mayor puntuación en el Eje del Componente Principal 1 (PCA1) y más cercano al Eje del Ambiente Promedio o EAP (Figura 2B).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

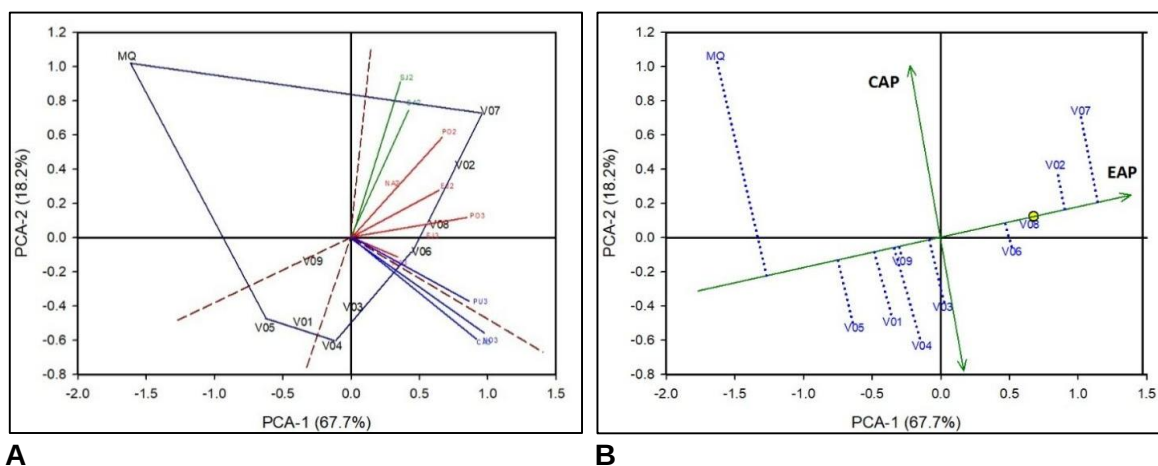


Figura 2. Gráfica Biplot de las puntuaciones del primer (PCA1) y segundo (PCA2) eje del componente principal del análisis la interacción GxA de 10 variedades de maíz en 11 localidades (A) y Gráfica del Promedio vs Estabilidad utilizando el Eje del ambiente promedio (B), Panamá, 2022-23.

Análisis de los ensayos de 2024

Los análisis estadísticos individuales de los ensayos del 2024 presentaron repetitividades que oscilaron entre 0,97 a 0,99 y DMS/Rango de 0,24 a 0,46 por lo que fueron incluidos en el análisis combinado (Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago, 2015; Camargo-Buitrago et al., 2017). Este análisis presentó diferencias significativas para las principales variables de respuesta entre localidades, genotipos y la interacción genotipo ambiente (Cuadro 8).

Cuadro 8. Cuadrado medio por fuente de variación, Cociente DMS/Rango, repetitividad y coeficiente de variación del análisis por localidad del ensayo variedades, Azuero, Panamá, 2024.

<i>Localidad</i>	<i>S² Repetición</i>	<i>S² Genotipo</i>	<i>S² Residuo</i>	<i>DMS/ Rango</i>	<i>H</i>	<i>C.V. (%)</i>
1. Río Pocrí	0,000	6,990	0,288	0,24	0,99	11,1
2. La Candelaria	0,000	2,110	0,334	0,43	0,95	12,0
3. El Montero	0,102	2,196	0,410	0,47	0,94	13,7
4. Purio	0,022	2,238	0,218	0,37	0,97	9,4
5. Nuevo Ocu	0,198	4,676	0,119	0,28	0,99	6,8
6. Mariabé	1,251	0,755	0,332	0,66	0,87	12,5

De acuerdo con el análisis de Conglomerados de Ward todos los ambientes fueron similares, solo se logró separar ambientes a una distancia de 0,07. El primer grupo estuvo



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

formado por las localidades de Río Pocrí y Nuevo Océ, (Grupo A), un segundo grupo (Grupo B) reunió a las localidades sembradas en La Candelaria, El Montero, Mariabé y Purio (Figura 3).

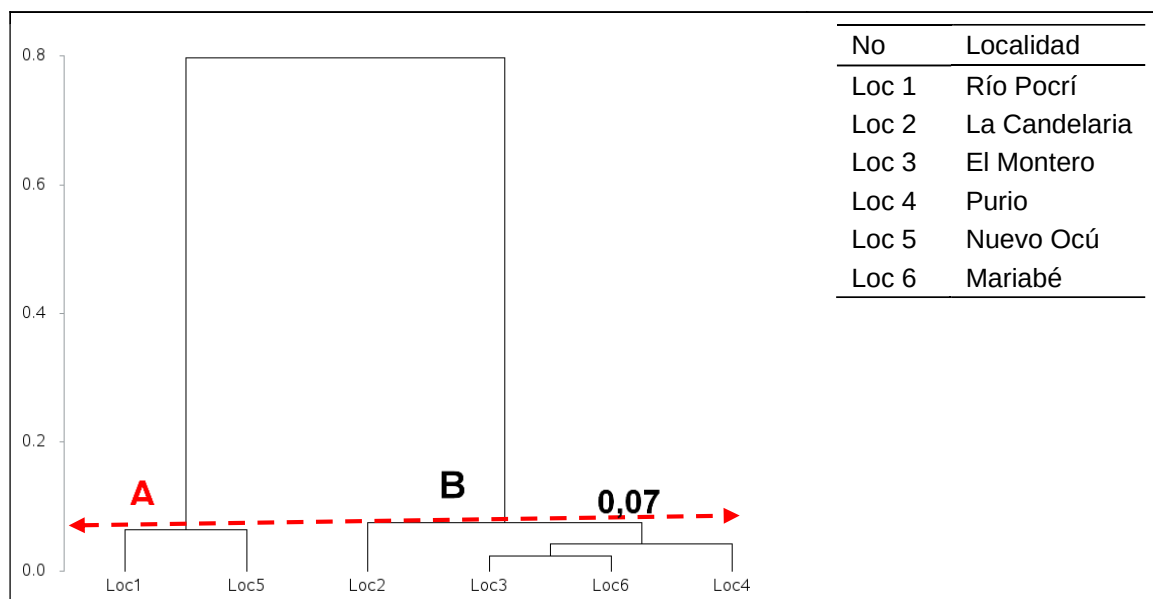


Figura 3. Análisis de conglomerados del ensayo de variedades, Panamá, 2024.

El análisis de varianza combinado del rendimiento y algunas características agronómicas de las seis localidades presentó una repetitividad de 0,96, con un coeficiente DMS/Rango de 0,18. El coeficiente de variación fue de 11,2% para la variable rendimiento de grano, los valores de todos estos estadísticos indican buena precisión experimental (Cuadro 9). Este 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 todas las variables excepto posición relativa de las mazorcas, % de mazorcas podridas y textura de grano. De acuerdo con el análisis de varianza del rendimiento no hubo diferencias significativas entre localidades para el rendimiento de grano. Por su parte los genotipos capturaron el 74% de la variabilidad total del análisis de varianza. Este resultado sugiere que la gran diferencia se debió a las variedades con poca interacción entre los mismos a través de las localidades.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 9. Cuadrado medio de las fuentes de variación del análisis de varianza combinado del rendimiento y otras características agronómicas de 6 localidades, Azuero, Panamá, 2024.

<i>F de V</i>	<i>Rend</i>	<i>Flor</i>	<i>Alpt</i>	<i>Almz</i>	<i>Ptm⁻²</i>	<i>Mzm⁻²</i>	<i>Mzpt⁻¹</i>	<i>PMz</i>	<i>TPod</i>	<i>TAcad</i>	<i>TCob</i>	<i>TDPE</i>	<i>Enf</i>	<i>Aspt</i>
Genotipo	2,638	0,422	66,8	27,2	1,480	1,362	0,002	134,4	0,000	0,001	0,000	0,000	0,092	0,025
Ambiente	0,000	6,309	161,5	217,8	0,559	0,112	0,004	105,5	0,000	0,001	0,000	0,000	0,296	0,012
Gen x Amb	0,485	0,120	19,1	2,9	0,287	0,283	0,001	22,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025	0,014
Residuo	0,293	1,066	126,0	76,0	0,190	0,213	0,007	71,4	0,000	0,004	0,001	0,000	0,463	0,085
H	0,96	0,84	0,87	0,85	0,96	0,96	0,77	0,95	0,01	0,82	0,82	0,89	0,75	0,78
DMS/Rango	0,18	0,38	0,37	0,38	0,19	0,22	0,51	0,24	0,92	0,43	0,41	0,32	0,48	0,43
C.V. (%)	11,2	2,0	4,8	7,7	8,5	9,9	9,2	8,2	2,7	7,8	4,1	2,7	16,8	9,1

**= 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, TPod= % de mazorcas podridas transformada, TAcad=% plantas acamadas de tallo transformada, TCob = % Mazorcas con mala cobertura transformada, TDPE= % Diente de perro transformada, Aspt = aspecto de planta.

En este ciclo de evaluación sobresalieron la variedad de grano amarillo IDIAP-MV1102 y el nuevo sintético blanco S16LTWNQHZNHGAB01 con promedios de 7,18 y 6,24 t·ha⁻¹, respectivamente. Estas dos variedades superaron significativamente al testigo nacional blanco IDIAP-MQ-09 en 1,90 y 0,96 t·ha⁻¹ (36 y 18%). A esta variedad le siguió la variedad IDIAP-MQ-09 e IDIAP-MV-1816 con rendimientos superiores a las 5,0 t·ha⁻¹. El resto de las variedades tuvieron rendimiento por debajo de la media general del experimento 4,84 t·ha⁻¹ (Cuadro 10).

En relación con el número de plantas al momento de la cosecha, se encontró diferencia estadística significativa entre las variedades evaluadas oscilando los valores entre 6,51 y 3,02 plantas cosechadas, siendo los valores más bajos en las variedades con menor rendimiento de grano. Todos los sintéticos fueron muy similares en floración femenina, con valores entre 52 y 54 dds. Con respecto a la altura de planta, la variedad de menor estatura fue el IDIAP-ProA-04 con 219 cm. Las medidas de la altura de la mazorca variaron superaron los 110 cm, excepto el IDIAP-MQ-18 e IDIAP-ProA-04. Todos los materiales presentaron una alta prolificidad de mazorcas por planta con valores muy cercanos a una mazorca por planta, con excepción del IDIAP-MV-0706 que tuvo una media de 0,83 mazorcas/planta. La pudrición de mazorcas fue baja en todas las variedades con porcentajes menores o igual al 5,2. El porcentaje de plantas acamadas presentó diferencias



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

siendo el S16LTWNQHZNHGAB01 e IDIAP-MV-1816 las variedades con promedios menores al 10%. La variedad con el mayor porcentaje de plantas acamadas fue el IDIAP-MV-0706 con una media de 27.3%. El promedio de la clasificación de enfermedades fue baja, menos de 2,5.

Cuadro 10. Media Ajustada del rendimiento de grano y otras características agronómicas. Puntuación de los dos primeros ejes de la Interacción Genotipo Ambiente. Azuero, Panamá, 2024.

Variedades	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)	Cob (%)	Tex (1-4)	PCA1	PCA2
1. IDIAP-MV-1102	7,18	1,26	52	239	120	6,51	5,95	0,92	120	3,2	17,3	1,9	3,3	3,9	1,1	0,53	0,03
2. S16LTWNQHZNHGAB01	6,24	0,81	54	240	113	5,89	5,65	0,97	110	3,3	9,3	2,1	3,2	4,2	1,8	-0,77	0,65
3. IDIAP-MQ-09	5,28	0,19	53	234	111	6,30	5,51	0,88	96	3,3	15,2	1,8	3,0	3,4	1,2	0,08	-0,40
4. IDIAP-MV-1816	5,22	0,29	52	239	117	5,11	4,73	0,94	113	2,6	9,8	2,1	3,2	4,1	1,0	-0,51	0,07
5. IDIAP-MQ-18	4,22	-0,34	53	226	107	5,03	4,69	0,95	92	4,2	10,9	2,3	3,1	3,1	1,0	0,20	-0,31
6. IDIAP-MV-0706	3,26	-0,85	53	244	116	4,17	3,30	0,83	101	3,9	27,3	2,1	3,5	3,0	1,4	-0,48	-0,44
7. IDIAP-ProA-04	2,44	-1,36	52	219	104	3,02	2,84	0,96	88	5,2	10,7	1,9	3,3	10,4	1,0	0,95	0,42
Promedio	4,84	0,00	53	234	113	5,14	4,67	0,92	103	3,7	14,4	2,0	3,2	4,6	1,2		
DMS_{5%}	0,87	0,35	1	9	6	0,68	0,68	0,07	8	2,4	7,9	0,5	0,2	3,1	0,3		

Rend= Rendimiento de grano, RN_i = Rendimiento Normalizado, 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, Aca=% plantas acamadas de tallo, Cob = % Mazorcas con mala cobertura, Tex= Textura de grano, PCA1 = Eje del Componente principal 1, PCA2 = Eje del Componente principal 2.

Con relación a la interacción genotipo ambiente, la Figura 4A muestran las variedades que mejor se comportaron en cada uno de los grupos ambientales, de acuerdo con la posición o cercanía a la que se encuentran de cada grupo ambiental. La variedad de mejor desempeño en las localidades del Grupo B fue el S16LTWNQHZNHGAB01(S16) mientras que el IDIAP-MV-1102 (I02) es la de mejor desempeño en las localidades del Grupo A, ambas ubicadas en los vértices del polígono que están en el sector (Yan et al., 2000). De acuerdo con el análisis Biplot realizado este año el cultivar de grano más estable y de mayor rendimiento a través de las localidades fue S16LTWNQHZNHGAB01 (S16). Siendo la primera la de mayor puntuación en el Eje del Componente Principal 1 (PCA1) y más cercana al Eje del Ambiente Promedio o EAP. La variedad IDIAP-MV-1102 presentó mayor rendimiento, pero su distancia al eje EAP fue mayor (Figura 4B).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

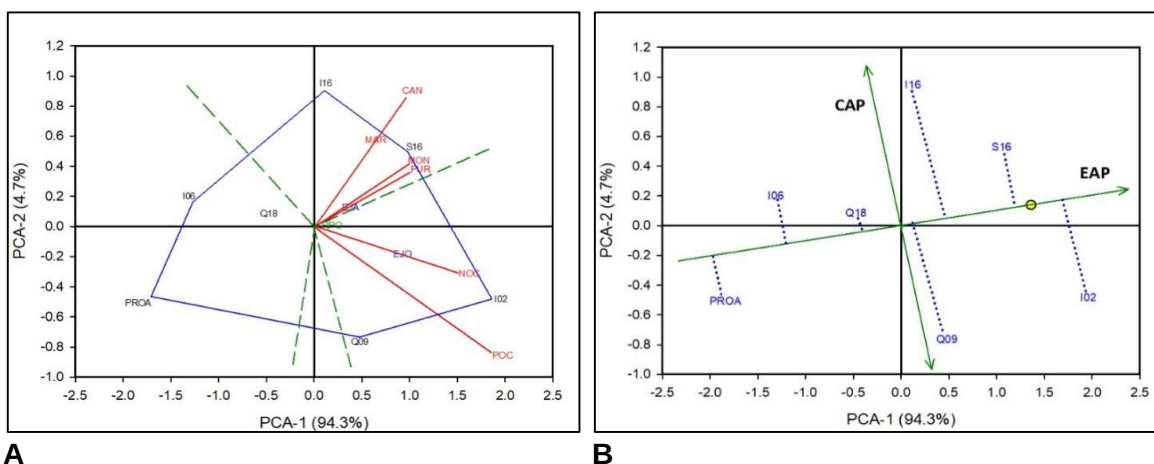


Figura 4. Gráfica Biplot de las puntuaciones del primer (PCA1) y segundo (PCA2) eje del componente principal del análisis la interacción GxA de 10 variedades de maíz en 11 localidades (A) y Gráfica del Promedio vs Estabilidad utilizando el Eje del ambiente promedio (B), Panamá, 2024.

Análisis de confiabilidad o respuesta normalizada

El análisis de estabilidad y confiabilidad de la respuesta normalizada (RN_i) de los tres años en las 17 localidades, se presentan en el Cuadro 11. El genotipo S16LTWNQHZNHGAB01, de baja interacción con el ambiente y una puntuación cercana a cero del segundo eje del Componente Principal (PCA2), presentó una respuesta normalizada, con un valor de R_i de 0,92, lo cual se interpreta que en noventa y dos de cada cien localidades hay una respuesta superior de esta variedad con respecto al testigo de grano blanco IDIAP-MQ-09. Para este análisis se utilizó la distribución de t, según Eskridge & Mumm (1992) esta distribución puede ser utilizada pero sus estimado diferirían ligeramente de los en la Distribución Normal cuando se tienen la cantidad suficiente de localidades para estimar la confiabilidad.

La diferencia con el testigo fue en promedio de $1,36 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Las magnitudes de las respuestas normalizadas coinciden con los encontrados por Gordón-Mendoza & Camargo-Buitrago (2021). 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).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 11. Rendimiento promedio, diferencias de rendimiento (D_i), desviación estándar de las diferencias (S_{di}), Respuestas normalizadas (RN_i) y su probabilidad en 17 localidades con respecto al testigo nacional IDIAP-MQ-09. Panamá, 2022-2024.

VARIEDAD	Rend $t \cdot ha^{-1}$	Diferencia $t \cdot ha^{-1}$	Desv. Est. $t \cdot ha^{-1}$	D_i/S_{di}	Probabilidad $R_i > 0^*$	Puntuación PCA2
S16LTWNQHZNHGAB01	6,06	1,36	0,919	1,48	0,94	-0,42
IDIAP-MQ-09	4,70					1,06

La curva de frecuencia acumuladas de las diferencias de la nueva variedad con respecto al testigo IDIAP-MQ-09 se presenta en la Figura 5. Según Eskridge et al., (1993) en cuanto más se desplace la función de confiabilidad hacia la derecha, mayor es la diferencia de medias y más probable que la variedad de prueba supere a la variedad testigo. En esta gráfica se aprecia como la variedad S16LTWNQHZNHGAB01 supera 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 1,12 toneladas. De acuerdo con 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.

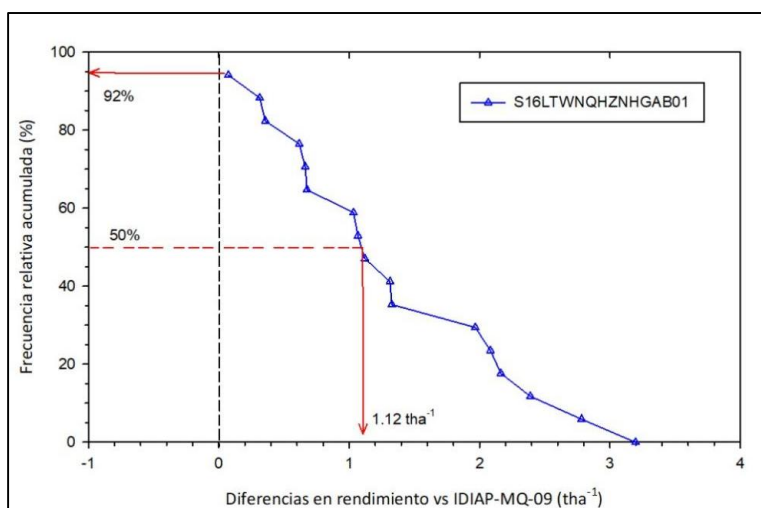


Figura 5. Relación de la frecuencia acumulada de la probabilidad normalizada con las diferencias de rendimiento de la variedad experimental y el testigo IDIAP-MQ-09, Panamá, 2022-2024.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

CONCLUSIONES

- 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 élitos con buena adaptabilidad a la región de interés.
- El trabajo colaborativo entre las instituciones nacionales de investigación e innovación con los Centros Internacionales permite la búsqueda y selección de genotipos con mayor productividad en beneficio de los productores nacionales.
- Se logró identificar un genotipo superior grano de alta calidad proteica y alto contenido de Zn que supera al testigo nacional utilizado en la investigación.

RECOMENDACIONES

- Presentar toda la documentación generada para el registro ante el Comité Nacional de Semillas del Ministerio de Desarrollo Agropecuario de la nueva variedad S16LTWNQHZNHGAB01 para su siembra en la República de Panamá.
- El nombre sugerido para esta variedad es IDIAP-MQ-13.

REFERENCIAS

- Ashraf, S. A. (2025) Food fortification as sustainable global strategy to mitigate micronutrient deficiencies and improve public health. *Discover Food*, 5, 201. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00512-5>
- Bouis, H. E., & Saltzman, A. (2017). Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from Harvest Plus, 2003 through 2016. *Global Food Security*, 12, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.009>
- Camargo, I., Gordón, R., & 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. <https://doi.org/10.15517/am.v14i2.11940>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Camargo, I., Quirós, E. I., & Camargo, V. M. (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>
- Camargo-Buitrago, I., Gordón-Mendoza, R., & Quirós-McIntire, E. I. (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>
- Córdova, H. S., Barreto, H. J., & Crossa, J. (1994). Impacto del desarrollo de híbridos de maíz en Centro América. *Agronomía Mesoamericana*, 5, 78-87. <https://doi.org/10.15517/am.v5i0.25064>
- Cornelius, P. L., & Crossa, J. (1999). Prediction assessment of shrinkage estimators of multiplicative model for multi environment cultivar trials. *Crop Science*, 39, 998-1009. <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.0011183X003900040007x>
- Eskridge, K. M., & Mumm, R. F. (1992). Choosing plant cultivars based on the probability of outperforming a check. *Theoretical and Applied Genetics*, 84, 494-500. <https://doi.org/10.1007/BF00229512>
- Eskridge, K. M., Smith, O. S., & Byrne, P. F. (1993). Comparing test cultivars using reliability functions of test check differences from on farm trials. *Theor. Appl. Genet*, 87, 60-64. <https://doi.org/10.1007/BF00223745>
- Eskridge, K. M. (1997). Evaluation of corn hybrids using the probability of outperforming a check based on strip-test data. *Journal of agricultural, biological and environmental statistics*, 2(3), 245-254. <https://doi.org/10.2307/1400444>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Gordón-Mendoza, R., Franco-Barrera J. E., & San Vicente-García, F. M. (2015). Selección de variedades de maíz tolerantes al déficit hídrico. *Ciencia Agropecuaria*, (23), 39-59. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/121>
- Gordón-Mendoza, R., & Camargo-Buitrago, I. (2015). Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1), 55-63. <https://doi.org/10.15517/am.v26i1.16920>
- Gordón-Mendoza, R., Franco, J.E. Villarreal, J.E.& Smyth, T.J. (2016). Manejo de la fertilización fosforada en el cultivo de maíz, El Ejido, Panamá, 2004-2013. *Agronomía Mesoamericana* 27(1), 95-108. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v27i1.21889>
- Gordón-Mendoza, R., Franco-Barrera, J., Núñez-Cano, J., Jaén-Villarreal, J., Sáez-Cigarruista, A., Quirós-Rodríguez, E., Rodríguez-Quiel, E., & San Vicente-García, F. (2018). Variedades de maíz con alto contenido de betacarotenos. *Ciencia Agropecuaria*, (28), 93-116. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/8>
- Gordón-Mendoza, R., Franco-Barrera, J. E., Núñez-Cano, J. I., Sáez-Cigarruista, A. E., Ramos-Manzané, F. P., Jaén-Villarreal, J. E., & San Vicente-García, F. M. (2020). Evaluación y selección de variedades de maíz para sistemas de agricultura familiar de Panamá, 2017-2019. *Ciencia Agropecuaria*, (31), 99-126. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/303>
- Gordón-Mendoza, R., & Camargo-Buitrago, I. (2021). Herramientas estadísticas para la evaluación y selección de híbridos de maíz a través de múltiples ambientes y años. *Ciencia Agropecuaria*, (32), 12-37.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/417>

Gordón-Mendoza, R. (2021). Manual Técnico: El maíz en Panamá: Características, requerimientos y recomendaciones para su producción en ambientes con alta variabilidad climática. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. 108 p. <http://www.idiap.gob.pa/download/manual-tecnico-el-maiz-en-panama/?wpdmdl=5371>

Gordón-Mendoza, R., Sáez-Cigarruista, A. E., Franco-Barrera, J. E., Ramos-Manzané, F. P., & Núñez Cano, J. I. (2025). Efecto del déficit hídrico en distintas etapas del cultivo de maíz, El Ejido, Los Santos, 2020-2023. *Revista Investigaciones Agropecuarias*, 8(1), 11-24. <https://doi.org/10.48204/j.ia.v8n1.a8760>

Johnson, D. E. (2000). Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. International Thompson Editors. 566 p. <https://es.scribd.com/document/794931238/Johnson-2000-Metodos-Multivariados-Aplicados-Al-Analisis-de-Datos>

Nuland, D. S., & Eskridge, K. M. (1992). Probability of outperforming a check. In: H.F. Schwartz (ed.). Proceedings, 35th Bean Improvement Cooperative Meetings. Colorado State Univ. For. Collins. CO. p. 17-20. *Theor. Appl. Genet.* 84, 494-500.

Ofori, K. F., Antoniello, S., English, M. M., & Aryee, A. (2022). Improving Nutrition through Biofortification. A Systematic Review. *Frontiers in Nutrition*, 9,1043655. <https://doi.org/10.3389/fnut.20221043655>

Raza, A., Razzaq, A., Sundas, S. M., Zou, X., Zhang, X., Yan, Lv., & Xu, J. (2019). Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle Its Outcome: A Review. *Plants*, 8(2),34. <https://doi.org/doi:10.3390/plants8020034>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Reyes-Anistro, G. I., Adame-Martínez, S., & Cadena-Vargas, E. (2018). Vulnerabilidad ante la variabilidad climática en los cultivos de maíz *Zea mays*. *Sociedad y Ambiente*, 17, 93-113. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-65762018000200093&lng=es&nrm=iso
- Sheoran, S., Kumar, S., Ramtekey, V., Kar, P., Meena, R. S., & Jangir, C. K. (2022). Current Status and Potential of Biofortification to Enhance Crop Nutritional Quality: An Overview. *Sustainability*, 14(6), 3301. <https://doi.org/10.3390/su14063301>
- Vargas, M., Combs, E., Alvarado, G., Atlin, G., Mathews, K., & Crossa, J. (2013). META: A suite of SAS Programs to analyze Multi environment breeding trials. *Agronomy Journal*, 105,11-19. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0016>
- Xiong, W., Reynolds, M., & Xu, Y. (2022). Climate change challenges plant breeding. *Current Opinion in Plant Biology*, 70, 102308. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2022.102308>
- Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., & Szlavnics, Z. (2000). Cultivar Evaluation and Mega Environment Investigation based on the GGE Biplot. *Crop Science*, 40, 597-605. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x>
- Yan, W., & Rajcan, I. (2002). Biplot Analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, 42, 11-20. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.1100>
- Yan, W., & Kang, M. S. (2003). GGE Biplot Analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press, Boca Ratón, FL. 271 p.
- Yan, W., & Holland, J. B. (2010). A heritability-adjusted GGE Biplot for test environmental evaluation. *Euphytica*, 171, 355-369. <https://doi.org/10.1007/s10681-009-0030-5>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)