

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

**COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE HÍBRIDOS COMERCIALES
DE MAÍZ AMARILLO EN LA PROVINCIA DE LOS SANTOS, PANAMÁ.**

MARIA CRISTINA DELGADO VILLARREAL

LAS TABLAS, LOS SANTOS
REPÚBLICA DE PANAMÁ

2026

**COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE HÍBRIDOS COMERCIALES DE MAÍZ
AMARILLO EN LA PROVINCIA DE LOS SANTOS, PANAMÁ**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO EN CULTIVOS TROPICALES**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEBE
SER OBTENIDO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

APROBADO:

PROF. Dr. ROMÁN GORDÓN

DIRECTOR

PROF. MSc. JANETH URRIOLA

ASESORA

PROF. MSc. FRANKLIN WILCOX

ASESOR

**LAS TABLAS, LOS SANTOS
REPÚBLICA DE PANAMÁ**

2026

AGRADECIMIENTO

A Dios, por concederme fortaleza, sabiduría y perseverancia para llegar hasta este momento.

A mi familia, especialmente a mi madre y a la memoria de mi padre, a mi esposo, a mis hermanas y hermanos, por su amor incondicional, apoyo constante y palabras de aliento que me acompañaron en cada etapa de este camino.

Mi agradecimiento al Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), y de manera especial, al Dr. Román Gordón, por brindarme la oportunidad de desarrollar esta investigación dentro del proyecto de maíz que dirige. Extiendo mi reconocimiento a su equipo de trabajo, cuyo apoyo técnico y acompañamiento en campo fueron fundamentales para el desarrollo de este estudio.

Reconozco igualmente el respaldo de la directora regional del IDIAP en su momento, por facilitar las condiciones necesarias para avanzar en mi formación académica.

A mis asesores, por sus valiosas recomendaciones y orientación que contribuyeron al fortalecimiento de este trabajo.

A mi amiga y compañera de batallas desde el inicio de esta carrera, por su amistad, apoyo sincero y por compartir conmigo cada desafío y aprendizaje vivido en esta etapa.

A las personas que me estiman, por su apoyo constante, confianza y por motivarme a continuar aun en los momentos más difíciles.

A todos, mi más sincero agradecimiento.

Maria C. Delgado V.

DEDICATORIA

Con mucho amor a mi hijo, mi mayor inspiración y mi más grande bendición. Tú fuiste la fuerza que me impulsó a no rendirme y la razón que dio sentido a cada esfuerzo.

Que este logro sea siempre un ejemplo de que con fe, amor y dedicación los sueños se cumplen.

Maria C. Delgado V.

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE HÍBRIDOS COMERCIALES DE MAÍZ AMARILLO EN LA PROVINCIA DE LOS SANTOS, PANAMÁ.

Delgado Villarreal, M. C., (2026). *Comportamiento agronómico de híbridos comerciales de maíz amarillo en la Provincia de Los Santos, Panamá*. Tesis de Ingeniería Agronómica en Cultivos Tropicales. Los Santos, Panamá. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 76 p.

RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia alimentaria, económica y social en Panamá, donde constituye una fuente relevante de ingreso para pequeños y medianos productores. No obstante, su productividad se ve afectada por la variabilidad climática. En este contexto, la evaluación de híbridos comerciales en diferentes ambientes es fundamental para identificar materiales con mejor respuesta productiva y estabilidad. El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento agronómico de híbridos comerciales de maíz amarillo en dos localidades de la provincia de Los Santos, con el fin de determinar el rendimiento de grano y su interacción con las condiciones edafoclimáticas de cada sitio. El ensayo se estableció en las localidades de El Ejido y Nuevo Ocú, bajo un diseño alfa látice 4 x 4 con tres repeticiones. Se registraron variables fenológicas y morfoagronómicas, así como el rendimiento de grano (kg ha^{-1}). Los datos se analizaron mediante modelos lineales mixtos y estimación de BLUP, complementados con análisis de varianza y pruebas de comparación de medias. Se confirmó una interacción genotipo x ambiente altamente significativa, lo que indica que no es posible realizar una recomendación general para toda la provincia. El exceso de precipitación y la saturación del suelo constituyen factores limitantes del rendimiento en zonas como El Ejido. A su vez, se identificaron híbridos con adaptabilidad amplia (ADV783, MY9613 y MY9614), y materiales de adaptación específica, como HD50Y en El Ejido y MY9617 en Nuevo Ocú. Estos resultados permiten orientar recomendaciones más precisas para mejorar la productividad del maíz en la provincia de Los Santos.

Palabras clave: *maíz amarillo, híbridos comerciales, interacción genotipo x ambiente, rendimiento de grano, adaptabilidad.*

AGRONOMIC PERFORMANCE OF COMMERCIAL YELLOW MAIZE HYBRIDS IN LOS SANTOS PROVINCE, PANAMA.

Delgado Villarreal, M. C. (2026). *Agronomic performance of commercial yellow maize hybrids in Los Santos Province, Panama*. Thesis for the degree of Agricultural Engineer in Tropical Crops. Los Santos, Panama: University of Panama. Faculty of Agricultural Sciences. 76 p.

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) is one of the most important crops in Panama in terms of food, economic, and social relevance, representing a significant source of income for small and medium-scale farmers. However, its productivity is affected by climatic variability. In this context, the evaluation of commercial hybrids across different environments is essential to identify materials with improved yield performance and stability. The objective of this study was to evaluate the agronomic performance of commercial yellow maize hybrids in two localities of Los Santos province in order to determine grain yield and its interaction with the edaphoclimatic conditions of each site. The trial was established in El Ejido and Nuevo Ocú using a 4 × 4 alpha-lattice experimental design with three replications. Phenological and morpho-agronomic variables were recorded, as well as grain yield (kg ha⁻¹). Data were analyzed using linear mixed models and BLUP estimation, complemented by analysis of variance and mean comparison tests. A highly significant genotype × environment interaction was confirmed, indicating that it is not possible to provide a general recommendation for the entire province. Excess rainfall and soil saturation constitute limiting factors for yield in areas such as El Ejido. Hybrids with broad adaptability (ADV783, MY9613, and MY9614) as well as materials with specific adaptation, such as HD50Y in El Ejido and MY9617 in Nuevo Ocú, were identified. These results support more precise recommendations to improve maize productivity in Los Santos province.

Keywords: *yellow maize, commercial hybrids, genotype × environment interaction, grain yield, adaptability.*

ÍNDICE DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Antecedentes	4
1.3 Justificación	5
1.4 Objetivos	7
1.4.1 Objetivo general	7
1.4.2 Objetivos específicos	7
1.5 Hipótesis	8
Alcances y limitaciones del estudio	8
1.6.1 Alcances del trabajo:.....	8
1.6.2 Limitaciones	9
II REVISIÓN DE LITERATURA	10
2.1 Origen y distribución mundial del maíz	10
2.2 Mejoramiento genético del cultivo de maíz en Centroamérica y Panamá	11
2.3 Adaptabilidad específica e interacción genotipo-ambiente.....	12
2.4 Modelos para el análisis de la interacción genotipo-ambiente	13
III MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1 Ubicación de los experimentos	16
3.2 Material genético.....	18
3.3 Unidad experimental y manejo agronómico.	19
3.4 Variables a medir.....	19
3.5 Diseño experimental y análisis estadístico	22
3.5.1 Diseño experimental	22
3.5.2 Análisis de varianza por localidad	22
3.5.3 Análisis combinado de varianza	23
3.5.4 Modelos mixtos y comparación de medias	24
3.5.5 Representación gráfica de la interacción genotipo - ambiente (IGA)	24
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25

4.1 Caracterización Edafológica y Pluviométrica de las Zonas de Estudio	25
4.1.1. Propiedades físico-químicas del suelo.....	25
4.1.2 Comportamiento de la precipitación.....	27
4.2. Análisis del comportamiento agronómico de 16 híbridos de maíz amarillo en dos localidades de la provincia de los santos, panamá.	30
4.2.1. Análisis de varianza combinada de caracteres agronómicos en 16 híbridos de maíz evaluados en dos ambientes de la provincia de Los Santos, Panamá.	30
4.2.2 Comportamiento agronómico promedio de los híbridos.....	32
4.2.3. Análisis multivariado y asociación entre caracteres agronómicos	35
4.2.4. Comportamiento productivo de los híbridos en cada ambiente de evaluación	37
4.2.4.1 Comportamiento de los híbridos en el ambiente de El Ejido.....	37
4.2.4.2 Comportamiento de los Híbridos en el Ambiente de Nuevo Ocú.	39
4.2.5 Análisis de la Interacción Genotipo-Ambiente (IGA) y patrones de adaptación	40
V CONCLUSIONES	45
VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
ANEXOS	60

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Localidades evaluadas sobre el comportamiento agronómico de 16 híbridos comerciales de maíz amarillo en la provincia de Los Santos, Panamá.....	16
Tabla 2: Híbridos comerciales de maíz amarillo evaluados en dos localidades de la provincia de Los Santos, Panamá.....	18
Tabla 3: Análisis comparativo de las propiedades del suelo en dos localidades de la provincia de Los Santos, Panamá.....	25
Tabla 4: Análisis de varianza combinada para variables agronómicas de 16 híbridos de maíz amarillo en dos localidades en la provincia de Los Santos, Panamá.....	31
Tabla 5: Medias ajustadas (BLUPs) para caracteres agronómicos de 16 híbridos de maíz amarillo en dos localidades de la provincia de Los Santos, Panamá.....	33

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Muestreo de suelo en ambas localidades para su análisis fisicoquímico.....	17
Figura 2: Estaciones agroclimáticas en la región de Azuero.....	17
Figura 3: Precipitación total acumulada y por períodos en las localidades de El Ejido y Nuevo Ocú, Los Santos, Panamá.....	28
Figura 4: Agrupamiento de caracteres morfoagronómicos basado en su nivel de asociación, utilizando el método de Ward.....	36
Figura 5: Rendimiento de grano ($t \cdot ha^{-1}$) de 16 híbridos de maíz en la localidad de El Ejido, Los Santos.....	38
Figura 6: Rendimiento de los híbridos en la localidad de Nuevo Ocú de Pocrí.....	39
Figura 7: Valores de rendimiento ajustado (BLUPs) y coeficientes de respuesta de 16 híbridos de maíz amarillo evaluados en dos localidades de la Provincia de Los Santos, Panamá.....	40
Figura 8: Interacción entre el rendimiento estimado (BLUPs) de 16 híbridos de maíz amarillo (líneas) y dos localidades (eje X) en la provincia de Los Santos, Panamá.....	42

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Mapa de ubicación de las localidades de estudio.	62
Anexo 2: Establecimiento de los ensayos.	62
Anexo 3: Proceso de siembra.	63
Anexo 4: Aplicación de primera fertilización a la fecha de siembra.	63
Anexo 5: Germinación de los híbridos.	64
Anexo 6: Aplicación de la segunda fertilización en plantas de maíz en estado V5–V6 (18–21 días después de siembra).	64
Anexo 7: Desarrollo reproductivo: liberación de polen durante la floración masculina.	65
Anexo 8: Registro de datos agronómicos en la etapa de floración del maíz.	65
Anexo 9: Cosecha de mazorcas en la etapa final del ensayo para la evaluación de rendimiento.	66
Anexo 10: Peso de mazorcas por híbrido durante la cosecha.	66
Anexo 11: Registro de muestras de mazorcas cosechadas por híbrido.	67
Anexo 12: Preparación de muestras para medición de humedad del grano.	67

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo de gran relevancia; ocupa el segundo lugar en producción global, después del trigo y es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea. En 2024 la superficie mundial cosechada fue de 203,470,007 hectáreas, con un rendimiento promedio de 5,7 toneladas por hectárea, lo que resulta en una producción total de 1,163,497,383 toneladas (Food and Agriculture Organization [FAO], 2024). Este cereal es una fuente importante de carbohidratos, vitaminas, minerales, fibra dietética y antioxidantes, lo que lo convierte en un alimento importante tanto en la nutrición humana como animal (Saritha et. al., 2020).

El mejoramiento genético y la adaptación de genotipos a diferentes ambientes son cruciales para optimizar el rendimiento. La interacción genotipo-ambiente (IGA) describe el comportamiento característico que exhiben los genotipos cuando se evalúan en diversos ambientes (Singamsetti et al., 2021), esta interacción puede ser significativa y modelos como AMMI y Biplot GGE se emplean para estudiar esta interacción y ayudar en la identificación de genotipos óptimos en diferentes entornos, facilitando así la selección de variedades que maximicen el rendimiento agrícola bajo condiciones variables (Bocianowski et al., 2024; Kachapur et al., 2023; Ponce et al., 2022).

Con el creciente enfoque en mejorar la eficiencia de la producción agrícola, la IGA continúa siendo un desafío clave para la selección de genotipos superiores. Esta interacción, que surge al evaluar genotipos en múltiples ambientes, puede dificultar la identificación de cultivares con estabilidad y alto rendimiento. Como resultado, la aplicación de modelos estadísticos como el AMMI permite capturar la variabilidad de

la IGA, explicando hasta un 96% de la variación observada, lo que facilita la selección de genotipos con adaptación tanto específica como general a distintos entornos agroecológicos (García et al., 2021).

El Biplot GGE ha demostrado ser crucial para interpretar la IGA, proporcionando una visión clara sobre la estabilidad y adaptabilidad de los genotipos evaluados (Božović et al., 2020). Esto permite que los investigadores identifiquen genotipos con un comportamiento agronómico superior, garantizando que las variedades liberadas no solo sean competitivas a nivel local, sino también a nivel global, bajo distintas condiciones agroecológicas (Gordón et al., 2024).

1.1 Planteamiento del problema

La creciente población mundial y el cambio climático han planteado serios desafíos a la seguridad alimentaria, lo que resalta la necesidad de híbridos comerciales de maíz más productivos y adaptables. Las proyecciones indican que para el año 2050 la población global alcanzará los 9.700 millones de personas, lo que aumentará la demanda de alimentos (FAO, 2012).

Se espera que los efectos del calentamiento global reduzcan tanto la cantidad como la calidad de los cultivos, por lo que es crucial acelerar el desarrollo de nuevas variedades de maíz que sean capaces de soportar condiciones climáticas adversas sin comprometer el rendimiento ni la calidad de los productos agrícolas. A través del mejoramiento genético moderno, que incluye el uso de la genómica y la bioinformática, se han logrado avances significativos para mejorar la resistencia de los híbridos comerciales, aumentando su capacidad de adaptación (Nelson et al., 2009).

El maíz es uno de los cultivos más antiguos y fundamentales de la humanidad y de gran importancia en la agricultura panameña. Este grano no solo es un componente esencial de la dieta local, sino que también sustenta la economía rural, proporcionando ingresos a miles de agricultores en el país. A lo largo de los años, Panamá ha experimentado un creciente interés en el mejoramiento genético del maíz, enfocándose en desarrollar cultivares que optimicen el rendimiento y se adapten a las diversas condiciones edafo-climáticas del país.

Durante el 2023, el fenómeno de El Niño provocó un aumento significativo del estrés hídrico en los cultivos, incrementando los costos de producción debido a la necesidad de riego adicional y al deterioro del rendimiento en cultivos sensibles a la sequía (Roa, S. et al., 2024). Para este año 2024, con la llegada del fenómeno de La Niña, se ha observado un incremento en las lluvias, lo que genera riesgos de inundaciones, afectando a los cultivos ubicados en zonas bajas. La variabilidad climática ha intensificado estos patrones meteorológicos, provocando eventos extremos que comprometen la seguridad alimentaria y la estabilidad de la producción agrícola de la región (León et al., 2024).

Los cultivares tradicionales de maíz, aunque representan una rica fuente de diversidad genética, presentan limitaciones significativas en cuanto a su rendimiento y resistencia a factores adversos como plagas, enfermedades y condiciones climáticas extremas. A lo largo del tiempo, muchas de estas variedades, junto con algunos híbridos más antiguos, han experimentado una erosión genética debido a la selección natural y la falta de estrategias de conservación adecuadas. Esta pérdida de variabilidad genética reduce su capacidad para adaptarse a los cambios ambientales

y las exigencias del mercado agrícola actual, tal como se ha evidenciado en estudios de diversidad genómica en maíces criollos de distintas regiones (Domínguez et al., 2024).

1.2 Antecedentes

En Panamá, el maíz tiene importancia tanto económica como cultural. Desde tiempos precolombinos, este ha sido un alimento básico en la dieta de los panameños, de manera especial en las regiones rurales; y sigue siendo fundamental en la gastronomía local. Según el cierre agrícola 2022-2023, Panamá sembró 22,618 hectáreas de maíz y cosechó un total de 22,487 hectáreas, con una producción que alcanzó los 2,404,865 quintales (Ministerio de Desarrollo Agropecuario [MIDA], 2023 b). El mismo informe señala que la producción de este rubro se concentra en la provincia de Los Santos con un porcentaje de producción nacional del 84 por ciento (%).

En la provincia de Los Santos, principal región productora en Panamá, el cultivo de maíz enfrenta desafíos significativos debido a la alta variabilidad climática (Gordón, 2020). Esto influye en la capacidad de adaptación de los híbridos. En esta región las condiciones climáticas exhiben una notable variabilidad que impacta significativamente la agricultura local. Las temperaturas oscilan entre 32.5 °C y 38.0 °C, con una humedad relativa promedio del 76%. Las precipitaciones pueden aumentar entre un 10% y un 20% respecto a lo normal en ciertos períodos, acentuadas por la presencia de microclimas que generan variaciones considerables en las lluvias (MIDA, 2021).

Estudios recientes en la región de Los Santos, Panamá, han destacado el uso de métodos como el AMMI y SREG para optimizar la selección de cultivares de maíz (Gordón & Camargo, 2021; Gordón et al., 2024) y de tomate (Jaén et al., 2024), mejorando la eficiencia en la toma de decisiones agronómicas. Mediante un análisis estadístico riguroso, se determina la respuesta diferencial de los híbridos ante condiciones cambiantes, subrayando la importancia de seleccionar genotipos que no solo sean productivos, sino que también mantengan un rendimiento estable en diversos entornos (Gordón et al., 2006).

1.3 Justificación

El maíz amarillo es de gran importancia para la economía agrícola de Panamá. Es fuente esencial para la alimentación tanto humana como animal siendo fundamental en la producción pecuaria como parte clave de su alimentación. Muchos agricultores en el país dependen del cultivo de maíz como una fuente vital de ingresos y sustento lo que refuerza su relevancia (Instituto de Mercadeo Agropecuario [IMA], 2020).

Las condiciones climáticas desfavorables en la provincia de Los Santos, como sequías y lluvias intensas tienen un impacto negativo en el cultivo de maíz, ya que alteran el equilibrio de los ecosistemas productivos lo cual incrementa la incidencia de plagas y enfermedades. Según Quiroga (2023), el cambio climático está modificando temperatura, humedad y gases de efecto invernadero, lo que puede favorecer el crecimiento de hongos e insectos, alterando el triángulo de la enfermedad. Las altas precipitaciones pueden causar daños mecánicos en las plantas, haciéndolas más susceptibles a plagas; mientras que las sequías pueden favorecer la proliferación de plagas invasoras como el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), una plaga

devastadora en el cultivo de maíz; y la aparición de enfermedades como la Mancha de asfalto que previamente no se registraba, pero ahora con la alta cantidad de lluvias han aparecido focos de este hongo al igual que algunas enfermedades bacterianas, los cuales se benefician de la variabilidad climática.

Los híbridos comerciales de maíz presentan numerosas ventajas en términos de adaptabilidad y productividad, lo que los convierte en una solución viable frente a los desafíos agrícolas actuales. Con el crecimiento de la población mundial, la presión sobre la producción de alimentos ha aumentado, y los híbridos comerciales se destacan por su capacidad para ofrecer altos rendimientos en diversas condiciones climáticas y de suelo. Estos híbridos han sido desarrollados para tolerar factores estresantes bióticos y abióticos, lo que les permite mantener la productividad incluso en ambientes adversos (Bojtor et al., 2021).

La evaluación de la IGA es esencial para identificar híbridos de maíz adaptados a condiciones específicas o a múltiples ambientes. Este fenómeno se refiere a las variaciones en el rendimiento de los cultivares según las condiciones en las que se cultivan. Para garantizar la introducción efectiva de nuevos híbridos, es fundamental realizar ensayos en diversas ubicaciones que permitan seleccionar aquellos que presenten un alto rendimiento medio y una adaptabilidad confiable en diferentes condiciones ambientales.

El análisis de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) y de regresión en los sitios (SREG) son herramientas estadísticas valiosas que permiten desglosar la complejidad de las interacciones IGA. Un híbrido ideal es aquel que

presenta un alto rendimiento y baja variabilidad en múltiples ambientes, lo que indica una buena adaptación y potencial para el cultivo en diversas condiciones. La identificación precisa de estos híbridos mejora la producción agrícola y contribuye a la seguridad alimentaria.

Por lo antes expuesto, se hace necesaria la evaluación de híbridos comerciales de maíz en distintos ambientes para identificar cultivares más productivos y adaptables a diversas condiciones de la provincia de Los Santos, garantizando así una producción más estable ante los efectos de la variabilidad climática que ejercen una gran presión sobre los cultivos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento agronómico de híbridos precomerciales de maíz amarillo en la provincia de Los Santos, Panamá.

1.4.2 Objetivos específicos

- Estimar la interacción genotipo ambiente de híbridos precomerciales de maíz amarillo en dos localidades de la provincia de Los Santos, Panamá.
- Identificar los híbridos de maíz amarillo con mejor adaptabilidad a las condiciones agroclimáticas de la provincia de Los Santos, Panamá.

1.5 Hipótesis

Ho: Los híbridos precomerciales de maíz amarillo no presentan diferencias en su comportamiento agronómico bajo las condiciones agroclimáticas de la provincia de Los Santos, Panamá.

Ha: Los híbridos precomerciales de maíz amarillo presentan diferencias en su comportamiento agronómico bajo las condiciones agroclimáticas de la provincia de Los Santos, Panamá.

Alcances y limitaciones del estudio

1.6.1 Alcances del trabajo:

- Se podrá identificar híbridos comerciales con mayor adaptabilidad y rendimiento, lo que permitirá determinar cuáles presentan mejor comportamiento agronómico, frente a las condiciones climáticas variables de Los Santos.
- Con los resultados obtenidos, se podrán emitir recomendaciones técnicas sobre los híbridos comerciales adecuados para las condiciones agroclimáticas específicas de la provincia, ayudando a optimizar la productividad de los cultivos en la región.
- Aportará información sobre cómo los diferentes híbridos comerciales responden a variaciones ambientales, lo cual puede ser utilizado en futuros programas de mejoramiento genético y en la adaptación de híbridos comerciales a condiciones climáticas cambiantes.

1.6.2 Limitaciones

- Las variaciones climáticas imprevistas que puedan alterar los resultados de la investigación, como sequías o lluvias fuera de temporada, que afecten el desarrollo del cultivo.
- La representatividad de los datos obtenidos, ya que solo se evaluarán dos localidades, lo que podría limitar las conclusiones sobre la adaptabilidad de los híbridos a condiciones específicas.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen y distribución mundial del maíz

El maíz (*Zea mays* L.) tiene su origen en Mesoamérica. A partir de su antecesor el teocintle (*Zea mays ssp. Parviglumis*) se da su domesticación, esto hace 9000 años en el Valle del río Balsas, al sur de México (Matsuoka et al., 2002; Doebley et. al., 2006). Con esta transformación genética se marcó el inicio de una expansión agrícola y cultural, dispersándose por América Central y hacia el Sur, esto lo evidencian diferentes restos arqueológicos que fueron encontrados en la región Andina los cuales datan de hace más de 6500 años (Van Heerwaarden et al., 2011).

La expansión del maíz fue objeto de un constante proceso de selección natural y artificial, lo que favoreció su adaptación a diversos ambientes agroecológicos incluyendo altitudes medias y altas, esto, gracias a la introgresión genética con *Zea mays ssp. mexicana* (Van Heerwaarden et al., 2011). El maíz en el presente se cultiva en todos los continentes, superando los 1,160 millones de toneladas anuales en producción y países como Estados Unidos, China, Brasil y la India se encuentran entre los principales países productores (Tenaillon & Charcosset, 2011; FAO, 2024).

Su alta versatilidad lo ha posicionado en diversos sectores, desde la producción humana hasta la producción animal e industrial, como el cereal más cultivado a nivel mundial y como un componente estratégico en la seguridad alimentaria global (Erenstein et al., 2022).

2.2 Mejoramiento genético del cultivo de maíz en Centroamérica y Panamá

El mejoramiento genético del maíz en Centroamérica ha sido una estrategia clave para aumentar la productividad agrícola. Gracias al Programa Cooperativo Centroamericano y del Caribe para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA), el cual dio inicio en 1954, con el propósito de optimizar la producción de maíz en Centroamérica y Panamá mediante la cooperación técnica y científica (Fuentes et al., 2016).

Durante los últimos veinticinco años en Centroamérica, la liberación de alrededor de 80 cultivares de maíz ha sido fundamental para incrementar el rendimiento de este cultivo en un 60%. Esto ha sido posible gracias a la colaboración entre los programas nacionales de investigación y la industria de semillas, quienes han desarrollado y distribuido variedades mejoradas adaptadas a las condiciones locales (Córdova et al., 2000).

En Panamá, se han llevado a cabo evaluaciones similares a las del PCCMCA para identificar híbridos de maíz que presentan adaptabilidad y estabilidad en las condiciones locales. Durante 2020, el Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) dirigió ensayos en varias localidades de la provincia de Los Santos, como El Ejido, La Candelaria, entre otros, en colaboración con otros países de la región mesoamericana. Estos ensayos incluyen híbridos de grano blanco y amarillo, siguiendo un diseño experimental similar al empleado por el PCCMCA. Los resultados destacaron el rendimiento sobresaliente de varios híbridos, que superaron de forma significativa a los testigos locales y regionales, mostrando alto rendimiento y buenas características agronómicas en las condiciones panameñas (Gordón & Flores, 2021).

En varias localidades de la provincia de Los Santos se realizaron ensayos desde 2017 que incluyeron variedades de grano normal y de alta calidad proteica. Utilizando un diseño experimental alfa látice, en el cual el número de variedades varió en cada ciclo. El análisis de los datos mostró diferencias significativas en rendimiento y otras características agronómicas, con algunos genotipos que demostraron una destacada estabilidad en distintos ambientes de la provincia, lo cual permitió recomendar su uso a nivel local (Camargo et. al., 2017).

2.3 Adaptabilidad específica e interacción genotipo-ambiente

La adaptabilidad específica de un genotipo se refiere a su capacidad para expresar potencial productivo de forma diferencial en ambientes particulares. Esta característica es precisa en el mejoramiento genético moderno, dado cuando se busca la optimización de híbridos comerciales en regiones con alta variabilidad agroclimática (Gauch, 2006).

La interacción genotipo - ambiente (IGA) representa una de las principales fuentes de variación en los ensayos multilocales y puede comprometer la eficacia de la selección si no se considera de forma adecuada (Yan & Kang, 2002).

La IGA se puede definir como el comportamiento relativo diferencial que muestran los genotipos cuando se les somete a diferentes ambientes; es decir, la incapacidad de un genotipo para responder de forma similar cuando se le siembra en diferentes ambientes. Esta interacción reduce la asociación entre los valores genotípicos y fenotípicos y obliga a los fitomejoradores a considerar la estabilidad o adaptabilidad de los materiales (Vallejo & Estrada, 2002).

La IGA es una característica que se evaluará en los genotipos sobresalientes con el propósito de seleccionar aquellos con una menor interacción en la región de interés, cuya respuesta en rendimiento se incremente conforme mejoran las condiciones (Torres et al., 2005).

Conocer la magnitud de la IGA permite evaluar la estabilidad de los cultivares en la gama de ambientes en que se quieren introducir y también los potenciales productivos y limitaciones de estos en las localidades (Lozano et al., 2015).

2.4 Modelos para el análisis de la interacción genotipo-ambiente

La Interacción Genotipo-Ambiente (IGA) es un componente crucial en la evaluación de cultivares, ya que describe cómo el desempeño relativo de los genotipos varía a través de diferentes condiciones ambientales (Ma et al. 2024; Gauch, 2006). Analizar esta interacción es fundamental para identificar genotipos con adaptación amplia o específica.

Diversos métodos estadísticos se emplean para estudiar la IGA. El Análisis de Varianza (ANOVA) combinada permite detectar la presencia y significancia de la interacción, así como las diferencias promedio entre genotipos y ambientes. Cuando la IGA es significativa, indica que el ranking de los genotipos puede cambiar entre ambientes, lo que justifica análisis más detallados (Varela & Castillo, 2005; González et al., 2007).

En ensayos multi-ambientales con un número mayor de localidades (>2), métodos multivariados como el AMMI (Efectos Aditivos Principales e Interacción Multiplicativa) y el GGE Biplot son herramientas poderosas. El modelo AMMI descompone la IGA mediante Análisis de Componentes Principales (APC), permitiendo visualizar patrones

de interacción y estabilidad a través de biplots (Gauch, 2006; Yan et al., 2007). El GGE Biplot, por su parte, combina los efectos del genotipo (G) y la interacción (GE), facilitando la identificación de mega-ambientes y genotipos superiores para zonas específicas ("which-won-where"). Estos modelos han sido muy utilizados para la selección de cultivares en diversos cultivos.

De forma alterna, los modelos lineales mixtos (MLM), utilizando Máxima Verosimilitud Restringida (REML) para estimar componentes de varianza y el Mejor Predictor Lineal Insesgado (BLUP) para predecir valores genéticos, ofrecen un enfoque robusto y flexible. Los MLM son ventajosos por su capacidad para manejar datos desbalanceados, modelar estructuras de covarianza complejas entre ambientes y considerar efectos aleatorios, lo cual es común en ensayos agronómicos (John et al., 2025; Daba et. al., 2023). Los BLUPs calculados a partir de estos modelos proporcionan estimaciones ajustadas del valor genotípico, eliminando el "ruido" experimental.

Incluso con un número limitado de ambientes, los BLUPs calculados dentro de cada ambiente son estimadores valiosos del desempeño genotípico ajustado. Permiten comparar de forma más precisa el comportamiento de los genotipos en cada condición específica, facilitando la identificación de adaptación específica (Piepho et al., 2008). Visualizar estos BLUPs a través de gráficos de interacción puede revelar patrones de respuesta diferencial de los genotipos al cambio ambiental. Aunque existen índices de estabilidad derivados de BLUPs aplicables en redes de ensayos más amplias (Olivoto et al., 2019), la estimación precisa del desempeño en cada

ambiente mediante BLUPs sigue siendo un paso fundamental en los programas de mejoramiento.

Visualizar estos BLUPs específicos por ambiente es un paso clave para interpretar la IGA detectada. Gráficos de interacción (a menudo denominados *crossover plots* o gráficos de normas de reacción), que muestran el comportamiento de cada genotipo al pasar de un ambiente a otro, permiten describir la naturaleza del cambio en el ranking y la respuesta diferencial de los materiales genéticos a las condiciones ambientales contrastantes (Yan & Tinker, 2006). El uso combinado de modelos multivariados y mixtos, junto con la interpretación visual mediante gráficos de interacción, proporciona una visión integral de la IGA. Estos enfoques permiten identificar híbridos de maíz con desempeño estable y adaptabilidad específica, optimizando la selección de materiales según las condiciones agroclimáticas locales.

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación de los experimentos

El estudio se estableció en dos localidades de la provincia de Los Santos, Panamá (tabla 1). Previo a la siembra, se realizó un muestreo de suelo en cada sitio para determinar sus características físico-químicas (Figura 1). Las muestras se tomaron a una profundidad de 0.20 centímetros (cm), recolectando submuestras en cada bloque experimental para conformar una muestra compuesta por localidad.

La información climática se obtuvo de las estaciones meteorológicas más cercanas pertenecientes a la red agroclimática del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (Figura 2).

Tabla 1.

Localidades evaluadas sobre el comportamiento agronómico de 16 híbridos comerciales de maíz amarillo en la provincia de Los Santos, Panamá.

No	Localidad	Distrito	Latitud	Longitud	Fecha de siembra	Fecha de cosecha
1	El Ejido	Los Santos	7° 54' 54.488'	80° 22.307'	Agosto 24	Enero 25
2	Nuevo Ocú	Pocrí	7° 39.145'	80° 07.186'	Septiembre 24	Enero 25

La ubicación geográfica de las localidades de estudio se presenta de manera ilustrativa en el anexo 1.

Figura 1.

Muestreo de suelo en ambas localidades para su análisis fisicoquímico.



Nota. Muestreo realizado en campo y preparación de muestras compuestas para análisis de laboratorio. (A) Extracción de la muestra de suelo, (B) Muestra compuesta preparada.

Figura 2.

Estaciones agroclimáticas en la región de Azuero.



Nota. Imagen referencial de estaciones de la red agroclimática del IDIAP.

3.2 Material genético.

Se evaluaron 14 híbridos precomerciales de maíz amarillo suministrados por compañías privadas, un testigo regional y un testigo local (Tabla 2).

Tabla 2.

Híbridos pre comerciales de maíz amarillo evaluados en dos localidades de la provincia de Los Santos, Panamá.

No	Híbrido	Empresa
1	NK306	Syngenta
2	ADV765	Advanta Seeds
3	NK6514	Syngenta
4	ESPLENDOR	Interoc
5	MY9613	Bayer
6	MY9614	Bayer
7	MY9615	Bayer
8	MY9617	Bayer
9	HD50Y	CIDS
10	CHLT22Y011	CIMMYT
11	CHLT22Y537	CIMMYT
12	ADV783	Advanta Seeds
13	ADV785	Advanta Seeds
14	HTK150251	Advanta Seeds
15	DK8719 (T Regional)	Dekalb
16	30F35 (T Local)	Pioneer

3.3 Unidad experimental y manejo agronómico.

La unidad experimental consistió en dos surcos de 5.2 metros (m) de largo. Los ensayos fueron sembrados a una distancia de 0.75 m entre hileras y 0.20 m entre plantas para una densidad inicial de 6.66 plantas por metro cuadrado (plantas/m²). El manejo agronómico se realizó utilizando la recomendación para el manejo del cultivo de maíz del IDIAP (Gordón, 2021).

El establecimiento de los ensayos y el proceso de siembra se registran mediante evidencia fotográfica en los Anexos 2 y 3.

3.4 Variables a medir.

Descripción de toma de datos: Los datos evaluados comprendieron caracteres cuantitativos, susceptibles a la variación ambiental, y caracteres cualitativos, menos influenciados por el ambiente. La recolección y manejo de la información se efectuó conforme a la metodología establecida por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 1995).

Días a floración femenina (FF): Indica el número de días entre la siembra y la fecha en la que el 50% de las plantas de una parcela tienen estigmas de dos a tres (2-3) centímetros de longitud.

Altura de planta (ALPT): Distancia de la base de la planta hasta el punto donde la espiga comienza a dividirse, expresada en centímetros.

Altura de mazorca (ALMZ): Es la distancia desde la base de una planta al nudo con la mazorca más alta, expresada en centímetros. La altura de planta y mazorca pueden medirse de dos a tres semanas después de la floración.

Número de plantas cosechadas: Es el número de plantas en cada parcela al momento de la cosecha.

Acame de tallo (ACT): Número de plantas con una inclinación de 30 grados o más a partir de la perpendicular en la base de la planta.

Acame de raíz: Número de plantas con tallos rotos debajo de las mazorcas; se evalúa al final del ciclo.

Número de mazorcas cosechadas: Número total de mazorcas cosechadas.

Número de mazorcas podridas: Califica la incidencia de pudrición de mazorcas y granos causada por *Diplodia spp.*, *Fusarium spp.* en una escala de uno a cinco (1-5), donde 1 = 0% de granos infectados y 5 = 40% o más de granos infectados.

Aspecto de la planta: Para cada parcela se calificó de manera integral características tales como altura de la planta y la mazorca, uniformidad de las plantas, daños e insectos en las hojas y aspecto foliar, usando una escala de uno a cinco (1 - 5), donde 1 es excelente y 5 deficiente. Se evalúa en las etapas finales, antes que las hojas se tornen de color café, cuando las mazorcas están completamente desarrolladas.

Aspecto de la mazorca (ASMz): A la pila de mazorcas frente a cada parcela se le calificó características tales como daño por enfermedades e insectos, tamaño de la mazorca, llenado del grano y uniformidad de las mazorcas, en una escala de 1 a 5, donde 1 es óptimo y 5 es deficiente.

Enfermedades (BMA): Se realizó la evaluación de daños por enfermedades en cada parcela, utilizando una escala de uno a nueve (1 a 9), donde 1 indica ausencia de síntomas y 9 una infección muy severa. La evaluación se llevó a cabo en las etapas finales del cultivo, antes de que las hojas se tornaran de color café. Se puso especial

atención a las principales enfermedades reportadas para las zonas maiceras de Panamá, según el Manual Técnico de Gordón, (2021), entre ellas las pudriciones causadas por *Diplodia* spp. y *Fusarium* spp., que se encuentran entre las más frecuentes e impactantes en el cultivo. Asimismo, se consideró la presencia de achaparramiento, el complejo de la mancha de asfalto y otras enfermedades que pueden aparecer de forma intermitente, como las ocasionadas por *Physoderma* spp., *Bipolaris* spp. y *Curvularia* spp., cuya incidencia y severidad están estrechamente relacionadas con la lluvia, la temperatura, la humedad relativa y el manejo agronómico del cultivo.

Cobertura de mazorca: Número de mazorcas de cada parcela que, antes de la cosecha, presentarán expuesta cualquier parte de la mazorca.

Peso de campo: Se registró el peso de campo de las mazorcas con sus olotes en kilogramos hasta con un decimal.

Porcentaje de humedad: Mazorcas representativas de cada parcela fueron desgranadas para determinar el porcentaje de humedad del grano al momento de la cosecha, en cifras hasta de un decimal.

El procedimiento de cosecha, pesaje y toma de muestras para determinación de humedad se registra mediante evidencia fotográfica en los Anexos 9, 10 y 12.

3.5 Diseño experimental y análisis estadístico

3.5.1 Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un diseño alfa Látice 4 x 4, con tres repeticiones. Para el análisis estadístico de las variables expresadas en porcentaje (plantas acamadas, mazorcas podridas y mazorcas con punta descubierta) se aplicó una transformación de raíz cuadrada más un medio ($\sqrt{x} + 0.5$). El rendimiento de grano de cada híbrido fue normalizado mediante estandarización $N(0,1)$:

$$RN_i = \frac{(X_i - \mu)}{\delta}$$

donde X_i representa el rendimiento del híbrido de interés, μ es la media general y δ es la desviación estándar general a través de localidades.

3.5.2 Análisis de varianza por localidad

Se realizó un análisis de varianza por localidad utilizando el método REML (Restricted Maximum Likelihood) según Vargas et al. (2012).

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

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.

La repetitividad (H) se calculó por localidad mediante la siguiente fórmula:

$$H = \frac{\delta g^2}{\delta g^2 + \delta e^2 / N^{\circ} \text{reps}} \quad (2)$$

donde δg^2 es la varianza de genotipos, δge^2 es la varianza de la interacción genotipo x ambiente y δe^2 es la varianza del error de los análisis de varianza realizados a cada localidad.

3.5.3 Análisis combinado de varianza

Para evaluar la significancia de la interacción genotipo ambiente (IGA), se realizó un análisis de varianza combinada utilizando el siguiente modelo estadístico:

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

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 fijos dentro del modelo. En este modelo, los genotipos se consideran como efectos fijos y las repeticiones como efectos al azar. La estructura de las covarianzas se estimó mediante componentes de varianza.

3.5.4 Modelos mixtos y comparación de medias

Adicional para cada localidad se ajustó un modelo lineal mixto individual mediante la función lmer. Los BLUPs obtenidos se utilizaron para estimar el rendimiento ajustado de cada híbrido y para la posterior visualización de la interacción genotipo por ambiente.

Las medias ajustadas (LS means) se calcularon para todas las variables y las comparaciones de medias se realizaron mediante la Diferencia Mínima Significativa (DMS) al 5% de probabilidad.

3.5.5 Representación gráfica de la interacción genotipo - ambiente (IGA)

La interacción genotipo - ambiente se representó mediante un gráfico de interacción tipo *crossover*, realizado a partir de los BLUPs obtenidos por localidad. Este gráfico permitió identificar cambios en el ordenamiento de los híbridos entre ambientes, evidenciando la magnitud y tipo de IGA.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización Edafológica y Pluviométrica de las Zonas de Estudio

4.1.1. Propiedades físico-químicas del suelo

Se observaron diferencias entre las localidades en cuanto a las características físicas y químicas del suelo (Tabla 3). En El Ejido, la textura correspondió a un suelo franco arcilloso (20 % arena, 32 % limo y 48 % arcilla), mientras que en Nuevo Ocú fue franco arcillo-arenoso (34 % arena, 20 % limo y 46 % arcilla). Esto indica que, aunque ambos suelos presentan una proporción elevada de arcilla, las variaciones en arena y limo pueden influir en la retención de agua, aireación y disponibilidad de nutrientes, aspectos que condicionan el desarrollo del cultivo de maíz, tal como lo señalan Weil & Brady (2017), quienes afirman que la textura del suelo influye en casi todos los aspectos de su comportamiento.

Tabla 3.

Análisis comparativo de las propiedades del suelo en dos localidades de la provincia de Los Santos, Panamá.

Localidad	Textura %	% MO	pH	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe	Zn	Cu
	A - L - Arc					cmol/kg			mg/l			
El Ejido	20-32-48	1.2	5.4	4	0.22	15.9	12.4	0.2	36	12.3	1.5	4.8
Nuevo Ocú	34-20-46	1.6	5.5	2	0.19	18.3	10.5	0.1	29	2	0	6

Nota. Datos provenientes del análisis físico-químico realizado por el Laboratorio de Suelos del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), sede Divisa. MO=Porcentaje de materia orgánica; pH: Potencial de hidrógeno; P=Fósforo; K= Potasio, Ca= Calcio; Mg=Magnesio; Al=Aluminio; Mn= Manganeseo; Fe= Hierro; Zn=Zinc; Cu=Cobre; Textura (A=Arena, L=Limo, Arc=Arcilla); cmol/kg= Centimoles por kilogramo; mg/l= Miligramos por litro.

La materia orgánica en Nuevo Ocú registró un valor superior (1.6 %) en comparación con El Ejido (1.2 %). El pH fue ácido en ambas localidades, con valores de 5.4 y 5.5. Sin embargo, estos niveles no representan una condición limitante para el cultivo, ya que el maíz puede desarrollarse de forma adecuada en suelos con pH desde 5.5 hasta 8.0 Gordón (2021). Es probable que el comportamiento observado en los híbridos podría estar asociado tanto a la textura como a la composición química del suelo en ambas localidades. Esto coincide con lo informado por Jaurixje et al., (2013), quienes destacan que las propiedades físicas y químicas del suelo determinan la capacidad de las plantas para absorber nutrientes y desarrollarse de forma adecuada.

La diferencia más notoria entre ambas localidades se observó en la disponibilidad de nutrientes. El Ejido presentó el doble de fósforo disponible 4 miligramos por litro (mg/l) frente a Nuevo Ocú (2 mg/l), lo cual pudo favorecer en la emergencia y el desarrollo inicial de las plantas. El potasio fue similar en ambas localidades El Ejido 0.22 centimoles por kilogramo (cmol/kg), Nuevo Ocú (0.19 cmol/kg).

En cuanto a los cationes de cambio, Nuevo Ocú mostró un mayor contenido de calcio (18.3 cmol/kg), mientras que El Ejido presentó concentraciones más altas de magnesio (12.4 cmol/kg frente a 10.5 cmol/kg). Estas diferencias pudieron influir en la estabilidad del complejo de intercambio y en procesos fisiológicos del cultivo.

El aluminio intercambiable fue otro factor diferenciador entre las localidades. En el Ejido se registró una concentración de 0.2 cmol/kg, el doble de la observada en

Nuevo Ocú (0.1 cmol/kg). En suelos ácidos, este elemento puede limitar el desarrollo radical y disminuir la absorción de nutrientes ((Bojórquez et al., 2017), lo que pudo haber condicionado el desempeño de algunos genotipos.

En cuanto a los micronutrientes, El Ejido presentó mayores concentraciones de manganeso (36.4 mg/l), hierro (12.3 mg/l) y zinc (1.5 mg/l), mientras que Nuevo Ocú registró niveles más bajos de Mn (29 mg/l) y valores muy reducidos o nulos de Fe y Zn, aunque presentó más cobre (6 mg/l frente a 4.8 mg/l). Estas diferencias pudieron afectar procesos metabólicos clave como la fotosíntesis, el desarrollo reproductivo y la tolerancia al estrés, ya que los micronutrientes son esenciales para la activación de enzimas, la síntesis de clorofila y proteínas, y la regulación hormonal en las plantas (Marschner, 2012).

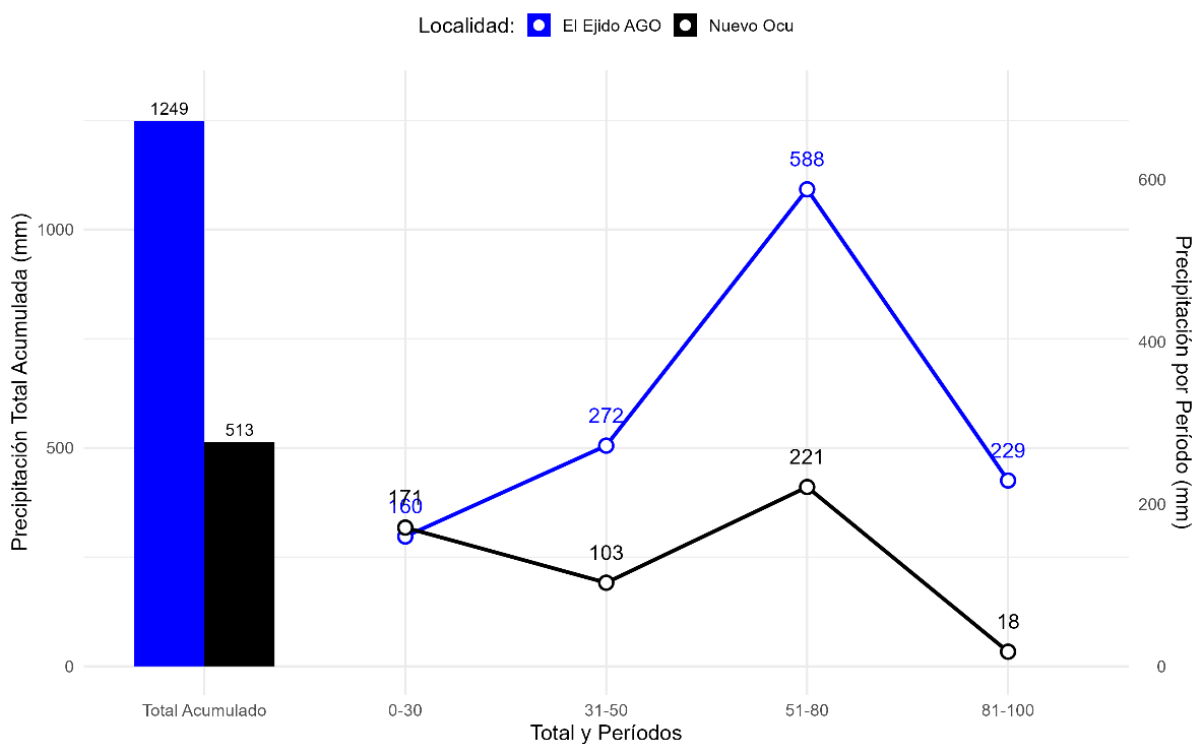
En conjunto, aunque las características físicas del suelo son similares, las diferencias en acidez, contenido de materia orgánica, disponibilidad de nutrientes y presencia de aluminio pudieron ser parte de la variabilidad observada en el rendimiento y comportamiento agronómico de los híbridos de maíz en ambas localidades.

4.1.2 Comportamiento de la precipitación

Los registros de precipitación (Figura 3) mostraron diferencias marcadas entre El Ejido y Nuevo Ocú durante los primeros 100 días del ciclo del cultivo. Tanto la cantidad como la distribución de las lluvias revelaron una amplia variación entre sitios.

Figura 3.

Precipitación total acumulada y por periodos en las localidades de El Ejido y Nuevo Ocú, Los Santos, Panamá.



El acumulado total en El Ejido fue de 1249 milímetros (mm), más del doble de lo registrado en Nuevo Ocú (513 mm). Sin embargo, no solo el acumulado total fue determinante, sino también la concentración por etapa del cultivo, lo que condicionó la respuesta de los híbridos evaluados.

Durante los primeros 30 días después de la siembra (0-30 dds), ambas localidades presentaron valores similares (160 mm en El Ejido y 171 mm en Nuevo

Ocú), lo que indicó que la fase de establecimiento se desarrolló bajo condiciones hídricas similares.

En el periodo 31-50 dds, se evidenció una diferencia importante: El Ejido registró 272 mm frente a solo 103 mm en Nuevo Ocú. Esta etapa coincide con el crecimiento vegetativo activo, donde una mayor disponibilidad hídrica puede favorecer el desarrollo foliar.

La mayor diferencia se presentó entre los 51 y 80 dds, periodo que coincide con la floración y el inicio del llenado de grano, considerados momentos críticos para el rendimiento del maíz (Gordón, 2021). En esta etapa, El Ejido acumuló 588 mm, mientras que Nuevo Ocú registró 221 mm. Aunque el agua es esencial en esta fase, el volumen registrado en El Ejido, sumado a la textura franco arcillosa del suelo (48 % de arcilla), pudo provocar saturación, reducir la aireación de las raíces, afectar la polinización y limitar la absorción de nutrientes. Este tipo de condiciones concuerdan con lo señalado por Li et al. (2019), quienes destacan que la lluvia excesiva puede ocasionar daños físicos directos y anegamiento del suelo, generando estrés radicular, deficiencias nutricionales y pérdida significativa de rendimiento comparables a las causadas por la sequía.

Por el contrario, los 221 mm en Nuevo Ocú durante el mismo periodo se aproximan más a los requerimientos óptimos del cultivo, estimados entre 200 y 250 mm para la fase de floración y llenado de grano (Gordón, 2021; Martínez et al., 2020), lo que pudo favorecer una expresión más estable del potencial productivo de los híbridos.

En la etapa final del ciclo del cultivo (81-100 dds), El Ejido registró 229 mm, mientras que Nuevo Océ solo 18 mm. Aunque el maíz en esta fase es menos exigente en agua, la persistencia de lluvias en El Ejido pudo prolongar la humedad del suelo y retrasar el llenado y madurez fisiológica, mientras que el déficit en Nuevo Océ pudo acelerar la senescencia y acortar el desarrollo final del grano.

El contraste hídrico entre localidades, en especial durante el periodo crítico de floración y llenado de grano, favoreció la manifestación de respuestas específicas de cada genotipo frente a las condiciones ambientales particulares. Estas diferencias en la disponibilidad y distribución de la precipitación condicionaron el desarrollo fisiológico del cultivo, e influyó en la expresión diferencial de los materiales evaluados.

4.2. Análisis del comportamiento agronómico de 16 híbridos de maíz amarillo en dos localidades de la provincia de los santos, panamá.

4.2.1. Análisis de varianza combinada de caracteres agronómicos en 16 híbridos de maíz evaluados en dos ambientes de la provincia de Los Santos, Panamá.

El análisis de varianza combinada (Tabla 4) mostró diferencias significativas entre híbridos y localidades, confirmando la existencia de variabilidad genética y contrastes ambientales. El resultado más relevante fue la significancia de la interacción genotipo x ambiente (GEN×AMB), que reveló que el desempeño de los híbridos de maíz no fue consistente entre ambientes. Esta respuesta diferencial subraya la importancia de la evaluación multiambiental para identificar genotipos con

adaptación específica o amplia (López et al., 2019; Ponce et al., 2022).

Tabla 4.

Análisis de varianza combinada para variables agronómicas de 16 híbridos de maíz amarillo en dos localidades en la provincia de Los Santos, Panamá.

Fuente de Variación	GY	FM	FF	ALPT	ALMZ	PTM2	MZM2	POD	ACT	BMA	ACH	ASPT	ASMZ	COB	POMZ	TEX	HUM
Genotipo	0.938 **	0.489 **	0.49 **	114.5 *	18.0 **	0.882 ns	0.959 ns	13.45 **	1.549 *	1.051 *	12.21 ns	0.00 **	0,000 **	8.88 ns	0.00 **	0.651 **	0.91 **
Ambiente	10.738 **	11.1286 **	12.26 **	243.0 **	111.6 **	0 **	0 **	137.90 **	0.623 **	0.000 **	0.00 ns	0.111 ns	0.894 **	1.44 **	0.00 **	0.334 **	1.46 **
Gen x Amb	2.992 **	0.854 **	0.70 **	23.0 ns	27.9 **	0.444 **	0.473 **	27.58 **	0.000 ns	0.315 **	0.44 ns	0.079 **	0.231 **	0.00 ns	0.00 *	0.027 ns	0.00 ns
Error	0.7465	0.976	0.93	91.9	31.5	0.1943	0.7306	27.89	5.948	0.194	18.89	0.261	0.244	33.57	0.00	0.563	1.88
H	0.37	0.45	0.49	0.81	0.48	0.78	0.73	0.42	0.61	0.85	0.64	0.00	0.00	0.61	0.46	0.86	0.74
DMS/R	0.71	0.56	0.56	0.35	0.56	0.41	0.44	0.68	0.40	0.32	0.52	1.36	0.95	0.55	0.51	0.33	0.48
CV	12.7	2.0	1.8	3.9	4.9	7.6	15.1	46.0	96.9	12.3	87.6	8.6	8.0	107.0	6.3	32.4	8.4

Nota. Gen x amb= Genotipo por ambiente; H=Repetitividad; DMS/R= Diferencia mínima significativa por rango; CV= coeficiente de variación.

La interacción GENxAMB se manifestó en un amplio rango de variables. Hubo una respuesta diferencial significativa en caracteres fenológicos (FM y FF), de arquitectura de planta (ALPT y ALMZ), en componentes de rendimiento y en las variables relacionadas con sanidad y resistencia al estrés mecánico, (POD) y (ACT), lo que indica que la estabilidad de los híbridos frente a estos factores depende del ambiente. En conjunto, estos resultados justifican el análisis comparativo entre localidades y el uso de metodologías que permitan identificar materiales estables o mejor adaptados a cada

condición (López et al., 2019; Ponce et al., 2022).

El rendimiento de grano (GY) estuvo determinado en gran medida por las condiciones edafoclimáticas y se relacionó estrechamente con sus componentes directos (PMZ, MZM2 y ASM2). La interacción con el ambiente mostró que algunos híbridos dieron mazorcas más pesadas, mientras que otros produjeron un mayor número de mazorcas viables. Esta plasticidad refleja que el rendimiento es el resultado de un equilibrio entre componentes y su ajuste a las condiciones ambientales, lo que coincide con lo documentado en estudios de estabilidad y adaptabilidad en maíz (López et al., 2019; Ponce et al., 2022).

4.2.2 Comportamiento agronómico promedio de los híbridos.

El análisis de las medias ajustadas (Tabla 5) permitió evaluar de manera más precisa el desempeño de los híbridos comerciales y genotipos locales de maíz bajo las condiciones de las localidades evaluadas. Estas, mostraron diferencias entre los genotipos evaluados. El mayor rendimiento se registró con el MY9615 con 8.62 toneladas por hectárea ($t \cdot ha^{-1}$), que superó al Testigo Regional DK8719 ($6.53 t \cdot ha^{-1}$) en ($2.09 t \cdot ha^{-1}$), lo que representa un incremento aproximado de 32.0 %. En relación con el Testigo Local ($5.99 t \cdot ha^{-1}$), la ventaja fue de $2.63 t \cdot ha^{-1}$, equivalente a un aumento cercano a 43.9 % en rendimiento. Le siguieron MY9614 ($8.39 t \cdot ha^{-1}$), ADV783 ($8.41 t \cdot ha^{-1}$), NK6514 ($8.10 t \cdot ha^{-1}$) y MY9613/MY9617 ($8.02 t \cdot ha^{-1}$), todos por encima del promedio general de $6.78 t \cdot ha^{-1}$. En contraste, los híbridos ADV765 ($3.58 t \cdot ha^{-1}$), HTK150251 ($4.69 t \cdot ha^{-1}$) y ADV785 ($4.70 t \cdot ha^{-1}$) presentaron los valores más

bajos, lo que evidenció menor adaptabilidad a las condiciones de los sitios de evaluación. Las variables fenológicas, morfométricas y de rendimiento mostraron amplia variabilidad, siendo la altura de planta y mazorca (ALPT y ALMZ) asociadas al rendimiento (GY).

Tabla 5.

Medias ajustadas (BLUPs) para caracteres agronómicos de 16 híbridos de maíz amarillo en dos localidades de la provincia de Los Santos, Panamá.

HIBRIDOS	GY (tha ⁻¹)	FM (días)	FF (días)	ALPT (cm)	ALMZ (cm)	PTM2	MZM2	POD (%)	ACT (%)	BMA (1-9)	ACH (%)	ASPT (1-9)	ASMZ (1-9)	COB (%)	POMZ	TEX (1-4)	HUM (%)
NK306	6.96	51	53	257	121	6.65	6.28	21.1	1.0	3.5	12.4	6.0	6.5	8.0	0.47	1.5	16.6
ADV765	3.58	50	52	226	107	3.19	3.07	11.4	-0.2	3.0	11.4	5.8	6.2	2.3	0.48	1.7	17.3
NK6514	8.10	52	54	247	120	6.27	5.94	9.8	1.3	3.0	4.6	5.8	5.9	6.0	0.49	2.0	16.7
ESPLENDOR	4.61	52	54	223	108	4.65	4.49	22.5	2.5	3.2	7.0	5.8	6.7	2.7	0.48	1.0	17.5
MY9613	8.02	49	52	250	115	6.54	6.65	11.5	1.5	3.0	4.5	5.9	6.1	9.3	0.47	3.2	17.1
MY9614	8.39	51	53	256	129	6.48	6.96	8.6	1.8	3.0	0.4	6.2	5.8	6.1	0.51	3.0	17.5
MY9615	8.62	49	51	248	114	6.62	6.89	7.3	2.9	3.0	2.2	5.9	5.7	11.2	0.46	2.2	16.2
MY9617	8.02	50	52	249	119	6.23	6.54	9.6	1.2	3.2	4.2	6.0	5.9	4.8	0.48	3.8	16.7
HD50Y	7.08	51	53	243	109	6.22	5.85	5.4	4.6	5.3	5.9	6.1	6.3	3.1	0.45	2.2	14.3
CHLT22Y011	7.03	50	52	239	108	6.33	6.03	23.2	3.1	3.0	5.0	6.0	6.3	9.2	0.46	3.3	14.8
CHLT22Y537	7.81	50	52	253	117	6.13	6.40	7.1	7.0	3.0	-0.3	5.6	6.1	1.2	0.46	3.0	14.7
ADV783	8.41	50	53	247	116	6.35	5.34	10.3	2.0	6.8	0.1	6.0	5.5	1.0	0.48	1.2	17.6
ADV785	4.70	52	54	244	118	5.63	5.63	9.9	3.5	4.8	14.0	6.0	6.6	5.3	0.48	3.3	15.1
HTK150251	4.69	52	54	215	115	3.50	3.31	9.1	2.5	3.0	4.0	6.2	6.4	2.1	0.52	1.3	17.5
DK8719 (TR)	6.53	49	51	242	122	5.82	5.84	11.7	2.3	3.0	-0.4	5.7	6.4	1.5	0.50	2.0	16.9
TLOCAL	5.99	50	53	252	109	5.87	5.42	5.3	3.3	3.5	4.7	6.1	6.0	13.2	0.43	2.3	15.7
PROMEDIO	6.78	50	53	243	116	5.78	5.67	11.5	2.5	3.6	5.0	6.0	6.1	5.4	0.5	2.3	16.4
DMS	3.60	2	2	15	12	1.43	1.69	12.1	2.8	1.2	7.6	0.8	1.1	6.7	0.0	0.9	1.6

Nota. GY= Rendimiento de grano; FM= Floración masculina; FF= Floración femenina; ALPT= Altura de planta; ALMZ= Altura de mazorca; PTM2= Plantas por metro cuadrado; MZM2= Mazorcas por metro cuadrado; POD= Porcentaje de mazorcas podridas; ACT= Porcentaje de acame de tallo; BMA= Enfermedad foliar; ACH= Porcentaje de achaparramiento; ASPT= Aspecto de planta; ASMZ= Aspecto de mazorca; COB= Cobertura de mazorca; POMZ= Posición de mazorca; TEX= Textura de grano; HUM= Humedad de grano; TLOCAL= testigo local; DMS= Diferencia mínima significativa.

Los días de floración masculina (FM) variaron entre 49 y 52 dds, mientras que la floración femenina (FF) se presentó entre 51 y 54 dds. Estos resultados indican una ligera variación en la duración del ciclo reproductivo, lo cual es relevante para la sincronización de la polinización. Genotipos como MY9615 y DK8719 fueron más precoces (49 dds a FM y 51 dds a FF), mientras que materiales como NK6514, ESPLENDOR, ADV785 y HTK150251 alcanzaron la floración más tardía (52–54 dds). La precocidad observada en algunos híbridos representa una ventaja en ambientes de alta variabilidad climática, al reducir el riesgo de estrés hídrico en etapas críticas.

La altura de planta (ALPT) osciló entre 215 cm (HTK150251) y 257 cm (NK306), mientras que la altura de mazorca (ALMZ) fluctuó de 107 cm (ADV765) a 129 cm (MY9614). En densidad de población, el número de plantas por metro cuadrado (PTM2) varió entre 3.19 (ADV765) y 6.65 (NK306), y el número de mazorcas por metro cuadrado (MZM2) entre 3.07 (ADV765) y 6.96 (MY9614). Estas diferencias reflejan la variabilidad genética en vigor, arquitectura de planta y establecimiento de la población, lo que repercute directamente en el potencial de rendimiento.

El porcentaje de mazorcas podridas (POD) fue bajo en la mayoría de los materiales (-0.2 a 7.0 %), con mayor incidencia en CHLT22Y537 (7.0 %) y ADV785 (3.5 %). El acame de tallo (ACT) presentó un rango amplio, desde valores negativos o nulos (-0.4 en DK8719) hasta 6.8 % en ADV783, reflejó diferencias en la resistencia estructural de tallos. En cuanto a enfermedades foliares (BMA), los híbridos ADV785 (14.0 %) y NK306 (12.4 %) fueron los más afectados, mientras que MY9614 (0.4 %) presentó el menor nivel de incidencia. El achaparramiento (ACH) mostró variación de

1.0 (ADV783) a 11.2% (MY9615), indicando susceptibilidad diferenciada a esta condición fisiopatológica. Estos resultados evidencian que algunos híbridos mantienen un mejor comportamiento fitosanitario, lo cual es clave para la estabilidad de rendimiento en condiciones de campo.

El aspecto de planta (ASPT) y de mazorca (ASMZ), evaluados en una escala de 1 a 9, mostraron valores promedio estables (5.5–6.7), lo que indica una apreciación visual favorable en la mayoría de los genotipos. El material ADV785 obtuvo la puntuación más alta en aspecto de planta (6.6), mientras que el testigo local (TLOCAL) destacó por su mayor puntuación en aspecto de mazorca (6.7). La cobertura de mazorca (COB) osciló entre 0.43 y 0.52, con tendencia a buena protección de los granos, mientras que la posición de mazorca (POMZ) osciló de 1.0 a 3.8, lo que refleja diferencias en la uniformidad de inserción de mazorcas en la planta.

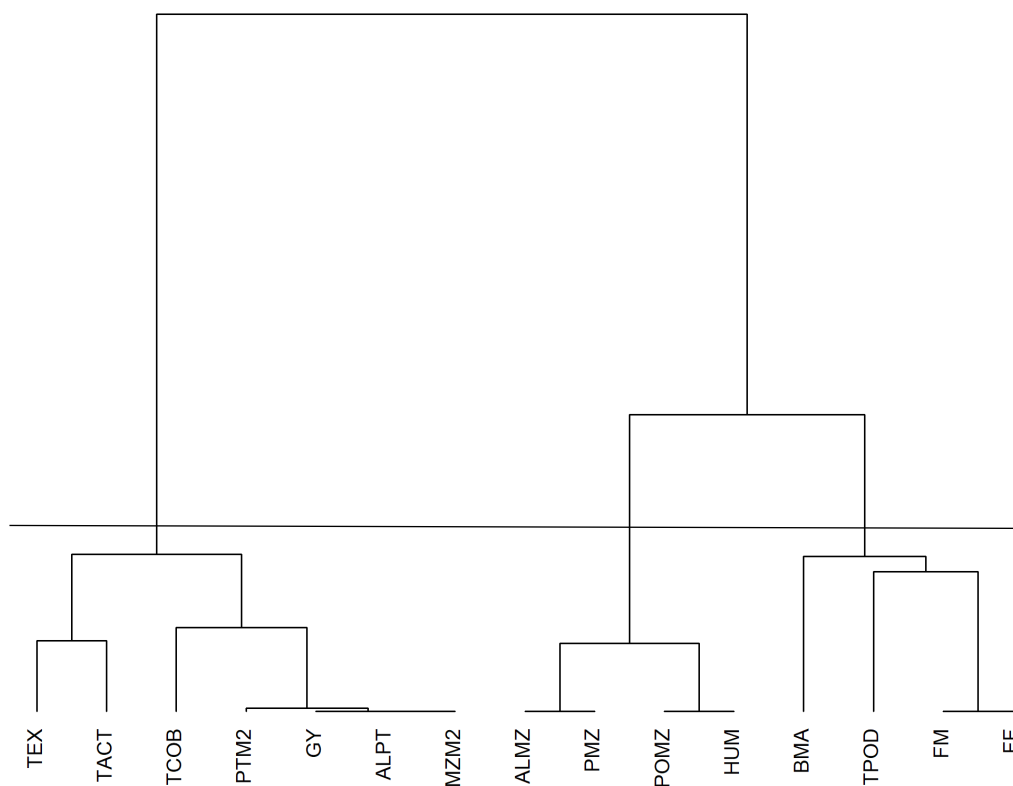
La textura del grano (TEX) presentó valores ajustados entre 0.45 y 0.51, ubicando a los genotipos dentro de categorías de grano intermedio entre semiduro y dentado. El contenido de humedad (HUM) en cosecha varió de 14.3 % (HD50Y) a 17.6 % (ADV783).

4.2.3. Análisis multivariado y asociación entre caracteres agronómicos

El Dendograma (Figura 4), permitió observar cómo las variables evaluadas se agrupan en tres grupos según su nivel de asociación.

Figura 4.

Agrupamiento de caracteres morfoagronómicos basado en su nivel de asociación, utilizando el método de Ward.



Nota. TEX= Textura de grano; TACT= Transformación de podrida; TCOB= Transformación de cobertura; PTM2= Plantas por metro cuadrado; GY= Rendimiento de grano; ALPT= Altura de planta; MZM2= Mazorca por metro cuadrado; ALMZ= Altura de mazorca; PMZ= Peso de mazorca; POMZ= Posición de mazorca; HUM= Humedad de grano; BMA= Enfermedad foliar; TPOD= Transformación podrida; FM= Floración Masculina; FF= Floración femenina.

En el primer grupo, el rendimiento de grano (GY) se encuentra vinculado con las variables PTM2, ALPT, MZM2 y ALMZ, lo que indica que características morfoestructurales relacionadas con el desarrollo vegetativo están asociadas al desempeño productivo. Este resultado coincide con lo reportado por Ren et al., (2022),

quienes indican que la altura de la planta y la altura de mazorca mostraron correlaciones significativamente positivas con el rendimiento del maíz.

El segundo grupo está conformado por las variables (PMZ), (POMZ) y (HUM), que se relacionan con la calidad y condición del grano. Estas características reflejan la eficiencia del llenado y la madurez fisiológica del cultivo, ya que variables como el peso del grano y el contenido de humedad influyen en el rendimiento y en la calidad del producto cosechado (Zhao et al., 2023).

Finalmente, el tercer grupo está conformado por las variables (BMA), (TPOD), (FM) y (FF), que se agrupan en un bloque separado, lo que evidencia que su relación con el rendimiento es menos estrecha y podría depender del ambiente o de interacciones específicas en cada localidad. Diversos estudios han confirmado que la interacción genotipo \times ambiente ejerce un papel determinante en la expresión de caracteres agronómicos asociados al rendimiento, reflejando la variabilidad en la respuesta de los híbridos a diferentes condiciones edafoclimáticas (Yan & Kang, 2002). Además, las enfermedades foliares han sido identificadas como un factor limitante en la productividad del maíz, al comprometer la sanidad foliar y reducir el rendimiento de los cultivos (Nsibo et al., 2024).

4.2.4. Comportamiento productivo de los híbridos en cada ambiente de evaluación

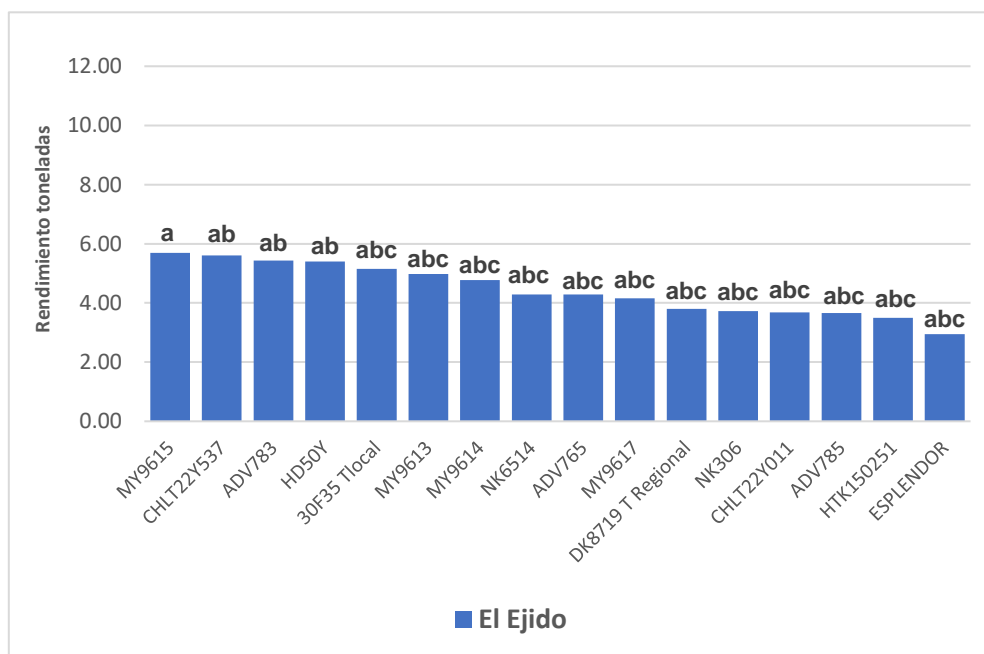
4.2.4.1 Comportamiento de los híbridos en el ambiente de El Ejido

En la localidad de El Ejido, se observaron diferencias significativas en el rendimiento, destacando MY9615 como el híbrido de mayor productividad ($6.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), ubicándose de forma exclusiva en el grupo estadístico superior (Figura 5). Este

liderazgo sugiere una alta adaptación a las condiciones específicas de este sitio, las cuales estuvieron marcadas por un exceso de precipitación (1249 mm). La combinación de lluvias intensas con un suelo de textura arcillosa pudo ser lo que generó un estrés por saturación hídrica, por lo que la superioridad de MY9615 podría atribuirse a una mayor tolerancia a condiciones de anegamiento temporal en comparación con los demás genotipos. En contraste, el híbrido ESPLENDOR mostró el desempeño más bajo, indicando una clara falta de adaptación a este ambiente.

Figura 5.

Rendimiento de grano ($t \cdot ha^{-1}$) de 16 híbridos de maíz en la localidad de El Ejido, Los Santos.



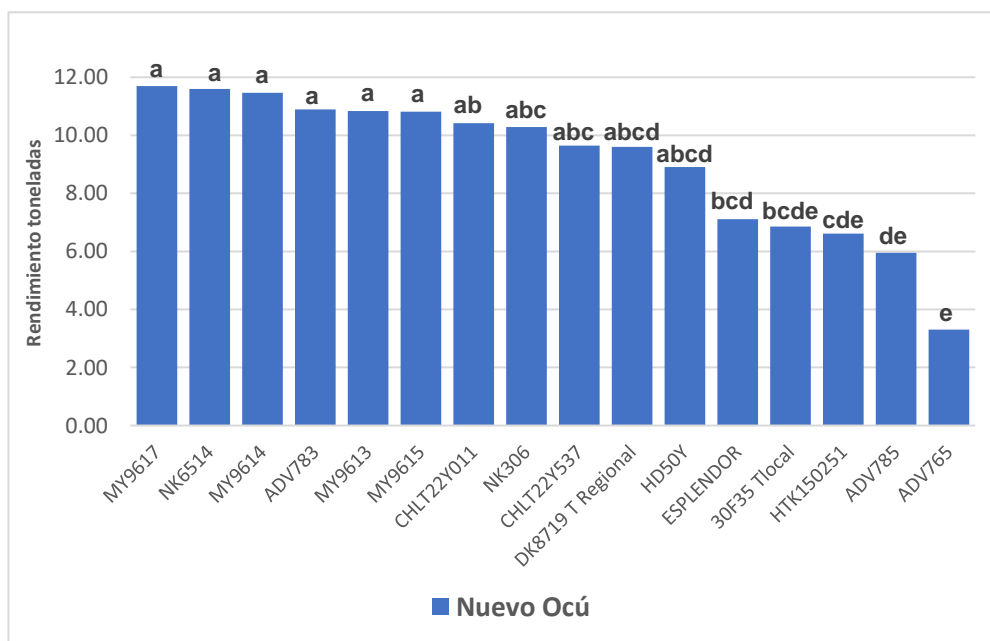
Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

4.2.4.2 Comportamiento de los Híbridos en el Ambiente de Nuevo Ocú.

El comportamiento productivo en Nuevo Ocú fue muy diferente, con un incremento en el rendimiento promedio general. En este ambiente, con un régimen hídrico más favorable (513 mm), un grupo de seis híbridos conformó el conglomerado estadístico superior: MY9617, NK6514, MY9614, ADV783, MY9613 y MY9615 (Figura 6). El cambio en los materiales líderes evidencia una fuerte Interacción Genotipo x Ambiente (IGA), consistente con lo reportado por Ponce et al. (2022), en evaluaciones de híbridos de maíz amarillo bajo diferentes condiciones ambientales. La superioridad de este grupo en Nuevo Ocú sugiere que estos híbridos poseen un alto potencial genético que se expresa mejor en condiciones óptimas, pero que podría ser limitado por el exceso hídrico de El Ejido.

Figura 6.

Rendimiento de los híbridos en la localidad de Nuevo Ocú de Pocrí.



4.2.5 Análisis de la Interacción Genotipo-Ambiente (IGA) y patrones de adaptación

Como se detalla en la Figura 7, la magnitud de la interacción genotipo-ambiente se hace evidente al comparar los rendimientos ajustados (BLUPs) entre ambas localidades.

Figura 7.

Valores de rendimiento ajustado (BLUPs) y coeficientes de respuesta de 16 híbridos de maíz amarillo evaluados en dos localidades de la Provincia de Los Santos, Panamá.

Híbrido	Rendimiento en El Ejido (t·ha ⁻¹)	Rendimiento en Nuevo Océ (t·ha ⁻¹)	Δ Rend. (t·ha ⁻¹)	Clasificación según respuesta ambiental
NK306	6.80	7.10	0.30	Estabilidad moderada
ADV765	3.60	3.60	0.00	Muy baja estabilidad (malo en ambos)
NK6514	6.00	9.80	3.80	Adaptación específica a Nuevo Océ
ESPLENDOR	3.80	5.40	1.60	Respuesta moderada (bajo rendimiento)
MY9613	6.50	8.50	2.00	Consistentemente competitivo*
MY9614	7.90	9.00	1.10	Alta estabilidad fenotípica
MY9615	6.20	9.50	3.30	Tolerante a estrés hídrico (El Ejido)
MY9617	5.80	10.10	4.30	Adaptación específica a Nuevo Océ
HD50Y	7.40	6.50	-0.90	Adaptación específica a El Ejido
CHLT22Y011	6.90	7.20	0.30	Estabilidad moderada
CHLT22Y537	7.20	8.50	1.30	Respuesta moderada
ADV783	8.00	8.80	0.80	Alta estabilidad fenotípica
ADV785	4.90	4.50	-0.40	Tendencia a El Ejido (bajo rendimiento)
HTK150251	5.10	4.30	-0.80	Adaptación específica a El Ejido (bajo)
DK8719	6.70	6.40	-0.30	Tendencia a El Ejido
TLOCAL	6.30	5.70	-0.60	Adaptación específica a El Ejido
Promedio	5.80	7.80		

Δ Rend. = Diferencia entre ambientes (Nuevo Océ - El Ejido). Coeficiente de respuesta = (Rend. Nuevo Océ - Rend. El Ejido) / 2.0 t·ha⁻¹ (diferencia entre promedios ambientales). *MY9613 muestra interacción significativa ($\Delta=+2.0$ t·ha⁻¹) pero permanece en el grupo superior en ambos ambientes.

La diferencia de rendimiento (Δ Rend.) entre Nuevo Ocú y El Ejido varió desde $+4.30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ en MY9617 hasta $-0.90 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ en HD50Y, lo que evidencia patrones de respuesta contrastantes entre híbridos. Los genotipos con adaptación específica a Nuevo Ocú (NK6514 y MY9617) incrementaron su rendimiento en más de $3.80 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ cuando las condiciones hídricas fueron más favorables, pero perdieron competitividad en El Ejido, descendiendo a posiciones intermedias (quinto y sexto lugar). Por el contrario, genotipos tolerantes al exceso de humedad, como MY9615 mostraron la respuesta inversa, liderando en El Ejido con $6.20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a pesar de los 1,249 mm de lluvia registrados durante el ciclo.

Los híbridos ADV783 y MY9614 evidenciaron alta estabilidad fenotípica, con diferencias ambientales $<1.10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y coeficientes de respuesta inferiores a 0.15, manteniéndose de forma consistente dentro del grupo de mayor rendimiento en ambos sitios. El híbrido MY9613 presentó un patrón intermedio: aunque su $\Delta=+2.00 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ indica interacción significativa, se ubicó de manera recurrente dentro del grupo superior en los dos ambientes, por lo que se clasifica más como "consistentemente competitivo" que estrictamente estable.

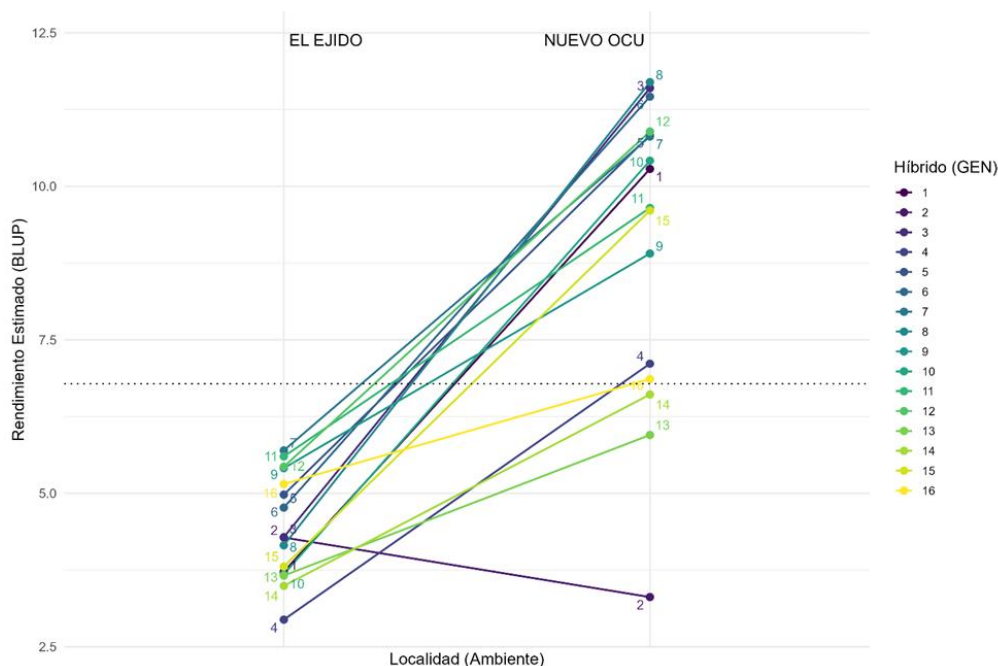
Esta segmentación respalda la hipótesis de trabajo y demuestra que la selección de híbridos debe realizarse de forma específica por microzona. Para El Ejido se recomiendan genotipos con Δ bajo o negativo (HD50Y, MY9615), mientras que para Nuevo Ocú son preferibles genotipos con $\Delta >+2.50$ (MY9617, NK6514). La existencia de genotipos con mayor estabilidad (ADV783, MY9614) ofrece una alternativa de

menor riesgo para productores con áreas de cultivo en ambas condiciones, aunque su rendimiento no alcance los valores máximos de los híbridos más especializados.

La Figura 8 muestra la interacción genotipo-ambiente como un cambio en el ranking de los híbridos entre localidades. El híbrido ADV765 (2) ocupó las últimas posiciones de rendimiento en El Ejido ($3.58 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), mientras que CHLT22Y537 (11) se ubicó entre los de menor rendimiento en Nuevo Ocú. En contraste, MY9615 (7) fue el híbrido líder en El Ejido, pero no mantuvo esa posición en Nuevo Ocú, lo que sugiere que su ventaja competitiva es específica de ambientes con exceso hídrico. Este cambio de orden entre genotipos, y no solo la diferencia en la magnitud del rendimiento, constituye la esencia de la IGA.

Figura 8.

Interacción entre el rendimiento estimado (BLUPs) de 16 híbridos de maíz amarillo (líneas) y dos localidades (eje X) en la provincia de Los Santos, Panamá.



El efecto ambiental se evidencia en la clara tendencia ascendente de la mayoría de las líneas desde El Ejido hacia Nuevo Océ, lo que confirma que Nuevo Océ fue en términos generales, el ambiente de mayor potencial productivo. Bajo estas condiciones, la mayoría de los híbridos expresaron rendimientos superiores en comparación con el ambiente de El Ejido, donde se presentaron condiciones de estrés por exceso hídrico y saturación de suelo.

La interacción se manifiesta en los cruces entre las líneas, característicos de una interacción tipo *crossover*. Por ejemplo, el híbrido MY9615 (7) fue el líder en el ambiente limitante de El Ejido, pero perdió su liderazgo en el ambiente de mayor potencial de Nuevo Océ. De forma inversa, el híbrido MY9617 (8) presentó un rendimiento medio en El Ejido, pero ascendió a la primera posición en Nuevo Océ, indicando una mejor adaptación a condiciones más favorables. Otro caso notable es el del híbrido ADV765 (2), que modifica su posición relativa y pasa a ubicarse entre los últimos en Nuevo Océ, tal como se aprecia en las Figuras 5 y 6. Este patrón de interacción *crossover* tiene una alta relevancia agronómica, ya que limita la posibilidad de emitir una recomendación general de híbridos para toda la provincia y resalta la necesidad de considerar la adaptación específica por localidad.

El comportamiento diferencial de las líneas en la Figura 8 permite clasificar a los híbridos según su respuesta a las condiciones ambientales. Los genotipos con adaptación específica a ambientes de mayor potencial (pendiente pronunciada ascendente) como MY9617, NK6514 y MY9613 incrementaron su rendimiento >2.50 t·ha⁻¹ en Nuevo Océ, pero descendieron a posiciones intermedias (cuarto y sexto

lugar) en El Ejido. Por el contrario, los genotipos tolerantes a exceso hídrico, caracterizados por pendientes descendentes, como HD50Y y MY9615 mostraron un mejor desempeño relativo en El Ejido, siendo MY9615 el híbrido líder en ese ambiente. Es importante resaltar que ADV783 y MY9614 presentaron una alta estabilidad fenotípica, con pendientes inferiores a $0.15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ por ambiente y diferencias constantes respecto al rendimiento promedio, manteniéndose dentro del grupo de mayor rendimiento en ambas localidades.

Finalmente, MY9613 no debe interpretarse como un híbrido 'estable': aunque forma parte del grupo superior en ambos ambientes, su diferencia de rendimiento entre localidades ($\Delta=+2.00 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) evidencia una interacción x ambiente importante, por lo que su uso es más recomendable cuando se prioriza un desempeño predecible y de riesgo medio, antes que la búsqueda de rendimientos máximos en condiciones específicas.

En conjunto, estos genotipos representan una opción más confiable y de menor riesgo para los agricultores de la región, al mostrar un desempeño satisfactorio tanto en condiciones óptimas como bajo situaciones de exceso hídrico. Este tipo de respuesta diferencial concuerda con lo planteado por Hudson et al., (2022) y Gordón et. al., (2010), quienes señalan que la IGA es un factor clave para explicar la variabilidad del rendimiento entre ambientes y para orientar la selección de cultivares adaptados a condiciones específicas o de amplio rango de adaptación.

V CONCLUSIONES

1. Esta investigación confirmó una interacción genotipo x ambiente altamente significativa, lo que evidencia que no es viable recomendar un único híbrido de maíz para toda la provincia de Los Santos. Las diferencias en disponibilidad de agua, tipo de suelo y condiciones agroecológicas influyen en el desempeño de los materiales evaluados.
2. El exceso de precipitación y la saturación del suelo se identificaron como los principales factores limitantes del rendimiento en zonas como El Ejido. Por tanto, para garantizar la estabilidad productiva en la provincia, es necesario seleccionar cultivares con alto potencial genético y con tolerancia al estrés hídrico.
3. Se identificaron híbridos con adaptabilidad amplia, entre ellos ADV783, MY9613 y MY9614 los cuales mostraron buen rendimiento en ambos ambientes evaluados. De manera destacada, el híbrido MY9615 registro el mayor rendimiento promedio en las dos localidades, lo que refleja un comportamiento productivo consistente. También se observaron híbridos con adaptación específica, como HD50Y en El Ejido y MY9617 en Nuevo Océ, lo que permite orientar recomendaciones según las condiciones de cada zona.
4. El análisis de asociación entre variables indicó que el rendimiento se relaciona con caracteres como la altura de planta, la altura de mazorca y el número de mazorcas por metro cuadrado. Esto confirma que la selección de híbridos debe considerar estos rasgos estructurales y no basarse solo en el rendimiento final.

5. Las diferencias edafoclimáticas entre El Ejido y Nuevo Océ demostraron que incluso localidades cercanas pueden generar respuestas distintas en los híbridos evaluados. Esto reafirma la necesidad de adaptar la selección de materiales a la disponibilidad hídrica y a las características del suelo de cada localidad, sobre todo en contextos de variabilidad climática.

VI RECOMENDACIONES

1. Definir la elección de híbridos con base en las condiciones edafoclimáticas de cada localidad, priorizando en materiales tolerantes al exceso hídrico en áreas como El Ejido y genotipos de alto potencial en ambientes más favorables como Nuevo Ocu.
2. Dar seguimiento al desempeño de los híbridos más destacados del estudio (ADV783, MY9613, MY9614, MY9617, NK6514 y MY9615) en ciclos adicionales, con el fin de confirmar su consistencia productiva y su estabilidad.
3. Evitar la siembra de híbridos sensibles al exceso hídrico en suelos arcillosos o con drenaje lento, para reducir pérdidas asociadas a la saturación del suelo.
4. Ampliar la evaluación a nuevos sitios dentro de la provincia para definir zonas de recomendación más precisas y respaldar la delimitación de zonas de adaptación dentro de la provincia.

VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bocianowski, J., Nowosad, K., & Rejek, D. (2024). Genotype-environment interaction for grain yield in maize (*Zea mays* L.) using the additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) model. *Journal of Applied Genetics*, 65(8 de agosto del 2024.), 653-664. <https://doi.org/10.1007/s13353-024-00899-4>
- Bojórquez, E., Escalante, C., Echevarría, I., & Martínez, M. (2017). Aluminum, a friend or foe of higher plants in acid soils. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1767. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01767>
- Bojtor, C., Mousavi, S., Illés, Á., Széles, A., Nagy, J., & Marton, C. (2021). Stability and adaptability of maize hybrids for precision crop production in a long-term field experiment in Hungary. *Agronomy*, 11(11), 2167. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112167>
- Božović, D., Popović, V., Rajičić, V., Kostić, M., Filipović, V., Kolarić, L., Ugrenović, V., & Spalević, V. (2020). Stability of the expression of the maize productivity parameters by AMMI models and GGE-biplot analysis. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(3), 1387–1397. <https://doi.org/10.15835/nbha48312058>
- Camargo, I., Gordón, R., & Quirós, E. (2017). La repetitividad como estimador de la precisión experimental en el análisis de experimentos. *Agronomía mesoamericana*, 28(1), 159. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.24239>

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (1995). *Manejo de los ensayos e informe de los datos para el programa de ensayos internacionales de maíz del CIMMYT*. México, D.F. Quinta reimpresión, 1999. ISBN: 970-648-045-5.

Córdova, H., Castellanos, S., & Héctor, S. & Bolaños, J. (2000). Veinticinco años de mejoramiento en los sistemas de maíz en centroamérica: Logros y estrategias hacia el año 2000. *Agronomía Mesoamericana*, 13(1), 73–84.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43713114>

Daba, S., Kiszonas, A., & McGee, R. (2023). Selecting high-performing and stable pea genotypes in multi-environmental trial (MET): Applying AMMI, GGE-biplot, and BLUP procedures. *Plants*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/plants12122343>

Doebley, J., Gaut, B., & Smith, B. (2006). The molecular genetics of crop domestication. *Cell*, 127(7), 1309-1321.
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2006.12.006>

Domínguez, P., Gutiérrez, A., Fass, M., Filippi, C., Vera, P., Puebla, A., Defacio, R., Paniego, N., & Lia, V. (2024). Genome-wide diversity in lowland and highland maize landraces from southern south America: Population genetics insights to assist conservation. *Evolutionary Applications*, 17(12), e70047.
<https://doi.org/10.1111/eva.70047>

- Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K., & Prasanna, B. (2022). Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. *Food Security*. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>
- Food and Agriculture Organization (FAO) (2012). Looking ahead in world food and agriculture: Perspectives to 2050. Food & Agriculture Organization of the United Nations. <https://n9.cl/n7hr65>
- Food and Agriculture Organization (FAO) (2024). Crops and livestock products database. Retrieved, from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. (2024). *FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Fao.org. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Fuentes, A., Salas, C., & Salazar, A. (2016). Origen e historia del programa cooperativo centroamericano y del caribe para el mejoramiento de cultivos alimenticios y producción animal. *Agronomía Mesoamericana*, 1, 93. <https://doi.org/10.15517/am.v1i0.25354>
- García, P., Pérez, I., Prieto, G., Castro, D., Sánchez, D., Marín, C., Nestares, J., Llanos, R., & Medina, A. (2021). Interacción genotipo ambiente y potencial productivo de 25 variedades de maíz amiláceo en la provincia de Tayacaja, Perú. *Bioagro*, 33(2), 67–78. <https://doi.org/10.51372/bioagro332.1>
- Gauch, H. (2006). Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*, 46(4), 1488–1500. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.07-0193>

- González, A., Castaño, J., & Rodríguez, D. (2007). Modelos estadísticos para el análisis de la interacción genotipo-ambiente. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(4), 363-372.
- Gordón, R. (2020). *Variabilidad climática y su efecto sobre la producción de maíz* Panamá: Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, 2020. 48 p.
<https://n9.cl/g5x09>
- Gordón, R. & Flores, H., (2021). Evaluación de híbridos de maíz en la Región Mesoamericana, PCCMCA 2020. In *Technical Report*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15082.64965>
- Gordón, R. (2021). El maíz en Panamá: Características, requerimientos y recomendaciones para su producción en ambientes con alta variabilidad climática. En *Panamá: Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, 2021* 108 p. Impreso: ISBN 978-9962-677-66-6 Digital: ISBN 978-9962-677-65-9.
https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/manual_tecnico_el_maiz_en_panama.pdf
- Gordón, R., & Camargo, 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.
<https://www.researchgate.net/publication/352905486>

- Gordón, R., Camargo, I., Franco, J., & González, A. (2006). Evaluación de la adaptabilidad y estabilidad de 14 híbridos de maíz, Azuero, Panamá. *Agronomía mesoamericana: órgano divulgativo del PCCMCA, Programa cooperativo centroamericano de mejoramiento de cultivos y animales*, 17(2), 189. <https://doi.org/10.15517/am.v17i2.5159>
- Gordón, R., Franco, J., Ramos, F., & San Vicente, F. (2024). Selección de un híbrido de maíz para los sistemas de siembra mecanizada en Panamá. In *Ciencia Agropecuaria* (Vol. 39, pp. 135–159) [Journal-article]. <https://www.researchgate.net/publication/382247583>
- Gordón, R., Franco, J., & Camargo, I. (2010). *Adaptabilidad y estabilidad de 20 variedades de maíz, Panamá*. Scielo.sa.cr. <https://doi.org/10.15517/am.v21i1.4907>
- Hudson, A., Odell, S., Dubreuil, P., Tixier, M., Praud, S., Runcie, D., & Ross, J. (2022). Analysis of genotype-by-environment interactions in a maize mapping population. *G3* (Bethesda, Md.), 12(3). <https://doi.org/10.1093/g3journal/jkac013>
- Instituto de Mercadeo Agropecuario (IMA) (2020). *Catálogo de rubros cultivados en Panamá*. <https://ima.gob.pa/wp-content/uploads/2021/03/CATALOGO-RUBROS-2020-.pdf>

- Jaén, J., González, M., Camargo, I., Gordón, R., Sáez, A., & Centella, F. (2024). Adaptabilidad y estabilidad de mutantes de tomate en Los Santos, Panamá. *Agronomía Costarricense*, 27–38. <https://doi.org/10.15517/rac.v48i1.59124>
- Jaurixje, M.; Torres, D.; Mendoza, B.; Henríquez, M.; Contreras, J. (2013). Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor. *Lara Bioagro*, 25(1), 47-56.
- John, B., Ramaswamy, S., Swaminathan, M., Dharmalingam, K., Mahalingam, G., Raman, P., & Jegadeesan, R. (2025). Comparative analysis of stability models for identifying rice inter-subspecific breeding lines adapted to different temperature regimes for exploitation in hybrid breeding. *BMC Plant Biology*, 25(1), 563. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06484-z>
- Kachapur, R., Patil, N., Talekar, S., Wali, M., Naidu, G., Salakinakop, S., Harlapur, S., Bhat, J., & Kuchanur, P. (2023). Importance of mega-environments in evaluation and identification of climate resilient maize hybrids (*Zea mays* L.). *PLoS ONE*, 18(12), e0295518. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295518>
- León, S., Otálora, G., Buitrago, D., Riveros, L., Giraldo, C., & Roa, S. (2024). Estimación de los efectos de la variabilidad climática en la producción agrícola en Colombia. *e-CUCBA*, 11(21), 133–141. <https://doi.org/10.32870/e-cucba.vi21.330>

- Li, Y., Guan, K., Schnitkey, G., DeLucia, E., & Peng, B. (2019). Excessive rainfall leads to maize yield loss of a comparable magnitude to extreme drought in the United States. *Global Change Biology*, 25(7), 2325-2337. <https://doi.org/10.1111/gcb.14628>
- López, F., Chura, J., & García, G. (2019). Interacción genotipo por ambiente del rendimiento de maíz amarillo en híbridos trilineales, Perú. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(4), 859-872. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1696>
- Lozano, Á., Santacruz, A., San Vicente, F., Crossa, J., Burgueño, J., & Molina, J. (2015). Modelación de la interacción genotipo x ambiente en rendimiento de híbridos de maíz blanco en ambientes múltiples. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(4), 337. <https://doi.org/10.35196/rfm.2015.4.337>
- Ma, C., Liu, C., & Ye, Z. (2024). Influence of genotype x environment interaction on yield stability of maize hybrids with AMMI model and GGE biplot. *Agronomy (Basel, Switzerland)*, 14(5), 1000. <https://doi.org/10.3390/agronomy14051000>
- Marschner, H. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). Academic Press.
- Martínez, M., Nakaegawa, T., Pinzón, R., Kusunoki, S., Gordón, R., & Sanchez, J. (2020). Using a statistical crop model to predict maize yield by the end-of-

century for the Azuero Region in Panama. *Atmosphere*, 11(10), 1097.
<https://doi.org/10.3390/atmos11101097>

Matsuoka, Y., Vigouroux, Y., Goodman, M. Sanchez G., Buckler, E., & Doebley, J. (2002). A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(9), 6080-6084. <https://doi.org/10.1073/pnas.052125199>

Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA) (2023 a). *Anuario estadístico agropecuario 2022*. Ministerio de Desarrollo Agropecuario.
<https://mida.gob.pa/inicio-infoagro/estadisticas/>

Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA) (2021). *Boletín Agroclimático, Unidad Agroambiental y Cambio Climático, Provincia de Los Santos*.
<https://adaptacion.miambiente.gob.pa/wp-content/uploads/2021/06/Boletin-Los-Santos-2.0.pdf>.

Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA) (2023 b). *Dirección nacional de agricultura cierre agrícola 2022-2023*. <https://mida.gob.pa/wp-content/uploads/2022/11/CIERRE-2021-2022-ultimo-23-11.pdf>

Nelson, G., Rosegrant, M., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., & Lee, D. (2009). Cambio Climático El impacto en la agricultura y los costos de adaptación.
<https://doi.org/10.2499/0896295370>

- Nsibo, D., Barnes, I., & Berger, D. (2024). Recent advances in the population biology and management of maize foliar fungal pathogens *Exserohilum turcicum*, *Cercospora zeina* and *Bipolaris maydis* in Africa. *Frontiers in Plant Science*, *15*, 1404483. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1404483>
- Olivoto, T., Lúcio, A., da Silva, J., Marchioro, V., de Souza, V., & Jost, E. (2019). Mean performance and stability in multi-environment trials I: Combining features of AMMI and BLUP techniques. *Agronomy Journal*, *111*(6), 2949-2960. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0220>
- Piepho, H., Möhring, J., Melchinger, A., & Büchse, A. (2008). BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. *Euphytica*, *161*(1-2), 209-228. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9449-8>
- Ponce, M., López, F., Chura, J., Hernández, E., Hernández, G., & Aragón, A. (2022). Interacción genotipo-ambiente del rendimiento en híbridos de maíz amarillo mediante AMMI y SREG. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *13*(7), 1247-1258. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i7.3070>
- Quiroga, A. (2023). *Impactos del cambio climático en la incidencia de plagas y enfermedades de los cultivos* - CropLife Latin America. <https://croplifela.org/es/actualidad/impactos-del-cambio-climatico-en-la-incidencia-de-plagas-y-enfermedades-de-los-cultivos>
- Ren, H., Liu, M., Zhang, J., Liu, P., & Liu, C. (2022). Effects of agronomic traits and climatic factors on yield and yield stability of summer maize (*Zea mays* L) in the

- Huang-Huai-Hai Plain in China. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1050064.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1050064>
- Roa, S., Velásquez, R., Ramírez, D., Camelo, F., & Camacho, C. (2024). El fenómeno del niño 2023: la agricultura y sus repercusiones en Colombia. *e-CUCBA*, 11(21), 115–120. <https://doi.org/10.32870/e-cucba.vi21.328>
- Saritha, A., Ramanjaneyulu, A., Sainath, N., & Umarani, E. (2020). Nutritional importance and value addition in maize. *Biotica Research Today*, 2(9), 974-977.
- Singamsetti, A., Shahi, J., Zaidi, P., Seetharam, K., Vinayan, M., Kumar, M., Singla, S., Shikha, K., & Madankar, K. (2021). Genotype x environment interaction and selection of maize (*Zea mays* L.) hybrids across moisture regimes. *Field Crops Research*, 270, 108224. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108224>
- Tenaillon, M., & Charcosset, A. (2011). A European perspective on maize history. *Comptes Rendus Biologies*, 334(3), 221-228.
<https://doi.org/10.1016/j.crvi.2010.12.015>
- Torres, V., Villa, V., Vázquez, V., Garza, S., & Gutiérrez, E. (2005). Interacción genotipo por ambiente en clones de papa bajo riego en el Noreste de México. *Agricultura Técnica En México*, Vol. 31 (1), 55-64.
<https://www.redalyc.org/pdf/608/60831106.pdf>

- Vallejo, F. & Estrada, E. (2002). *Mejoramiento genético de plantas*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/83121>
- Van Heerwaarden, J., Doebley, J., Briggs, W., Glaubitz, J., Goodman, M., de Jesús S., Gonzalez, J., & Ross, J. (2011). Genetic signals of origin, spread, and introgression in a large sample of maize landraces. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(3), 1088-1092. <https://doi.org/10.1073/pnas.1013011108>
- Varela, M. & Castillo, J. (2005). Modelos con términos multiplicativo. Aplicación en el análisis de la interacción genotipo ambiente. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas La Habana, Cuba. *Cultivos Tropicales*, 71–75. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193216156013.pdf>
- Vargas, M., Combs, E., Alvarado, G., Atlin, G., Mathews, K., & Crossa, J. (2012). META: A Suite of SAS Programs to Analyze Multienvironment Breeding Trials. *Agronomy Journal*, 105(1), 11–19. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0016>
- Weil, R. & Brady, N. (2017). *The nature and properties of soils* (D. Fox, Ed.; 15.^a ed.). <http://lccn.loc.gov/2016008568>
- Yan, W., & Kang, M. (2002). *GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists*. <https://doi.org/10.1201/9781420040371>

- Yan, W., & Tinker, N. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, *86*(3), 623-645.
<https://doi.org/10.4141/p05-169>
- Yan, W., Kang, M., Ma, B., Woods, S., & Cornelius, P. (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, *47*(2), 643-653.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0374>
- Zhao, R., Wang, Y., Yu, X., Liu, W., Ma, D., Li, H., Ming, B., Zhang, W., Cai, Q., Gao, J., & Li, S. (2023). Dynamics of maize grain weight and quality during field dehydration and delayed harvesting. *Agriculture*, *13*(7), 1357.
<https://doi.org/10.3390/agriculture13071357>

ANEXOS

Anexo 1

Mapa de ubicación de las localidades de estudio



Anexo 2

Establecimiento de los ensayos



Anexo 3

Proceso de siembra



Anexo 4

Aplicación de la primera fertilización a la fecha de siembra



Anexo 5

Germinación de los híbridos



Anexo 6

Aplicación de la segunda fertilización en plantas de maíz en estado V5-V6 (18-21 días después de la siembra)



Anexo 7

Desarrollo reproductivo: liberación de polen durante la floración masculina



Anexo 8

Registro de datos agronómicos en la etapa de floración del maíz



Anexo 9

Cosecha de mazorcas en la etapa final del ensayo para la evaluación del rendimiento



Anexo 10

Peso de mazorcas por híbrido durante la cosecha



Anexo 11

Registro de muestras de mazorcas cosechadas por híbrido.

**Anexo 12**

Preparación de muestras para la medición de humedad del grano

