

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS  
AGRONÓMICAS PARA DETERMINAR LA ADAPTABILIDAD DE  
HÍBRIDOS COMERCIALES DE MAÍZ DE GRANO BLANCO,  
PCCMCA EN PANAMÁ, 2024**

**JAHIR JESÚS GUILLÉN LÓPEZ**

**LAS TABLAS, LOS SANTOS**

**REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**2026**

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS  
AGRONÓMICAS PARA DETERMINAR LA ADAPTABILIDAD DE  
HÍBRIDOS COMERCIALES DE MAÍZ DE GRANO BLANCO,  
PCCMCA EN PANAMÁ, 2024.**

**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 EN LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AGROPECUARIAS  
APROBADO:**

**PROF. DR. ROMÁN GORDÓN**

\_\_\_\_\_  
**DIRECTOR**

**PROF. MGTR. JANETH URRIOLA**

\_\_\_\_\_  
**ASESORA**

**PROF. MGTR. JOSÉ RIVERA**

\_\_\_\_\_  
**ASESOR**

**LAS TABLAS, LOS SANTOS  
REPÚBLICA DE PANAMÁ  
2026**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco profundamente a Dios, por haberme dado la vida, la salud, la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa tan importante. Sin su guía y su presencia constante, este logro no habría sido posible. A Él le debo todo.

Agradezco también a mi asesor, Dr. Román Gordón por su dedicación, paciencia y orientación durante este proceso. Su experiencia y apoyo académico fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

Al Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) sede Los Santos, especialmente a los ingenieros Francisco Ramos, Ana Sáez, Jorge Franco, Jorge Núñez y a los jornaleros que estuvieron a disposición para la realización de los trabajos de campo.

A todos los que de alguna manera aportaron a este logro, mi más sincero agradecimiento. Esta meta alcanzada es el reflejo del esfuerzo conjunto y del amor recibido.

***Jahir Jesús Guillén López***

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo con todo mi cariño y gratitud a mi familia, por ser mi pilar fundamental en cada etapa de esta travesía.

A mis padres, por su amor incondicional, sus enseñanzas y su ejemplo de esfuerzo y perseverancia, que me han inspirado a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

A mi hermana, por su apoyo silencioso pero constante, y por recordarme siempre la importancia de mantenerme firme en mis convicciones.

A mis amigos y seres queridos, quienes con sus palabras de aliento y compañía me brindaron la fuerza necesaria para concluir esta etapa.

***Jahir Jesús Guillén López***

# **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS PARA DETERMINAR LA ADAPTABILIDAD DE HÍBRIDOS COMERCIALES DE MAÍZ DE GRANO BLANCO, PCCMCA EN PANAMÁ, 2024**

Guillén López, J. J., (2026). Evaluación del rendimiento y otras características agronómicas para determinar la adaptabilidad de híbridos comerciales de maíz de grano blanco, PCCMCA en Panamá, 2024. Tesis de Ingeniería Agronómica en Cultivos Tropicales. Los Santos, Panamá. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 67 páginas.

## **RESUMEN**

El maíz (*Zea mays* L.) es un pilar estratégico para la seguridad alimentaria en Panamá; no obstante, su producción en la región del Arco Seco enfrenta constantes desafíos climáticos y fitosanitarios. Bajo este contexto, la identificación de genotipos resilientes es fundamental para fortalecer el sector agropecuario. Esta investigación evaluó el rendimiento y la adaptabilidad de 18 híbridos de maíz blanco del programa PCCMCA durante el ciclo agrícola 2024, en las localidades de El Ejido y Río Pocrí, provincia de Los Santos. El estudio se realizó mediante un diseño experimental de Alfa Látee (6x3) con tres repeticiones, analizando variables de crecimiento, sanidad y rendimiento. El procesamiento de datos se efectuó con un modelo mixto (REML/MIXED) para estimar con precisión los efectos genotípicos y la interacción genotipo-ambiente (IGA). Los resultados destacaron a los híbridos CLTHW21532, CLTHW21551, CHLT22W015, MY9012, MY9005, HD-40W y P4028W por presentar los mayores rendimientos y una excelente estabilidad agronómica. Estos hallazgos proporcionan una base técnica esencial para que los productores locales seleccionen semillas de alto potencial, optimizando la productividad y sostenibilidad en condiciones de trópico seco.

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

# **EVALUATION OF YIELD AND OTHER AGRONOMIC CHARACTERISTICS TO DETERMINE THE ADAPTABILITY OF COMMERCIAL WHITE GRAIN MAIZE HYBRIDS (PCCMCA) IN PANAMA, 2024**

Guillén López, J. J., (2026). Evaluation of yield and other agronomic characteristics to determine the adaptability of commercial white grain maize hybrids (PCCMCA) in Panama, 2024. Agronomic Engineering Thesis in Tropical Crops. Los Santos, Panama. University of Panama. Faculty of Agricultural Sciences. 67 pages.

## **ABSTRACT**

Maize (*Zea mays* L.) is a strategic pillar for food security in Panama; however, its production in the Dry Arc region faces constant climatic and phytosanitary challenges. In this context, the identification of resilient genotypes is fundamental to strengthening the agricultural sector. This research evaluated the yield and adaptability of 18 white maize hybrids from the PCCMCA program during the 2024 growing season in the towns of El Ejido and Pocrí River, Los Santos province. The study was conducted using an Alpha Lattice (6x3) experimental design with three replications, analyzing growth, health, and yield variables. Data processing was performed using a mixed-mode (REML/MIXED) model to accurately estimate genotypic effects and genotype-environment interaction (GEI). The results highlighted the hybrids CLTHW21532, CLTHW21551, CHLT22W015, MY9012, MY9005, HD-40W, and P4028W for exhibiting the highest yields and excellent agronomic stability. These findings provide an essential technical basis for local producers to select high-potential seeds, optimizing productivity and sustainability under dry tropical conditions.

Keywords: *adaptability, hybrids, genotype x environment interaction, white maize, grain yield.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| AGRADECIMIENTO .....                                | iii |
| DEDICATORIA .....                                   | iv  |
| RESUMEN.....                                        | v   |
| ABSTRACT .....                                      | vi  |
| ÍNDICE DE CONTENIDO .....                           | vii |
| ÍNDICE DE TABLAS.....                               | ix  |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                              | x   |
| ÍNDICE DE ANEXOS.....                               | xi  |
| I. INTRODUCCIÓN.....                                | 1   |
| 1.1. Planteamiento del problema.....                | 2   |
| 1.2. Antecedentes.....                              | 3   |
| 1.3. Justificación .....                            | 5   |
| 1.4. Objetivos.....                                 | 6   |
| 1.4.1. Objetivo general.....                        | 6   |
| 1.4.2. Objetivos específicos .....                  | 6   |
| 1.5. Hipótesis.....                                 | 6   |
| 1.5.1. Hipótesis 1.....                             | 6   |
| 1.5.2. Hipótesis 2.....                             | 7   |
| 1.6. Alcances y limitaciones.....                   | 7   |
| 1.6.1. Alcances del trabajo .....                   | 7   |
| 1.6.2. Limitaciones del trabajo .....               | 7   |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA .....                    | 9   |
| 2.1. Programa de mejoramiento genético PCCMCA ..... | 9   |

|        |                                                                     |    |
|--------|---------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.   | Cultivo de maíz .....                                               | 10 |
| 2.3.   | Clima .....                                                         | 12 |
| 2.4.   | Relación G x A, Adaptabilidad y Estabilidad.....                    | 13 |
| III.   | MATERIALES Y MÉTODOS.....                                           | 16 |
| 3.1.   | Área de estudio .....                                               | 16 |
| 3.2.   | Descripción de los tratamientos.....                                | 17 |
| 3.3.   | Unidad experimental y manejo agronómico.....                        | 17 |
| 3.4.   | Toma de datos en campo .....                                        | 19 |
| 3.5.   | Diseño Experimental .....                                           | 22 |
| 3.6.   | Análisis Estadístico.....                                           | 22 |
| IV.    | RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                                        | 24 |
| 4.1.   | Análisis de varianzas .....                                         | 24 |
| 4.1.1. | Análisis de varianza combinado.....                                 | 24 |
| 4.1.2. | Efecto de los genotipos.....                                        | 27 |
| 4.1.3. | Comportamiento de los híbridos en el ambiente de El Ejido ..        | 31 |
| 4.1.4. | Comportamiento de los híbridos en el ambiente de Río Pocrí<br>..... | 33 |
| 4.1.5. | Análisis de la interacción genotipo-ambiente .....                  | 35 |
| V.     | CONCLUSIONES .....                                                  | 40 |
| VI.    | RECOMENDACIONES.....                                                | 42 |
| VII.   | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                    | 43 |
| VIII.  | ANEXOS.....                                                         | 52 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Cuadro con la ubicación, coordenadas y fechas de siembra de los ensayos .....                                                                            | 16 |
| <b>Tabla 2.</b> Híbridos blancos evaluados en el ensayo, PCCMCA, 2024.....                                                                                               | 17 |
| <b>Tabla 3.</b> Análisis de varianza combinado para rendimiento y otras características agronómicas en dos localidades en la provincia de Los Santos, Panamá, 2024 ..... | 27 |
| <b>Tabla 4.</b> Medias ajustadas para caracteres agronómicos de 18 híbridos de maíz blanco en dos localidades de la provincia de Los Santos .....                        | 30 |
| <b>Tabla 5.</b> Valores de rendimiento ajustado (BLUPS) de 18 híbridos de maíz blanco evaluados en dos localidades de la Provincia de Los Santos .....                   | 35 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Ubicación de los ensayos en las dos localidades .....                                                                                                                   | 16 |
| <b>Figura 2.</b> Medición de longitud del surco en parcela experimental de El Ejido ..                                                                                                   | 18 |
| <b>Figura 3.</b> Establecimiento de ensayos .....                                                                                                                                        | 19 |
| <b>Figura 4.</b> Rendimiento de 18 híbridos en la localidad de El Ejido .....                                                                                                            | 32 |
| <b>Figura 5.</b> Rendimiento de 18 híbridos de maíz blanco en la localidad de Río Pocrí, Pocrí.....                                                                                      | 34 |
| <b>Figura 6.</b> Interacción entre rendimiento estimado (BLUPS) de El Ejido vs el rendimiento estimado en Río Pocrí (eje x) de 18 híbridos de maíz blanco, provincia de Los Santos ..... | 37 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Anexo 1.</b> Siembra de ensayos en la localidad del Ejido .....                                            | 52 |
| <b>Anexo 2.</b> Fumigación de ensayos en la localidad del Ejido .....                                         | 52 |
| <b>Anexo 3.</b> Germinación del ensayo en la localidad del Ejido.....                                         | 53 |
| <b>Anexo 4.</b> Toma de datos de carácter cuantitativo de la localidad del Ejido .....                        | 53 |
| <b>Anexo 5.</b> Plantas al momento de la cosecha .....                                                        | 54 |
| <b>Anexo 6.</b> Limitantes del rendimiento .....                                                              | 54 |
| <b>Anexo 7.</b> Mazorca en la etapa final del ensayo para cosecha para la evaluación<br>del rendimiento ..... | 55 |
| <b>Anexo 8.</b> Mazorca luego de realizado el desgrane para obtener el porcentaje de<br>humedad.....          | 55 |
| <b>Anexo 9.</b> Determinación del porcentaje de humedad .....                                                 | 56 |
| <b>Anexo 10.</b> Híbridos que fueron sembrados en ambas localidades .....                                     | 56 |

## **I. INTRODUCCIÓN**

En Panamá, según el cierre agrícola del año 2022-2023 se sembraron 19,371 hectáreas (ha) de las cuales fueron cosechadas 92,782 toneladas (t) entre 777 productores a nivel nacional (MIDA, 2023). De este total, 666 productores pertenecen a la región de Azuero los cuales aportan el 94.34 por ciento (%) a la producción nacional.

Las condiciones meteorológicas actuales afectan y repercuten, negativamente, en el rendimiento del maíz. La Segunda Comunicación Nacional de Panamá para el Cambio Climático, determinó un deterioro por estrés hídrico y térmico, principalmente, en este cultivo. El aumento de la temperatura y las sequías recurrentes podrían llegar a exponer los suelos a una severa desertización en el Arco Seco (ANAM, 2011). Las altas temperaturas (Sáez et al., 2018), aunado al estrés hídrico (Núñez et al., 2018), tienen un efecto directo en la fenología de este cultivo, influenciando su potencial productivo. El estrés ambiental, cualquiera que sea su manifestación, también, afecta a los microorganismos involucrados en el reciclaje de nutrientes en el suelo, afectando su disponibilidad, reduciendo la eficiencia del uso de los fertilizantes, provocando un aumento en las cantidades aplicadas, provocando una contaminación ambiental e incrementando el costo de producción.

El maíz está entre los cultivos de mayor variabilidad genética y adaptabilidad ambiental (Gordón, 2021). La identificación y selección de genotipos que se adapten a las distintas condiciones ambientales, así como el identificar híbridos con alto rendimiento y buena estabilidad agronómica es el

objetivo de la mayoría de los programas de mejoramiento genético de los distintos países y empresas dedicadas al agronegocio (Gordón & Deras, 2019).

### **1.1. Planteamiento del problema**

En la actualidad, debido a la variabilidad climática y otros factores relacionados a este, los materiales genéticos que se encuentran en el mercado tienen un comportamiento distinto a sus inicios. Esto causa disminución en los rendimientos y aumento de los costos de producción, siendo una limitante para el desarrollo de este rubro.

La variabilidad climática significa un cambio importante del patrón de producción de la cadena del maíz, representando enormes retos y desafíos para los productores y otros actores. La dependencia de la importación de maíz, a futuro, puede ser un factor de alto riesgo para la seguridad alimentaria nacional, para la actividad económica en general y para el agronegocio de los pequeños, medianos y grandes productores en particular; además de las empresas que procesan el grano (Gordón, 2021).

Según la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (FENALCE, 2013) una estrategia para incrementar la productividad es el ascenso en el área sembrada con maíz tecnificado, lo que implica el uso de semillas certificadas de maíz híbrido. Si estos híbridos poseen atributos adicionales, entre ellos una mayor calidad nutritiva del grano, es posible garantizar una mejor seguridad alimentaria para la población, no obstante, para alcanzar esta meta se requiere que las condiciones de manejo del cultivo sean óptimas y los híbridos se siembren en ambientes adecuados.

Un clima adverso y desastres naturales han sido características en todas las provincias del país. Cambios más recientes derivados entre otros factores del calentamiento global y la crisis del precio de los alimentos, han aumentado la vulnerabilidad y el riesgo de las comunidades rurales y de los productores causando un impacto significativo en la seguridad alimentaria y la pobreza extrema. Sequías al inicio de los ciclos de siembra, lluvias más intensas en algunos períodos de cultivo y la aparición de nuevas plagas están causando trastornos importantes en la productividad y la seguridad alimentaria. Reportes de investigaciones recientes, incluyendo estudios de modelación, señalan que el impacto del calentamiento global podría causar significativas disminuciones en el rendimiento de maíz y otros cultivos en los próximos treinta años (Gordón, 2014).

Molina (1992) indica que, la inconsistencia del comportamiento de los híbridos a través de ambientes de evaluación puede tener su origen en el grado de diversidad de los genotipos y de los ambientes de prueba. Por lo tanto, Palomo (1976) nos dice que, para recomendar una variedad o híbridos en una región, es necesario evaluar varios materiales en una muestra adecuada de ambientes.

## **1.2. Antecedentes**

La evaluación de nuevos cultivares a través distintos ambientes en toda la Región de Meso América data de muchos años. Esta se inició en el año 1956 en un ensayo regional de maíz del Programa Cooperativo Centroamericano de Maíz (PCCM), quien fue el predecesor de lo que hoy se conoce como Programa

Cooperativo Centroamericano de Cultivos y Animales (PCCMCA) (Gordón & Deras, 2017).

Para conocer cómo se comportan los distintos materiales genéticos a través de diversos ambientes, se hace necesario captar los conceptos de adaptabilidad y estabilidad. Según el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) (2007), la adaptabilidad es la capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad climática y los cambios extremos) a fin de moderar los daños potenciales, aprovechar las consecuencias positivas, o soportar las derivaciones negativas. Gordón et al. (2017) sembró un experimento en 10 localidades, el material genético se conformó de tres híbridos de grano blanco y 17 de grano amarillo, para un total de 20 genotipos. Esto con el objetivo de evaluar la adaptabilidad y estabilidad de distintos híbridos en la región de Azuero. El rendimiento promedio fue de 6.76 toneladas por hectárea ( $\text{tha}^{-1}$ ), pero el mismo se vio afectado en algunas localidades por la distribución de la lluvia y el tipo de suelo.

La interacción genotipo-ambiente (IGA) merece gran importancia en la evaluación de híbridos desarrollados para diferentes circunstancias de producción. Es por ello por lo que Gordón & Deras (2017) integraron los conceptos de adaptabilidad y estabilidad para definir el comportamiento de genotipos evaluados a través de ambientes contrastantes.

Gordón et al. (2006) mencionan que la IGA ocurre cuando los genotipos responden de manera diferente a las variantes del ambiente. Zobel & Gauch (1997) explican que “si no hubiera interacción, en una sola variedad de maíz

(*Zea mays* L.) o cualquier otro cultivo se podría alcanzar aquella que rendiría más en todo el mundo; además, el ensayo de cultivos se podría realizar en una sola ubicación y proporcionar resultados universales”.

### **1.3. Justificación**

En Panamá, el maíz se siembra en latitudes que oscilan desde los 55° Norte a los 40° Sur y del nivel del mar hasta 1,800 metros (m) de altitud, siendo esta una planta muy versátil en diferentes zonas de nuestro país. Es por ello por lo que surge la necesidad de conocer el comportamiento de distintos materiales que se desarrollen bajo diversas condiciones.

Estudios realizados por Gordón et al. (2017) señalan que la identificación y selección de genotipos que se adapten a las distintas condiciones ambientales, así como determinar híbridos con alto rendimiento y buena estabilidad agronómica, es el objetivo de la mayoría de los programas de mejoramiento genético.

Espinosa et al. (2008) y Arellano et al. (2011) mencionan que el aumento en el rendimiento depende en un 60% del potencial genético del híbrido y en un 40% de las prácticas de manejo del cultivo.

La evaluación de genotipos a través de distintos ambientes es una de las prácticas más usuales para la recomendación de nuevos materiales a los productores de una región específica. Este proceso abarca el estudio de distintos híbridos, en el cual, se incorporan nuevos materiales y se eliminan aquellos con mal desempeño. A pesar de que se han liberado, previamente, algunos híbridos de maíz adaptados a las zonas bajas e intermedias del litoral

pacífico panameño, es imprescindible continuar desarrollando y evaluando genotipos superiores (Gordón et al., 2024).

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar el rendimiento y otras características agronómicas para determinar la adaptabilidad de híbridos comerciales de maíz de grano blanco, PCCMCA, en Panamá, 2024.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar la respuesta de diferentes híbridos a las variaciones climáticas y edáficas en distintas regiones de Panamá.
- Investigar cómo la interacción entre los genotipos de los híbridos y las condiciones ambientales específicas de Panamá afecta el rendimiento y las características agronómicas.
- Identificar híbridos superiores con buena estabilidad en rendimiento y adaptabilidad específica en los ambientes evaluados.

#### **1.5. Hipótesis**

##### **1.5.1. Hipótesis 1**

Ho: Los híbridos presentan los mismos rendimientos en ambas localidades.

Ha: Los híbridos no presentan los mismos rendimientos en ambas localidades.

### **1.5.2. Hipótesis 2**

Ho: El comportamiento de los híbridos es igual en la segunda localidad.

Ha: El comportamiento de los híbridos es distinto que en la segunda localidad.

## **1.6. Alcances y limitaciones**

### **1.6.1. Alcances del trabajo**

El propósito de esta investigación es analizar en detalle el rendimiento y las características agronómicas de distintos híbridos bajo diversas condiciones ambientales en la región de Azuero. La intención es proporcionar información útil a los agricultores que les permita identificar los híbridos más adecuados para incrementar la productividad agrícola en Panamá. Asimismo, se busca fomentar la adopción de prácticas de manejo sostenible y promover un uso más eficiente de recursos como el agua y los nutrientes, sin perder de vista la importancia de mantener la rentabilidad.

### **1.6.2. Limitaciones del trabajo**

Como limitación de este estudio, se busca seleccionar híbridos que presenten una mejor adaptación a las condiciones específicas de una zona. No obstante, la variabilidad e imprevisibilidad del clima entre diferentes años puede influir en los resultados y en la capacidad de adaptación de los híbridos.

Además, factores como el tipo de suelo, la presencia de plagas y enfermedades también pueden restringir la posibilidad de aplicar estos resultados a otras regiones del país. A esto se suma que, con el tiempo, los híbridos pueden ver reducido su rendimiento óptimo debido a la presión constante de plagas y enfermedades, lo que hace imprescindible un monitoreo permanente y la investigación continua de nuevas variedades.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Programa de mejoramiento genético PCCMCA**

El Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA) tiene más de 50 años en la Región Mesoamericana (Gordón & Deras, 2019). Siendo este un pilar para la generación, validación y transferencia de tecnologías orientadas al incremento de la productividad y sostenibilidad del maíz en Centroamérica y el Caribe (Araya, 2024).

Uno de los principales aportes del PCCMCA ha sido la promoción de la investigación científica aplicada al mejoramiento genético del maíz, lo cual ha permitido el desarrollo y adaptación de híbridos y variedades mejoradas a condiciones agroclimáticas locales. Este impacto se sustenta en el objetivo institucional de fomentar investigaciones que incrementen la productividad agropecuaria, contribuyendo a la seguridad alimentaria regional (Araya, 2024).

Gordón & Deras (2019) mencionan que su aporte, a través de los años, ha sido significativo en los distintos países de la región. El ensayo uniforme de híbridos de grano blanco y amarillo es una actividad que se viene realizando por los Institutos Nacionales de Investigación Agrícolas (INIA's) desde hace más de 30 años.

Desde entonces estos ensayos se han venido sembrando en todos los países de la región de Mesoamérica (Gordón & Deras, 2017). Este es un proceso dinámico que permite evaluar el rendimiento de una serie de híbridos los cuales, generalmente, varían de un año a otro, en la que nuevos híbridos son

incluidos para su evaluación mientras otros son eliminados por su pobre comportamiento (Gordón & Deras, 2018). La experiencia acumulada ha permitido fortalecer las técnicas de campo para la realización de los experimentos, así como el análisis e interpretación de los resultados mediante el uso de metodologías apropiadas para lograr conclusiones acertadas (Córdova et al., 1994). Estos objetivos se logran a través de los distintos programas de mejoramiento genético, tanto de los institutos de investigación de cada país, así como de las empresas dedicadas al agronegocio, de venta de semillas y de Centros Internacionales de Investigación como el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (Gordón & Deras, 2021).

Por otro lado, el PCCMCA ha establecido un modelo de cooperación horizontal entre los países, fortaleciendo las capacidades institucionales mediante comités técnicos y rotación de sedes. Esta colaboración ha resultado clave para el intercambio de germoplasma, datos climáticos y metodologías de evaluación de impacto en maíz (Araya, 2024).

## **2.2. Cultivo de maíz**

La palabra Maíz es de origen indio caribeño, significa literalmente lo que sustenta la vida. El maíz, que es junto con el trigo y el arroz uno de los cereales más importantes del mundo, suministra elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales y es una materia prima básica de la industria de transformación, con la que se producen almidón, aceite, proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes alimenticios y, desde hace poco, combustible

(Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1993).

El cultivo de maíz es uno de los rubros más importantes, en la mayoría de los países del istmo Centroamericano, debido al alto consumo del grano de sus habitantes (Gordón & Deras, 2020).

La Contraloría General de la República (2021), evidencian una disminución exponencial de rendimiento (2.45 millones de quintales) al año 2019, lo cual está directamente relacionado al cambio climático que sufre el planeta. Evidencia de las consecuencias del bajo rendimiento, es la disminución de superficie sembrada (52.5 miles hectáreas) al año 2018, situación preocupante en el intento de alcanzar la seguridad y soberanía alimentaria. Tomando en consideración que el maíz es esencial a nivel mundial y en Panamá en gran parte de los productos industriales, pecuario, o de consumo fresco, por su gran versatilidad para obtención de subproductos en base a su aceite, carbohidratos y almidones. Esto coloca al maíz entre uno de los productos más importantes en la alimentación humana y animal (Wilcox & Rivera, 2024).

La evaluación de nuevos cultivares a través distintos ambientes en toda la región de Azuero data de muchos años. La producción de maíz en Panamá se destina en un alto porcentaje para la elaboración de raciones balanceadas que se utilizan, principalmente, para la alimentación de aves y cerdos (Gordón et al., 2017). Sin embargo, la dieta básica de la mayoría de los habitantes de los países centroamericanos se centra en el consumo del maíz blanco, mientras que el maíz amarillo es utilizado como alimento energético para animales, con

excepción de Panamá, cuyos habitantes consumen el maíz de grano de amarillo de diversas maneras. La producción nacional no alcanza a cubrir la demanda total, por lo que se requiere la importación de grandes cantidades de este grano (Gordón & Deras, 2021). Por ello, lograr aumentar la productividad de rendimiento del cultivo es imperante ante la creciente necesidad de alimentos, por lo cual, la constante evaluación de cultivares es importante como estrategia para aumentar los rendimientos del cultivo en grano (Wilcox & Rivera, 2024).

Uno de los principales objetivos de los técnicos dedicados a la generación de tecnologías para mejorar la productividad de este cultivo, es la identificación y selección de híbridos que se adapten a las distintas condiciones ambientales, con alto rendimiento y buena estabilidad agronómica (Gordón & Deras, 2021).

### **2.3. Clima**

En los últimos 20 años, el clima del país se ha caracterizado por ser desfavorable a la mayoría de las actividades agropecuarias (Gordón, 2021). En las regiones tropicales como Panamá, en años diferentes, las mismas localidades presentan condiciones climatológicas distintas, especialmente, en cuanto a la disponibilidad de humedad en el suelo, producto de la precipitación pluvial (Gordón & Camargo, 2021).

Bajo ese contexto, la identificación de prácticas agronómicas de manejo con alta capacidad de adaptación y resiliencia a la variabilidad climática se convierte en una prioridad inmediata. En Panamá, todos los sistemas de producción de grano se caracterizan por sus bajos rendimientos, lo que se refleja en la media nacional. Esto, entre otras causas, se debe a diversos factores

bióticos (insectos) y abióticos (precipitación pluvial errática, altas temperaturas) (Gordón, 2014). En esta materia es obligatorio evaluar los efectos de genotipo, ambiente y la interacción genotipo ambiente que involucra conceptos como estabilidad y adaptabilidad (Gordón & Camargo, 2021).

#### **2.4. Relación G x A, Adaptabilidad y Estabilidad**

El estudio de la interacción Genotipo-Ambiente (GxA) corresponde a una fase final en el proceso de mejoramiento, en la que los fitomejoradores analizan la adaptabilidad y el desempeño de los cultivares en distintas regiones y condiciones ambientales, lo cual facilita su incorporación y avance en el mejoramiento genético del genotipo cultivado (Márquez et al., 2020).

Por lo tanto, para la determinación de la IGA, los genotipos deben ser evaluados en diferentes localidades, años e incluso épocas (Wissar, 1994). El término “localidad” indica variación espacial, mientras que ambiente es un término general que incluye todas las condiciones bajo las cuales crecen las plantas, y puede englobar lugares, años, prácticas de manejo o una combinación de estos factores. Comúnmente, cada lugar/año es considerado un ambiente separado. La IGA hace ver la importancia del efecto ambiental en la adaptación y el comportamiento varietal. Su estudio ayuda a incrementar la eficiencia de la mejora. Es importante que los ensayos cubran un rango representativo de condiciones ambientales (variación espacial y temporal) para determinar las respuestas genotípicas (González, 2001).

En los programas de mejoramiento genético, la evaluación de la interacción de los genotipos con los ambientes (GxE) es fundamental, ya que, en

el caso de esta interacción, el mejor genotipo en un ambiente determinado puede no ser el mejor en otro. Esto afecta la rentabilidad de la selección y dificulta la recomendación de cultivares con amplia adaptabilidad y estabilidad (Oliveira et al., 2017).

Para evaluar el comportamiento agronómico de los cultivares generados es necesario medir la estabilidad relativa de los genotipos sometidos a la totalidad de ambientes predominantes en una región potencial de adaptación. Además, se deben integrar los conceptos de estabilidad y adaptabilidad. Estos dos términos son de gran importancia cuando se aborda este tema. En primer lugar, la estabilidad se define como el comportamiento uniforme y predecible a través del tiempo (semestres o años) o prácticas agronómicas de un determinado genotipo en una determinada localidad (Vallejo & Estrada, 2002).

Eberhart & Russell (1966) mencionan que la adaptabilidad de los genotipos es importante porque permite conocer la respuesta a los diferentes ambientes definidos por el clima, el suelo y el manejo agronómico. La adaptabilidad se refiere a la capacidad de los genotipos de aprovechar, ventajosamente, los estímulos del ambiente, en cuanto que la estabilidad se refiere a la capacidad de los genotipos de mostrar un comportamiento, altamente, previsible en función del estímulo ambiental (Gordón et al., 2006).

Márquez (1991) definen a una variedad estable como una variedad con capacidad de amortiguamiento o flexibilidad para cambiar en actitud, que, para el caso de variedades agrícolas, significa ajustar su rendimiento a las condiciones ambientales, es decir, variedades capaces de ajustar sus procesos vitales para

mantener la productividad (Gordón et al., 2006). En estas condiciones una población genéticamente heterogénea será adaptable a diferentes ambientes al estar sujeta a diferentes presiones de selección, manifestando su adaptación específica a un ambiente de acuerdo con la presión de selección de éste. Este objetivo se logra aumentando el número de sitios de evaluación, evaluando diferentes épocas y años, de tal forma que se expongan los materiales genéticos a las condiciones ambientales prevalecientes en las zonas de producción (Gordón & Camargo, 2021).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Área de estudio

El estudio se realizó en dos localidades de la provincia de Los Santos (Tabla 1), en los distritos de Los Santos y Pocrí en la finca experimental del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), ubicada en el corregimiento de El Ejido y en la finca de un productor de la región, ubicada en Río Pocrí (Figura 1).

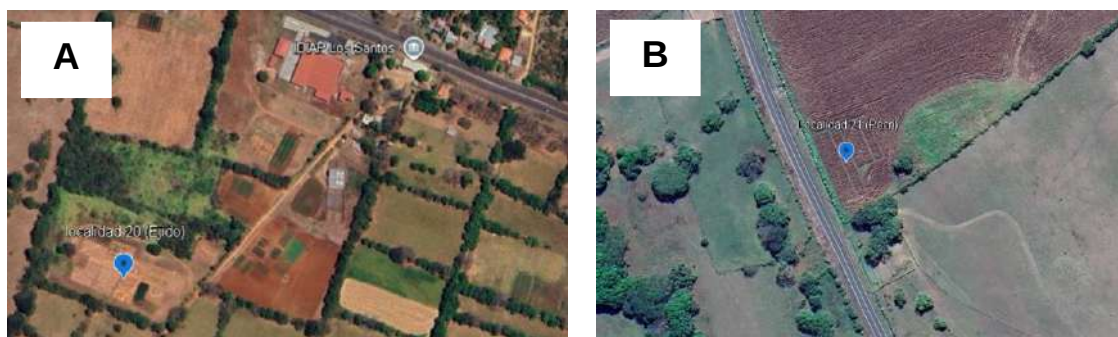
**Tabla 1.**

*Cuadro con la ubicación, coordenadas y fechas de siembra de los ensayos*

| Localidad | Provincia  | Distrito   | Latitud   | Longitud   | Fecha de siembra |
|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------------|
| El Ejido  | Los Santos | Los Santos | 7°54'34"N | 80°22'15"W | 26-ago           |
| Río Pocrí | Los Santos | Pocrí      | 7°40'08"N | 80°08'32"W | 16-sep           |

**Figura 1.**

*Ubicación de los ensayos en las dos localidades*



**Nota.** (A) Localidad del Ejido, (B) Localidad Río Pocrí de Pocrí.

Según la clasificación de climas de Köppen, el clima predominante, en ambas localidades, corresponde al tipo tropical de sabana (Aw) (Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá [IMHPA], 2021).

En cuanto a altitud, Pocrí se encuentra a 70 metros sobre el nivel del mar (msnm), mientras que, El Ejido se encuentra a 30 msnm. Las lluvias en Pocrí se encuentran en 1599 milímetros (mm) anualmente (Gordón, 2020). En cambio, en El Ejido, anualmente, se encuentran en 951,5 mm (IMHPA, 2024).

### 3.2. Descripción de los tratamientos

Los tratamientos evaluados consistieron en híbridos simples y triples de grano blanco con endospermos dentados, cristalinos y normales (Tabla 2).

**Tabla 2.**

*Híbridos blancos evaluados en el ensayo, PCCMCA, 2024*

| ENTRADA | HIBRIDO      | EMPRESA               |
|---------|--------------|-----------------------|
| 1       | LS04         | LA SUREÑA             |
| 2       | JC-341       | VALLE VERDE           |
| 3       | EM-4121      | PRODEINSA             |
| 4       | EM-582       | PRODEINSA             |
| 5       | F5           | SEMILLA NUEVA         |
| 6       | F5B          | SEMILLA NUEVA         |
| 7       | HG-24        | SEMILLAS DEL VALLE    |
| 8       | HG-3-90 MAX  | PREMIUN SEEDS COMPANY |
| 9       | MY9012       | BAYER                 |
| 10      | MY9005       | BAYER                 |
| 11      | MY9009       | BAYER                 |
| 12      | HE-160       | CIDS                  |
| 13      | HD-40W       | CIDS                  |
| 14      | CHLT22W015   | CIMMYT                |
| 15      | CLTHW21532   | CIMMYT                |
| 16      | CLTHW21551   | CIMMYT                |
| 17      | DK-390 (T.R) | DEKALB                |
| 18      | P4028W (T.N) | CORTEVA               |

### 3.3. Unidad experimental y manejo agronómico

La unidad experimental estuvo conformada por dos surcos de cinco metros (m) de longitud (Figura 2). Se estableció una densidad inicial de siembra

de 6.65 plantas por metro cuadrado (plantas/m<sup>2</sup>) y se utilizó un arreglo de 0,75 m entre hileras y 0,20 m entre plantas. Posteriormente, después de germinado el ensayo, se efectuó el raleo, dejando una sola planta por sitio, con el fin de mantener la densidad establecida en el diseño experimental.

**Figura 2.**

*Medición de longitud del surco en parcela experimental de El Ejido*



El manejo agronómico de las parcelas se realizó conforme a las recomendaciones técnicas establecidas por el Proyecto de Maíz, según lo señalado por Gordón (2021) (Figura 3). Estas recomendaciones incluyeron prácticas fundamentales como el uso de fertilización básica (fósforo, potasio y micronutrientes) y fertilización nitrogenada aplicada en las etapas clave del desarrollo del cultivo. Asimismo, se implementaron medidas para el control eficiente de malezas mediante el uso de herbicidas con el fin de asegurar un desarrollo saludable del cultivo.

### Figura 3.

#### *Establecimiento de ensayos*



**Nota.** (A) Apertura de hoyos en los surcos marcados, (B) Siembra en parcela experimental de El Ejido.

### 3.4. Toma de datos en campo

**Descripción de la toma de datos:** Los datos que fueron tomados incluyen caracteres cuantitativos, que son altamente influenciados por el ambiente como: días a floración femenina, número de plantas cosechadas, acame de tallo y raíz, número de mazorcas cosechadas y podridas, humedad del grano, altura de planta, altura de mazorca y rendimiento de grano. Adicionalmente, caracteres cualitativos, que son pocos influenciados por el ambiente, como: aspecto de planta y mazorca, evaluación de las principales enfermedades, cobertura de mazorca. (Gordon et al., 2018).

La recolección y toma de datos se llevó a cabo siguiendo la metodología propuesta 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 cm de largo.

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

**Altura de mazorca (ALMZ):** Es la distancia en centímetros 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 3 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 (ACR)** Número de plantas con tallos rotos debajo de las mazorcas, se evaluó al final del ciclo.

**Número de mazorcas cosechadas (TOTPT):** Número total de mazorcas cosechadas.

**Número de mazorcas podridas (POD):** Califica la incidencia de pudrición de mazorcas y granos causada por *Diplodia spp*, *Fusarium spp*, Para ello se contaron las mazorcas con pudrición y se dividió entre el total de las mazorcas cosechadas. Esto para calcular el porcentaje de incidencia.

**Aspecto de la planta (ASPt):** Para cada parcela se calificó de manera integral características tales como altura de la planta y la mazorca, uniformidad de las

plantas, daños de insectos, enfermedades y aspecto foliar sobre una escala de 1 a 9 donde 1 es excelente y 9 es deficiente. Se evaluó en las etapas finales antes que las hojas se tornaran color café, cuando las mazorcas estaban completamente desarrolladas.

**Aspecto de la mazorca (ASMz):** A la pila de mazorcas frente a cada parcela se 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 1a 9, donde 1 es óptimo y 9 es el más deficiente.

**Enfermedades (BMA):** La evaluación de los daños en cada parcela se concentró en las enfermedades importantes de la región reportadas en el manual escrito por Gordón, (2021). Se registró en una escala de uno a nueve (1 a 9), donde 1 indica ausencia de enfermedad y 9 infección muy severa. Se evaluó en las etapas finales antes que las hojas se tornaran de color café.

**Cobertura de mazorca (COB):** Número de mazorcas de cada parcela que antes de la cosecha tenía expuesta cualquier parte de la mazorca.

**Peso de campo (PDC):** Se anotó el peso de campo de las mazorcas con tusas en kilogramos.

**Porcentaje de humedad (HUM):** Mazorcas representativas de cada parcela fueron desgranadas para determinar el porcentaje de humedad del grano al momento de la cosecha.

### 3.5. Diseño Experimental

Se usaron los diseños de tratamiento en Alfa Látice, 6 x 3, con tres repeticiones (Vargas et al., 2013). De acuerdo con el siguiente el modelo matemático:

Ensayos individuales:  $Y_{ijk} = \mu + R_i + B_j(R_i) + G_k + E_{ijk}$

Ensayos combinados  $Y_{ijk} = \mu + L_i + R_j(L_i) + B_k(L_i R_j) + G_l + L_i \times G_k + E_{ijkl}$

En donde:

$Y_{ijk}$  = Valor del carácter estudiado

$\mu$  = Media general

$B_j(R_i)$  = Efecto de bloques dentro de repetición

$G_k$  = Efecto de Genotipo

$L_i$  = Efecto de ambiente

$R_i$  = Efecto de repetición

$R_j(L_i)$  = Efecto de la repetición dentro del ambiente

$B_k(L_i R_j)$  = Efecto del bloque dentro la interacción LR

$E_{ijkl}$  = Error Experimental

$L_i \times G_k$ , = Interacción Genotipo ambiente

### 3.6. Análisis Estadístico

Para la evaluación del rendimiento de los genotipos, se realizó un análisis de varianza mediante el procedimiento de Máxima Verosimilitud Restringida (REML), utilizando el procedimiento MIXED. Este análisis se llevó a cabo tanto de forma individual por localidad como en un análisis combinado entre localidades.

Se consideró un modelo mixto, en el cual el efecto del ambiente (localidades, repeticiones dentro de localidad, y su interacción con el error) se trató como aleatorio, mientras que los genotipos se consideraron como efecto fijo. Esta estructura del modelo permite una estimación más precisa de los

efectos genotípicos al controlar la variabilidad ambiental no controlada, lo cual es especialmente relevante en ensayos multi localidad.

Para la comparación de medias entre genotipos en cada localidad y en el análisis combinado, se aplicó la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) al nivel del 5% de probabilidad de error ( $p \leq 0.05$ ), con el fin de determinar diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

Como criterio adicional para garantizar la calidad del análisis combinado, se estimó la repetibilidad individual por ensayo ( $R^2$  o índice de confiabilidad del experimento), definida como la proporción de la varianza fenotípica explicada por la varianza genética. Aquellas localidades que presentaron valores de repetibilidad inferiores a 0.05 fueron excluidas del análisis combinado, por considerarse que no ofrecían una estimación confiable del comportamiento genotípico. Este umbral busca asegurar que los datos incluidos aporten información útil para la comparación entre genotipos, evitando sesgos por alta variabilidad experimental o problemas en la conducción del ensayo.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Análisis de varianzas**

#### **4.1.1. Análisis de varianza combinado**

El análisis de varianza realizado en dos localidades con 18 híbridos de maíz blanco mostró diferencias altamente significativas entre genotipos para la mayoría de las variables evaluadas, especialmente en rendimiento de grano (GY), altura de planta (ALPT), altura de mazorca (ALMZ), número de mazorcas por metro cuadrado (MZM<sup>2</sup>), mazorcas por planta (MZPT), peso de la mazorca (PMZ) y aspecto de planta y mazorca (ASPT y ASMZ). Esto indica la existencia de una amplia variabilidad genética entre los materiales estudiados, lo cual es importante porque permite identificar híbridos con mejor desempeño agronómico y productivo. En cambio, variables como floración femenina (FF), plantas por metro cuadrado (PTM<sup>2</sup>), porcentaje de mazorcas podridas (TPOD), acame (TACT), cobertura de mazorca (TCOB) y posición de mazorca (POMZ) no mostraron diferencias significativas entre genotipos (Tabla 3).

El efecto del ambiente también fue altamente significativo en variables como GY, ALMZ, PMZ, TPOD, ASMZ y POMZ, evidenciando que las localidades presentaron condiciones ambientales diferentes que influyeron en la expresión de estos caracteres. Esto sugiere que factores como clima, suelo o manejo agronómico tuvieron un papel importante en el comportamiento de los híbridos evaluados. Sin embargo, otras variables como FF, ALPT, PTM<sup>2</sup>, MZM<sup>2</sup>, MZPT, TACT, enfermedades (BMA) y ASPT no fueron afectadas significativamente por el ambiente. Por otra parte, Bolaños & Edmeades (1993), mencionan que la

disponibilidad de agua tiene un papel crítico en la producción de maíz en regiones tropicales, dado que la falta de agua durante la fase de crecimiento puede provocar marchitez en las plantas jóvenes, disminuir la densidad de población y reducir el número de mazorcas por planta. Sah et al. (2020), Andrade et al. (2002) y Vega et al. (2001), afirman que, durante la fase de floración del maíz, aproximadamente dos semanas antes y dos semanas después de la emisión de estigmas, el cultivo presenta una alta sensibilidad al estrés hídrico, de manera que la falta de agua en este período puede afectar de forma significativa el rendimiento de grano (Tabla 3)

La interacción genotipo  $\times$  ambiente resultó altamente significativa para variables clave como GY, FF, PTM<sup>2</sup>, MZM<sup>2</sup>, PMZ, TPOD y TACT, mientras que en otras variables presentaron menor significancia. Esto demuestra que los híbridos no respondieron de igual manera en ambas localidades, lo que indica que algunos materiales presentan adaptación específica a determinados ambientes y otros podrían ser más estables. Por ello, en la selección de híbridos es necesario considerar tanto el rendimiento promedio como su comportamiento en diferentes condiciones ambientales. Según Cruz et al. (2012) este tipo de interacción es común en ensayos multi localidad y resalta la importancia de evaluar materiales en diferentes ambientes para identificar genotipos estables y adaptables (Tabla 3).

En cuanto a los parámetros genéticos, se observaron valores de heredabilidad (H) moderados a altos en variables como GY (0.88), FF (0.54), ALPT (0.77) y ALMZ (0.87), MZM<sup>2</sup> (0.76), PMZ (0.81) ASPT (0.72) y ASMZ

(0.83), lo que indica un mayor aporte genético y mejores posibilidades de selección en programas de mejoramiento. Por otro lado, variables como PTM<sup>2</sup> (0.38), TPOD (0.29), TACT (0.39), TCOB (0.11) y POMZ (0.44) presentaron heredabilidad baja, reflejando mayor influencia ambiental. Yan y Holland (2010) señalan que un valor de  $H = 1$  indica que las variaciones observadas entre las medias genotípicas del ensayo se deben únicamente al efecto genético, mientras que un  $H = 0$  refleja que dichas diferencias se originan por el error aleatorio o experimental. Por su parte, Gordón & Camargo (2015) y Camargo et al. (2017) sostienen que la repetitividad puede considerarse un estadístico sólido para evaluar la precisión de los experimentos, ya que presenta un menor sesgo en comparación con el coeficiente de variación (Tabla 3).

El coeficiente de variación fue bajo a moderado en la mayoría de las variables, indicando buena precisión experimental, aunque algunas variables mostraron mayor variabilidad debido a posibles factores no controlados. De acuerdo con Pimentel (1985), en los ensayos agrícolas de campo los CV se clasifican como bajos cuando son menores al 10%, moderados entre 10 y 20%, altos entre 20 y 30%, y muy altos cuando superan el 30%. Diversos autores (Gómez & Gómez, 1984; Martínez, 1988; Patel et al., 2001) coinciden en que, si el CV excede el 30%, los datos deben descartarse debido a la baja precisión experimental obtenida (Tabla 3).

**Tabla 3.**

*Análisis de varianza combinado para rendimiento y otras características agronómicas en dos localidades en la provincia de Los Santos, Panamá, 2024*

| F. de V.  | GY         | FF         | ALPT         | ALMZ         | PTM2       | MZM2       | MZPT       | PMZ           | TPOD       | TACT       | BMA        | ASPT       | ASMZ       | TCOB       | POMZ       | HUM        |
|-----------|------------|------------|--------------|--------------|------------|------------|------------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Genotipo  | 4.79<br>** | 0.73<br>ns | 154.57<br>** | 77.63<br>**  | 0.26<br>ns | 1.00<br>** | 0.00<br>** | 391.65<br>**  | 0.00<br>Ns | 0.00<br>ns | 0.14<br>*  | 0.25<br>** | 0.62<br>** | 0.00<br>ns | 0.00<br>ns | 0.02<br>ns |
| Ambiente  | 3.85<br>** | 0.75<br>ns | 64.26<br>ns  | 205.71<br>** | 0.14<br>ns | 0.00<br>Ns | 0.00<br>ns | 1519.45<br>** | 0.00<br>** | 0.00<br>ns | 0.03<br>ns | 0.04<br>ns | 0.40<br>** | 0.00<br>*  | 0.00<br>** | 0.00<br>ns |
| Gen x Amb | 0.91<br>** | 0.97<br>** | 54.60<br>*   | 5.86<br>Ns   | 0.80<br>** | 0.47<br>** | 0.00<br>ns | 108.89<br>**  | 0.00<br>** | 0.00<br>** | 0.02<br>ns | 0.11<br>*  | 0.15<br>*  | 0.00<br>*  | 0.00<br>ns | 0.58<br>** |
| Residuo   | 1.12       | 0.80       | 110.84       | 53.30        | 0.18       | 0.46       | 0.01       | 216.74        | 0.00       | 0.00       | 0.36       | 0.27       | 0.33       | 0.00       | 0.00       | 0.83       |
| H         | 0.88       | 0.54       | 0.77         | 0.87         | 0.38       | 0.76       | 0.57       | 0.81          | 0.29       | 0.39       | 0.66       | 0.72       | 0.83       | 0.11       | 0.44       | 0.04       |
| DMS/R     | 0.40       | 0.60       | 0.45         | 0.37         | 1.28       | 0.46       | 0.54       | 0.46          | 1.41       | 1.06       | 0.67       | 0.50       | 0.44       | 1.60       | 0.92       | 3.80       |
| CV        | 15.90      | 1.63       | 4.72         | 7.30         | 7.24       | 12.21      | 11.00      | 12.54         | 2.92       | 5.91       | 17.28      | 8.96       | 9.10       | 4.16       | 6.43       | 5.69       |

**Nota.** GY= Rendimiento de grano, FF= Floración femenina, ALPT= Altura de planta, ALMZ= Altura de mazorcas, PTM2= Plantas/m<sup>2</sup>, MZM2= Mazorcas/m<sup>2</sup>, MZPT= Mazorcas por planta, PMZ= Peso de mazorcas, TPOD= % de mazorcas podridas transformada, TACT= % plantas acamadas de tallo transformada, BMA= Enfermedades, ASPT= Aspecto de planta, ASMZ= Aspecto de mazorca, TCOB= % Mazorcas con mala cobertura transformada, POMZ= Posición de la mazorca, HUM= Humedad del grano, \* =Diferencia significativa (0.05), \*\*=Diferencia altamente significativa (0.01), ns=No hay diferencia.

#### 4.1.2. Efecto de los genotipos

El análisis de medias de los 18 híbridos de maíz blanco evaluados en dos localidades mostró una amplia variabilidad en el rendimiento de grano y en las características agronómicas evaluadas. El rendimiento promedio general fue de 6.65 t

ha<sup>-1</sup>, con valores que oscilaron entre 2.37 (HG-3-90 MAX) y 8.95 (HD-40W) t ha<sup>-1</sup>, evidenciando diferencias importantes en el potencial productivo de los materiales. Los híbridos HD-40W, CLTW21532, MY9005, CLTW21551 y P4028 (Testigo Nacional) destacaron por presentar los mayores rendimientos, superando las 8.5 t ha<sup>-1</sup> y ubicándose por encima del promedio general, mientras que materiales como HG-3-90 MAX, EM-582, HG-24 y EM-4121 registraron los menores rendimientos, lo que refleja menor adaptación o eficiencia productiva bajo las condiciones evaluadas (Tabla 4).

Con respecto a floración femenina, mostró poca variación entre híbridos, con un promedio de 55 días, lo que indica ciclos fenológicos similares entre los materiales evaluados. Esta uniformidad es favorable agronómicamente porque permite una adecuada sincronización en la polinización. En cuanto a las características morfológicas, la altura promedio de planta fue de 223 cm y la altura de mazorca de 100 cm, observándose diferencias entre híbridos, donde algunos materiales presentaron mayor altura, mientras otros mostraron arquitectura más compacta, lo cual influye en la estabilidad y comportamiento productivo de las plantas (Tabla 4).

Los componentes del rendimiento también mostraron diferencias importantes entre híbridos. Las variables plantas por metro cuadrado y mazorcas por metro cuadrado presentaron promedios de 5.78 y 5.56, respectivamente, destacándose híbridos como MY9005, CLTW21532 y CHLT22W015 por su mayor densidad y producción de mazorcas. Además, se observó que los híbridos de mayor rendimiento tendieron a presentar mejor equilibrio en estos

componentes, lo que confirma su relación directa con la productividad final del cultivo.

En las variables fitosanitarias y de calidad agronómica también se registró variabilidad entre materiales. Algunos híbridos presentaron mayor susceptibilidad a enfermedades, mazorcas podridas, acame y cobertura de la mazorca, factores que afectaron negativamente su rendimiento, mientras que los híbridos más productivos mostraron menor incidencia de estos problemas y mejores características de plantas y mazorca. Nsibo et al. (2024) afirma que las enfermedades han sido identificadas como una limitante en la productividad del maíz, al afectar la sanidad foliar y reducir el rendimiento de los cultivos. En general, los resultados permiten identificar materiales con alto potencial productivo, buena estabilidad agronómica y mejor comportamiento sanitario, lo que es fundamental para la selección de híbridos superiores en programas de mejoramiento (Tabla 4).

**Tabla 4.**

*Medias ajustadas para caracteres agronómicos de 18 híbridos de maíz blanco en dos localidades de la provincia de Los Santos*

| HÍBRIDOS        | GY<br>(tha-1) | FF<br>(días) | ALPT<br>(cm) | ALMZ<br>(cm) | PTM2        | MZM2        | MZPT       | PMZ<br>(g)    | TPOD<br>(%) | TACT<br>(%) | BMA<br>(1-9) | ASPT<br>(1-9) | ASMZ<br>(1-9) | TCOB<br>(%) | POMZ        | HUM<br>(%)  |
|-----------------|---------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|------------|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| HD-40W          | 8.95          | 54           | 217          | 94           | 5.93        | 6.54        | 1.1        | 134.3         | 0.74        | 0.74        | 3.2          | 5.2           | 5.4           | 0.73        | 0.44        | 16.0        |
| CLTHW21532      | 8.92          | 54           | 236          | 109          | 6.02        | 6.26        | 1.0        | 137.2         | 0.74        | 0.73        | 3.4          | 5.8           | 5.7           | 0.74        | 0.45        | 16.0        |
| MY9005          | 8.80          | 55           | 231          | 105          | 6.04        | 6.22        | 1.0        | 136.4         | 0.74        | 0.73        | 3.3          | 5.7           | 5.5           | 0.74        | 0.45        | 16.0        |
| CLTHW21551      | 8.70          | 55           | 239          | 111          | 5.99        | 6.31        | 1.0        | 132.7         | 0.74        | 0.73        | 3.3          | 5.7           | 5.2           | 0.73        | 0.45        | 16.0        |
| P4028W (T.N)    | 8.54          | 55           | 231          | 104          | 5.85        | 5.68        | 1.0        | 145.6         | 0.75        | 0.74        | 3.2          | 5.7           | 5.9           | 0.73        | 0.45        | 16.1        |
| MY9012          | 8.25          | 53           | 229          | 102          | 6.02        | 6.14        | 1.0        | 129.2         | 0.75        | 0.73        | 3.1          | 5.6           | 6.8           | 0.73        | 0.45        | 16.0        |
| CHLT22W015      | 8.17          | 55           | 242          | 115          | 6.03        | 6.16        | 1.0        | 129.9         | 0.74        | 0.74        | 3.3          | 6.3           | 6.2           | 0.73        | 0.46        | 16.1        |
| MY9009          | 7.76          | 55           | 227          | 102          | 6.01        | 6.15        | 1.0        | 124.4         | 0.74        | 0.73        | 3.5          | 5.4           | 5.9           | 0.73        | 0.45        | 16.0        |
| F5B             | 6.89          | 56           | 218          | 95           | 5.87        | 6.00        | 1.0        | 115.2         | 0.75        | 0.73        | 3.4          | 5.4           | 5.8           | 0.74        | 0.44        | 16.1        |
| DK-390 (T.R)    | 6.51          | 54           | 227          | 105          | 5.82        | 5.60        | 1.0        | 115.2         | 0.75        | 0.74        | 3.1          | 5.8           | 6.2           | 0.74        | 0.46        | 16.0        |
| F5              | 6.23          | 55           | 224          | 101          | 5.87        | 5.63        | 1.0        | 111.8         | 0.75        | 0.73        | 3.7          | 5.4           | 6.3           | 0.73        | 0.45        | 16.0        |
| JC-341          | 6.20          | 55           | 218          | 102          | 6.00        | 5.83        | 0.9        | 102.7         | 0.75        | 0.75        | 3.7          | 6.0           | 6.5           | 0.73        | 0.46        | 16.0        |
| HE-160          | 6.08          | 55           | 218          | 102          | 5.87        | 5.60        | 0.9        | 109.4         | 0.75        | 0.75        | 3.3          | 5.5           | 6.6           | 0.73        | 0.46        | 16.0        |
| LS04            | 5.28          | 55           | 213          | 94           | 5.36        | 4.76        | 1.0        | 113.8         | 0.75        | 0.74        | 3.7          | 6.0           | 6.9           | 0.74        | 0.45        | 16.0        |
| EM-4121         | 4.54          | 55           | 216          | 88           | 5.84        | 5.43        | 0.9        | 85.73         | 0.76        | 0.78        | 4.1          | 6.4           | 7.2           | 0.73        | 0.43        | 16.0        |
| HG-24           | 4.11          | 55           | 218          | 98           | 5.37        | 4.47        | 0.9        | 110.1         | 0.76        | 0.76        | 3.7          | 6.1           | 7.2           | 0.74        | 0.45        | 16.0        |
| EM-582          | 3.32          | 55           | 209          | 89           | 5.09        | 4.03        | 0.9        | 97.38         | 0.76        | 0.74        | 3.6          | 6.0           | 7.3           | 0.74        | 0.44        | 16.0        |
| HG-3-90 MAX     | 2.37          | 56           | 200          | 84           | 5.15        | 3.33        | 0.8        | 82.95         | 0.75        | 0.79        | 4.0          | 6.9           | 7.7           | 0.73        | 0.44        | 16.0        |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>6.65</b>   | <b>55</b>    | <b>223</b>   | <b>100</b>   | <b>5.78</b> | <b>5.56</b> | <b>1.0</b> | <b>117.44</b> | <b>0.75</b> | <b>0.74</b> | <b>3.5</b>   | <b>5.8</b>    | <b>6.3</b>    | <b>0.73</b> | <b>0.45</b> | <b>16.0</b> |
| <b>DMS</b>      | <b>2.62</b>   | <b>2</b>     | <b>19</b>    | <b>11</b>    | <b>1.22</b> | <b>1.46</b> | <b>0.1</b> | <b>28.58</b>  | <b>0.03</b> | <b>0.06</b> | <b>0.7</b>   | <b>0.8</b>    | <b>1.1</b>    | <b>0.02</b> | <b>0.03</b> | <b>0.4</b>  |

**Nota.** T. R= Testigo Regional, T. N= Testigo Nacional.

### **4.1.3. Comportamiento de los híbridos en el ambiente de El Ejido**

El análisis de medias ajustadas mediante BLUP para el rendimiento de grano en la localidad de El Ejido evidenció diferencias estadísticamente significativas entre híbridos ( $DMS = 1.35 \text{ t ha}^{-1}$ ), lo que permitió su clasificación en grupos homogéneos. El grupo superior estuvo conformado por HD-40W, MY9005, MY9009, P4028W y CLTHW21532, los cuales presentaron los mayores rendimientos y no difirieron significativamente entre sí, indicando alto potencial productivo y buena adaptación a las condiciones ambientales de la localidad. Estudios previos señalan que los modelos mixtos basados en BLUP incrementan la eficiencia en la identificación de híbridos de alto rendimiento, especialmente cuando existen diferencias ambientales dentro del ensayo (Agyeman & Ewool, 2022) (Figura 4).

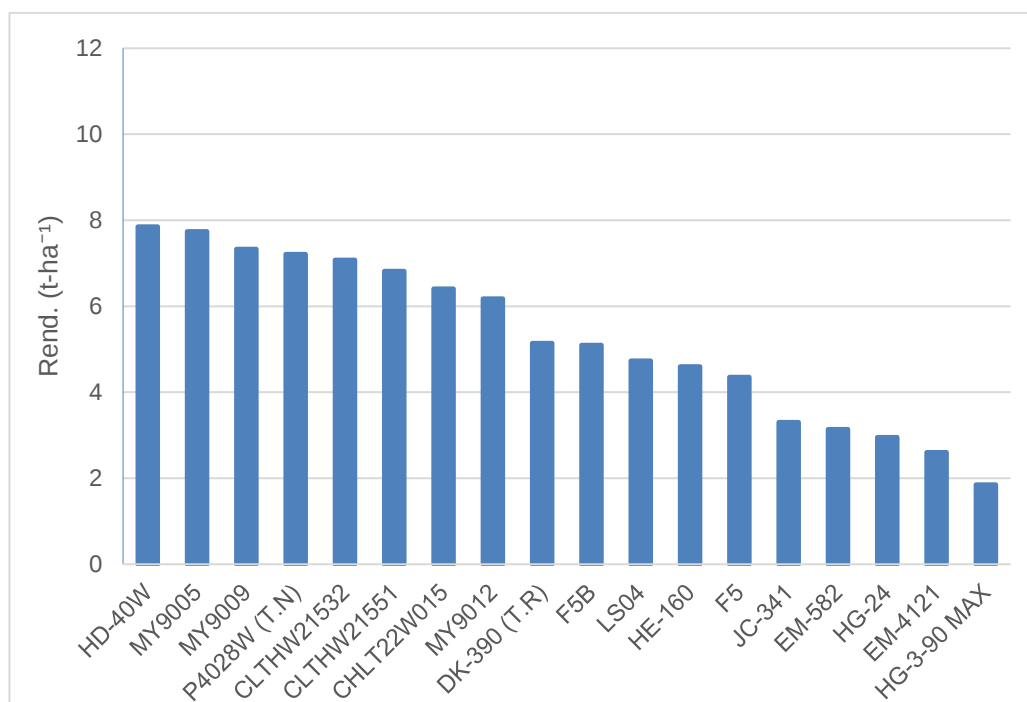
Un segundo grupo, integrado por CLTHW21551, CHLT22W015 y MY9012, mostró rendimientos ligeramente inferiores, pero sin diferencias estadísticas consistentes respecto al grupo superior, lo que sugiere potencial productivo competitivo y posible estabilidad intermedia. En contraste, otros híbridos presentaron rendimientos moderados, diferenciándose significativamente de los materiales superiores, lo que evidencia una menor eficiencia productiva en este ambiente (Figura 4).

Asimismo, se identificaron materiales con bajo rendimiento, mientras que los híbridos EM-4121 y HG-3-90 MAX registraron los valores más bajos, mostrando un desempeño significativamente inferior y limitada adaptación a las

condiciones de El Ejido. La diferencia superior a  $5 \text{ t ha}^{-1}$  entre los grupos extremos resalta la alta variabilidad en la respuesta productiva de los genotipos. La presencia de grupos intermedios y de bajo rendimiento confirma una amplia variabilidad genética entre genotipos, fenómeno esperado en evaluaciones de híbridos debido a diferencias en adaptación, interacción genotipo  $\times$  ambiente y expresión de caracteres agronómicos relacionados con rendimiento. Investigaciones en maíz indican que materiales con menor rendimiento pueden estar limitados por menor plasticidad productiva o menor capacidad de respuesta frente a condiciones ambientales específicas, mientras que los grupos intermedios pueden conservar valor dentro de programas de mejoramiento por presentar otras características agronómicas deseables (Figura 4) (Carvalho et al., 2017).

**Figura 4.**

*Rendimiento de 18 híbridos en la localidad de El Ejido*



#### **4.1.4. Comportamiento de los híbridos en el ambiente de Río**

##### **Pocrí**

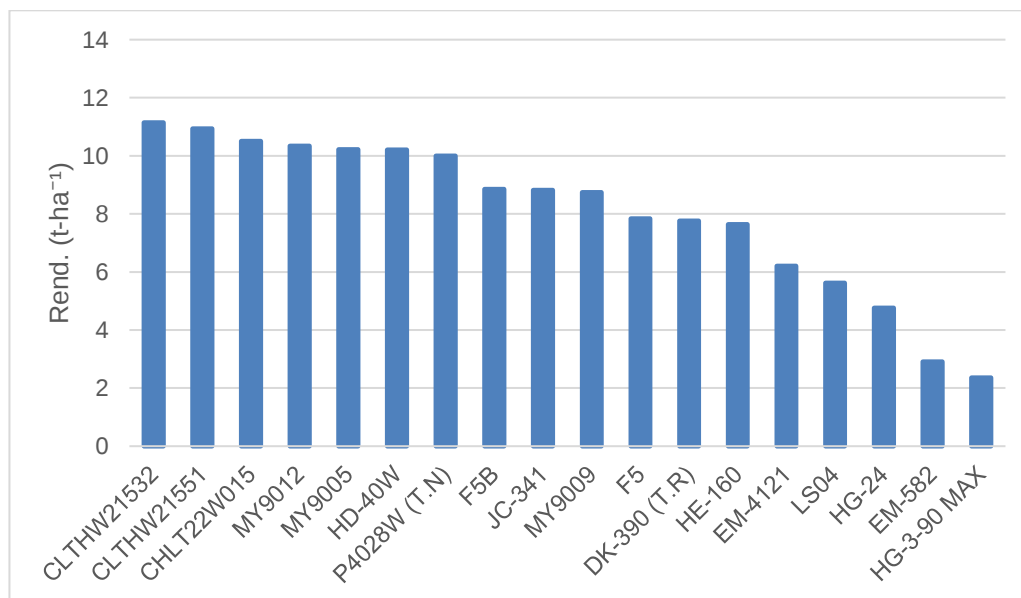
En la localidad de Río Pocrí, el rendimiento de grano de los genotipos evaluados mostró diferencias importantes, con valores que variaron entre 11.14 y 2.36 t ha<sup>-1</sup>. Los materiales con mejor comportamiento fueron CLTHW21532, CLTHW21551, CHLT22W015, MY9012, MY9005, HD-40W y P4028W (T.N.), cuyos rendimientos oscilaron entre 10.00 y 11.14 t ha<sup>-1</sup>. Estos genotipos no presentaron diferencias estadísticas significativas entre sí y constituyeron el grupo de mayor productividad en esta localidad. Este comportamiento sugiere una adecuada adaptación a las condiciones ambientales del área de estudio, en concordancia con reportes del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, donde se señala que los híbridos adaptados a las condiciones agroecológicas de Azuero pueden expresar altos niveles de rendimiento cuando poseen tolerancia al estrés ambiental y estabilidad genética (IDIAP, 2022) (Figura 5).

En un nivel intermedio se ubicaron los genotipos F5B, JC-341 y MY9009, con rendimientos entre 8.74 y 8.85 t ha<sup>-1</sup>, los cuales mostraron similitud estadística tanto con los materiales de mayor rendimiento como con otros de comportamiento intermedio. De igual forma, F5, DK-390 (T.R.) y HE-160 presentaron rendimientos entre 7.64 y 7.84 t ha<sup>-1</sup>, evidenciando un desempeño aceptable, aunque inferior al de los materiales más productivos. Esto indica que algunos genotipos mantienen un comportamiento estable, pero con menor potencial de rendimiento bajo las condiciones evaluadas (Figura 5).

Los rendimientos más bajos correspondieron a EM-4121 y LS04, con valores de 6.21 y 5.62 t ha<sup>-1</sup>, mientras que HG-24, EM-582 y HG-3-90 MAX registraron los menores valores, entre 4.76 y 2.36 t ha<sup>-1</sup>, mostrando un desempeño significativamente inferior. El valor de DMS = 2.00 indica que las diferencias entre genotipos son significativas cuando superan ese umbral, lo que confirma la existencia de variabilidad estadística real entre los materiales evaluados. En general, los resultados permiten identificar a los genotipos de mayor rendimiento como los más promisorios para futuras recomendaciones productivas (Figura 5).

**Figura 5.**

*Rendimiento de 18 híbridos de maíz blanco en la localidad de Río Pocrí, Pocrí*



#### 4.1.5. Análisis de la interacción genotipo-ambiente

El rendimiento de los híbridos evaluados mostró variaciones importantes entre las localidades de El Ejido y Río Pocrí (Tabla 5). En términos generales, los valores de rendimiento fueron superiores en Río Pocrí, con un promedio de 8.05 t ha<sup>-1</sup>, en comparación con El Ejido, donde el promedio fue de 5.24 t ha<sup>-1</sup>, evidenciando un efecto favorable del ambiente sobre la productividad de los materiales evaluados.

**Tabla 5.**

*Valores de rendimiento ajustado (BLUPS) de 18 híbridos de maíz blanco evaluados en dos localidades de la Provincia de Los Santos*

| Híbridos     | Rend.<br>Ejido<br>(t-ha <sup>-1</sup> ) | Rend. Río<br>Pocrí (t-ha <sup>-1</sup> ) | Dif. Rend.<br>(t-ha <sup>-1</sup> ) | Respuesta ambiental               |
|--------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| LS04         | 4.7                                     | 5.6                                      | 0.9                                 | Mayor Estabilidad                 |
| JC-341       | 3.3                                     | 8.8                                      | 5.5                                 | Adaptación a Río Pocrí            |
| EM-4121      | 2.6                                     | 6.2                                      | 3.6                                 | Adaptación a Río Pocrí            |
| EM-582       | 3.1                                     | 2.9                                      | -0.2                                | Mayor Estabilidad                 |
| F5           | 4.4                                     | 7.8                                      | 3.5                                 | Adaptación a Río Pocrí            |
| F5B          | 5.1                                     | 8.8                                      | 3.7                                 | Adaptación a Río Pocrí            |
| HG-24        | 2.9                                     | 4.8                                      | 1.8                                 | Estabilidad fenotípica intermedia |
| HG-3-90 MAX  | 1.8                                     | 2.4                                      | 0.5                                 | Mayor estabilidad                 |
| MY9012       | 6.2                                     | 10.3                                     | 4.2                                 | Adaptación a Río Pocrí            |
| MY9005       | 7.7                                     | 10.2                                     | 2.5                                 | Estabilidad fenotípica intermedia |
| MY9009       | 7.3                                     | 8.7                                      | 1.4                                 | Estabilidad fenotípica intermedia |
| HE-160       | 4.6                                     | 7.6                                      | 3.0                                 | Adaptación a Río Pocrí            |
| HD-40W       | 7.9                                     | 10.2                                     | 2.4                                 | Estabilidad fenotípica intermedia |
| CHLT22W015   | 6.4                                     | 10.5                                     | 4.1                                 | Adaptación a Río Pocrí            |
| CLTHW21532   | 7.1                                     | 11.1                                     | 4.1                                 | Adaptación a Río Pocrí            |
| CLTHW21551   | 6.8                                     | 10.9                                     | 4.1                                 | Adaptación a Río Pocrí            |
| DK-390 (T.R) | 5.1                                     | 7.8                                      | 2.6                                 | Estabilidad fenotípica intermedia |
| P4028W (T.N) | 7.2                                     | 10.0                                     | 2.8                                 | Estabilidad fenotípica intermedia |
| Promedio     | 5.24                                    | 8.05                                     |                                     |                                   |

La diferencia de rendimiento entre localidades permitió identificar distintos patrones de respuesta ambiental entre los híbridos. Algunos genotipos, como JC-341, MY9012, CHLT22W015, CLTHW21532 y CLTHW21551, mostraron incrementos marcados en su rendimiento en Río Pocrí, con diferencias superiores a  $4.0 \text{ t ha}^{-1}$ , lo que indica una alta respuesta a condiciones ambientales favorables (Tabla 5).

Por otro lado, genotipos como MY9005, MY9009, HD-40W, P4028W (T.N) y DK-390 (T.R) presentaron incrementos moderados en el rendimiento (entre  $1.0$  y  $3.0 \text{ t ha}^{-1}$ ), lo que sugiere una respuesta intermedia al ambiente (Tabla 5).

En contraste, algunos materiales como LS04, HG-3-90 MAX y EM-582 mostraron variaciones mínimas entre localidades, con diferencias inferiores a  $1.0 \text{ t ha}^{-1}$ , evidenciando una mayor estabilidad fenotípica, aunque con niveles de rendimiento relativamente bajos.

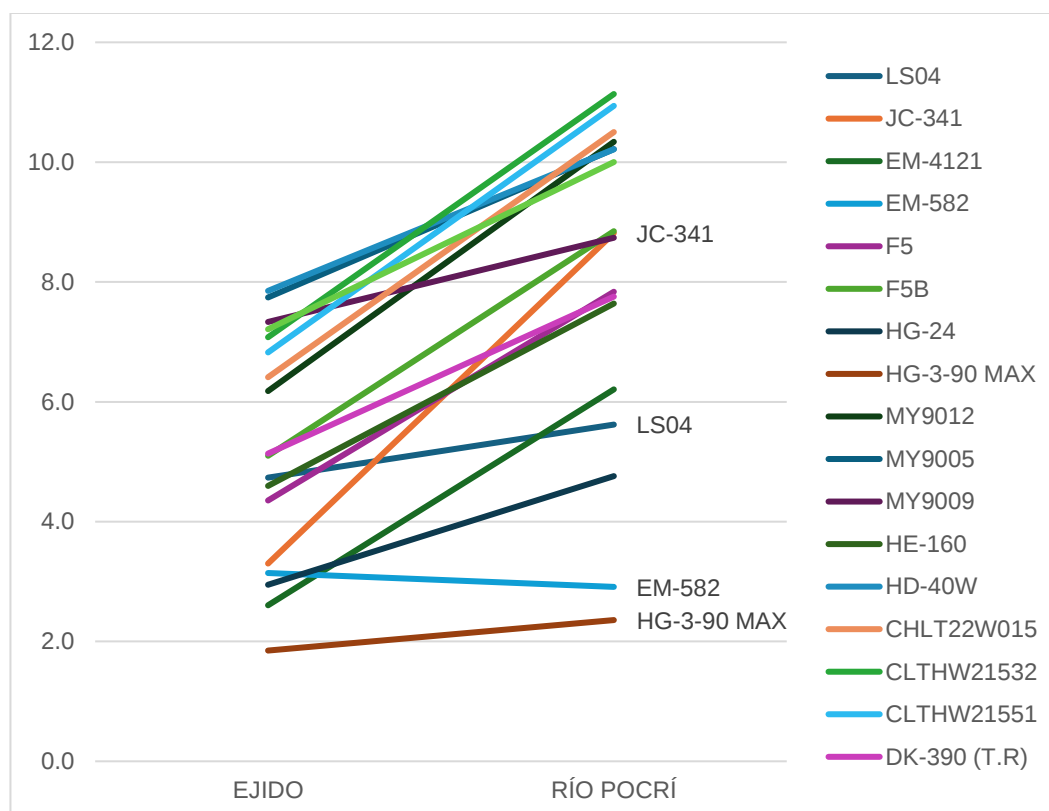
Estos resultados evidencian la presencia de interacción genotipo  $\times$  ambiente, ya que el comportamiento de los híbridos no fue consistente entre localidades. En particular, se observó que algunos genotipos con bajo rendimiento en El Ejido, como JC-341, presentaron un desempeño considerablemente superior en Río Pocrí, lo que resalta la importancia de evaluar los materiales en diferentes ambientes para una adecuada selección.

La comparación de los rendimientos entre localidades evidencia una clara interacción genotipo-ambiente (Figura 6), manifestada principalmente en cambios en el ordenamiento de los híbridos y en la magnitud de su respuesta productiva. En términos generales, los rendimientos oscilaron entre  $1.8$  y  $7.9 \text{ t}$

ha<sup>-1</sup> en El Ejido y entre 2.4 y 11.1 t ha<sup>-1</sup> en Río Pocrí, lo que refleja una mayor expresión productiva en este último ambiente.

### Figura 6.

*Interacción entre rendimiento estimado (BLUPS) de El Ejido vs el rendimiento estimado en Río Pocrí (eje x) de 18 híbridos de maíz blanco, provincia de Los Santos*



Al analizar casos específicos, el híbrido JC-341 presentó un incremento notable al pasar de 3.3 t ha<sup>-1</sup> en El Ejido a 8.8 t ha<sup>-1</sup> en Río Pocrí, evidenciando una alta respuesta a condiciones más favorables. De manera similar, F5B aumentó de 5.1 a 8.8 t ha<sup>-1</sup>, consolidándose entre los materiales de mejor desempeño en el ambiente de mayor potencial. En contraste, el híbrido EM-582 mostró una ligera disminución de rendimiento (3.1 a 2.9 t ha<sup>-1</sup>), lo que sugiere

una posible adaptación a condiciones más limitantes. Por su parte, MY9005 y HD-40W destacaron en ambos ambientes, manteniéndose entre los de mayor rendimiento, aunque con incrementos importantes en Río Pocrí.

El efecto ambiental se hace evidente en la tendencia general ascendente de la mayoría de los híbridos desde El Ejido hacia Río Pocrí, lo que confirma que este último presentó mejores condiciones para el desarrollo del cultivo. Bajo estas condiciones, genotipos como CLTHW21532 ( $11.1 \text{ t ha}^{-1}$ ), CLTHW21551 ( $10.9 \text{ t ha}^{-1}$ ) y CHLT22W015 ( $10.5 \text{ t ha}^{-1}$ ) alcanzaron los mayores rendimientos, posicionándose como los materiales más productivos en el ambiente de mayor potencial.

La interacción también se observa en los cambios de posición de los híbridos entre localidades. Por ejemplo, MY9009 tuvo un buen rendimiento en El Ejido ( $7.3 \text{ t ha}^{-1}$ ), pero fue superado por otros materiales en Río Pocrí, mientras que JC-341 pasó de un rendimiento bajo a ubicarse entre los más altos. Este comportamiento indica que algunos genotipos responden de manera diferente según el ambiente, cambiando su nivel de competitividad.

El comportamiento diferencial de los híbridos permite clasificarlos según su respuesta ambiental. Aquellos con mayor adaptación a ambientes favorables, como JC-341, EM-4121 y F5, mostraron incrementos pronunciados en su rendimiento en Río Pocrí. Por otro lado, materiales como EM-582 y HG-3-90 MAX evidenciaron una menor respuesta, sugiriendo una mayor tolerancia a condiciones restrictivas, aunque con menor potencial productivo. Asimismo, híbridos como MY9005, HD-40W y P4028W (T.N.) presentaron un desempeño

consistente y alto en ambos ambientes, lo que indica una buena estabilidad fenotípica combinada con alto rendimiento.

En conjunto, los resultados evidencian la importancia de considerar la interacción genotipo-ambiente en la selección de híbridos, ya que algunos materiales muestran adaptación específica a condiciones favorables, mientras que otros ofrecen mayor estabilidad ante variaciones ambientales. Esto resalta la necesidad de realizar recomendaciones diferenciadas por localidad, con el fin de maximizar el rendimiento y reducir el riesgo productivo en sistemas agrícolas con alta variabilidad ambiental.

## V. CONCLUSIONES

- El análisis de varianza evidenció diferencias significativas entre genotipos y efectos ambientales importantes, así como una interacción genotipo  $\times$  ambiente significativo, lo que confirma que el rendimiento y varios caracteres agronómicos dependen tanto del material genético como del ambiente de evaluación.
- Se observó una amplia variabilidad genética entre los híbridos evaluados en variables de rendimiento y características agronómicas, permitiendo identificar materiales con alto potencial productivo y mejores atributos agronómicos, así como materiales con bajo desempeño bajo las condiciones del estudio.
- En la localidad de Río Pocrí se obtuvieron los mayores rendimientos de grano, evidenciando que las condiciones ambientales permitieron una mayor expresión del potencial productivo de los híbridos y una mejor diferenciación entre materiales. A diferencia de la localidad de el Ejido, que se observó una menor expresión del rendimiento, destacándose algunos materiales con buen desempeño productivo y adaptación a condiciones más restrictivas para el cultivo. Esto demuestra la importancia de las condiciones agroecológicas en la expresión del rendimiento del cultivo de maíz.
- La interacción genotipo  $\times$  ambiente permitió identificar híbridos con diferente respuesta, destacando CLTHW21532, CLTHW21551, CHLT22W015 y MY9012 por su alta adaptación a ambientes

favorables (Río Pocrí), en particular, CLTHW21532 presentó el mayor rendimiento en condiciones favorables mientras que MY9005, HD-40W y P4028W mostraron buen rendimiento en ambas localidades, evidenciando mayor estabilidad fenotípica. Los híbridos EM-582 y HG-3-90 MAX presentaron estabilidad, pero con bajo rendimiento.

- Las variables relacionadas con los componentes del rendimiento, como mazorcas por metro cuadrado y peso de mazorca, junto con características agronómicas como altura de planta y de mazorca, presentaron valores de heredabilidad moderados a altos, lo que indica un importante control genético y sugiere que pueden ser utilizadas como criterios confiables en la selección de híbridos superiores en programas de mejoramiento de maíz.

## VI. RECOMENDACIONES

- Fortalecer los programas de mejoramiento genético mediante la selección basada en caracteres con heredabilidad alta como: rendimiento de grano, mazorcas por metro cuadrado, peso de mazorca y altura de planta.
- Promover la investigación mediante la evaluación de los híbridos en un mayor número de localidades, para validar su estabilidad, adaptación y productividad.
- Continuar la validación de híbridos con mayor rendimiento en parcelas demostrativas a nivel de productor, especialmente CLTHW21532, CLTHW21551, MY9005, HD-40W y P4028W, y comprobar su desempeño bajo condiciones reales de manejo y facilitar su adopción en los sistemas productivos de la región.
- Se recomienda dar seguimiento a los híbridos que presentaron rendimientos moderados y estabilidad fenotípica intermedia, mediante la evaluación en diferentes localidades, ya que pueden representar una alternativa valiosa en ambientes donde las condiciones son variables.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agyeman, A. & Ewool. M. (2022). Genotype by environment interaction analysis of grain yield and yield components in provitamin A maize. *Journal of Crop Improvement*, 36(1), 1–24. <https://doi.org/10.1080/15427528.2021.1895402>
- Andrade, F., Echarte, L. Rizzalli, R., Maggiora, A. & Casanovas, M. (2002). Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. *Crop Science*. 42: 1173-1179. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.1173>
- Araya, R. (2024). *Estatutos Sociedad del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA) 1992–2024*. Repositorio Kérwá. <https://hdl.handle.net/10669/92043>
- Arellano, L., Virgen, J., Rojas, I. & Ávila, A. (2011). H-70: híbrido de maíz de alto rendimiento para temporal y riego del Altiplano Central de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(4), 619-626. <https://n9.cl/3hhwgj>
- Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM). (2011). *Panamá, segunda comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático: 2ª ed.* (ANAM). <http://unfccc.int/resource/docs/natc/pannc2.pdf>
- Bolaños, J. & Edmeades, G. (1993). Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. I. Responses in grain yield,

biomass and radiation utilization. *Field Crops Research*, 31: 233-252. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(93\)90064-T](https://doi.org/10.1016/0378-4290(93)90064-T)

Camargo, I., Gordón, R. & Quirós, E. (2017). La repetitividad como estimador de la precisión experimental en el análisis de experimentos. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 159-169. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.24239>

Carvalho, I., Pelegri, A., Szareski, V., Ferrari, M., Rosa, T., Martins, T., Dos Santos, N., Nardino, M., Souza, V., Oliveira, A. & Maia, L. (2017). Diallel and prediction (REML/BLUP) for yield components in intervarietal maize hybrids. *Genetics and Molecular Research*, 16(3). <https://doi.org/10.4238/gmr16039734>

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. <https://n9.cl/us77o>

Contraloría General de la República de Panamá. (2021). Instituto Nacional de Estadística y Censo. *Cosecha de Maíz en la República: Años Agrícolas 2012-13 a 2018-19* [Archivo PDF]. <https://n9.cl/n2dm5>

Córdova, H. S., Barreto, H. J., & Crossa, J. (1994). Impacto del desarrollo de híbridos de maíz en Centro América. *Agronomía Mesoamericana*, 5(1), 78–87. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5536556>

- Cruz, C., Regazzi, A. & Carneiro, P. (2012). *Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético*. 4th Edition, Editora UFV, Viçosa, 514 p. <https://n9.cl/2zotl>
- Eberhart, S. & Russell, W. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1), 36-40. <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>
- Espinosa, C., Tadeo, R., Turrent, F., Gómez, M., Sierra, M., Palafox, C., Caballero, H., Valdivia, B. & Rodríguez, M. (2008). El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. *Ciencias*, 92(93), 118-125. <https://n9.cl/t1d3c>
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (FENALCE). (2013). *Índice cerealista 2012*. <https://fenalce.co/revista-el-cerealista/>
- Gómez, K. & Gómez, A. (1984). *Statistical procedures for agricultural research*. 2nd ed. John Wiley Inter Science, Hoboken, NJ, USA. <https://n9.cl/1nk66>
- González, M. (2001). *Interacción genotipo x ambiente en guisante proteaginoso (Pisum sativum L.)*. <https://acortar.link/8prNTf>
- Gordón, R., & Camargo, I. (2015). Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 26(1), 55:63. <https://n9.cl/k33mkk>
- Gordón, R. & Deras, H. (2017). Evaluación de híbridos de maíz en ambientes contrastantes de Meso América, PCCMCA, 2016. LXII

*Reunión Anual Del PCCMCA, San Salvador, El Salvador.*

<https://www.researchgate.net/publication/318113027>

Gordón, R. (2014). *Los granos básicos y la Variabilidad climática en Azuero:*

*Caso maíz.* Primer Congreso Científico CRULS Universidad de Panamá, Las Tablas Panamá.

<https://www.researchgate.net/publication/269393186>

Gordón, R. (2020). Variabilidad Climática y su efecto sobre la producción de maíz. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, 48p.

<https://www.researchgate.net/publication/343820650>

Gordón, R. (2021). *Manual técnico: El maíz en Panamá: características, requerimientos y recomendaciones para su producción en ambientes con alta variabilidad climática.* Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. <https://acortar.link/5pr7VM>

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. & Deras, H. (2018). Evaluación de híbridos de maíz en distintos ambientes de la Región Mesoamericana, PCCMCA, 2017. *Conferencia Dictada En La LXIII Reunión Anual Del PCCMCA, Panamá, Panamá.* <https://www.researchgate.net/publication/325574892>

Gordón, R. & Deras, H. (2019). Evaluación de híbridos de maíz en la Región Mesoamericana, PCCMCA, 2018. *Conferencia Dictada En La LXIV*

*Reunión Anual Del PCCMCA, Tela, Honduras.*

<https://www.researchgate.net/publication/333648162>

Gordón, R. & Deras, H. (2020). *Comportamiento agronómico de híbridos de maíz en la Región Mesoamericana, PCCMCA 2019.*

<https://www.researchgate.net/publication/344901585>

Gordón, R. & Deras, H. (2021). *Evaluación de híbridos de maíz en la Región Mesoamericana, PCCMCA 2020.*

<https://www.researchgate.net/publication/353273829>

Gordón, R., Camargo, I., Franco, J. & González, A. (2006). Evaluación de la adaptabilidad y estabilidad de 14 híbridos de maíz, Azuero, Panamá. *Agronomía Mesoamericana*, 17(2), 189-199.

<https://doi.org/10.15517/am.v17i2.5159>

Gordón, R., Franco, J., Núñez, J., Sáez, A. & Jaén, J. (2017). Adaptabilidad de 20 híbridos de maíz a las condiciones agroclimáticas de la zona maicera de la Región de Azuero, Panamá, 2016. *Visión Antataura*, 1(2), 1–17. <https://www.researchgate.net/publication/323496950>

Gordón, R., Franco, J., Núñez, J., Sáez, A., Jaén, J. & Ramos, F. (2018). Evaluación de la adaptabilidad de híbridos de maíz a las condiciones agroclimáticas de la región de Azuero, Panamá, 2017. *Revista Visión Antataura*. <https://www.researchgate.net/publication/323496950>

Gordón, R., Franco, J., Ramos, F. & San Vicente, F. (2024). Selección de un híbrido de maíz para los sistemas de siembra mecanizada en Panamá.

*Ciencia Agropecuaria*, 39, 135-159.

<https://www.researchgate.net/publication/382247583>

Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). (2022). *Generación de variedades e híbridos de maíz ante la variabilidad climática*. <https://surl.li/rnghaj>

Instituto de Meteorología e Higrología de Panamá (IMHPA). (2021). Clasificación climática según W. Köppen. <https://www.imhpa.gob.pa/es/clasificacion-climatica>

Instituto de Meteorología e Higrología de Panamá (IMHPA). (2024). Datos climáticos históricos. <https://www.imhpa.gob.pa/es/clima-historicos>

Márquez, F. (1991). *Genotecnia Vegetal “Métodos, Teorías y Resultados”*. Primera Edición. Impreso en México. 500 p.

Márquez, Y., Salomón, J. & Acosta, R. (2020). Análisis de la interacción genotipo ambiente en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos Tropicales*, 41(1), 10. <http://ediciones.inca.edu.cu>

Martínez, A. (1988). *Diseños experimentales: métodos y elementos de teoría*. Editorial Trillas, México. <https://n9.cl/u4har8>

Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA). (2023). Cierre agrícola. Año agrícola 2022-2023. *MIDA*, 65. <https://acortar.link/Ua3FPF>

Molina, J. (1992). *Introducción a la genética de poblaciones y cuantitativa: algunas implicaciones en genotecnia*. (AGT EDITOR). 349 p.

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. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1404483>

Núñez, J., Gordón, R., Franco, J., Jaén, J., Sáez, A., Ramos, F. & Ávila, A. (2018). Índice hídrico de dos cultivares de maíz bajo dos sistemas de siembra. *Ciencia Agropecuaria*, 29, 100–112. <https://www.researchgate.net/publication/333982365>

Oliveira, I., Atroch, A., Días, M., Guimarães, L. & Oliveira, P. (2017). Selection of corn cultivars for yield, stability, and adaptability in the state of Amazonas, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(6), 455-463. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000600009>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1993). El maíz en la nutrición humana. FAO. <https://www.fao.org/4/t0395s/t0395s00.htm>

Palomo, G. (1976). La interacción genotipo-ambiente en el cultivo del algodón en la comarca Lagunera. In: Memoria del VI Congreso Nacional de la SOMEFI, Monterrey, N. L. 348-352

Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). (2007). Cambio climático 2007: Impacto, adaptación y vulnerabilidad. IPCC. <https://url-shortener.me/J8TJ>

Patel, J., Patel, N. & Shiyani, R. (2001). Coefficient of variation in field experiments and yardstick thereof-an empirical study. *Current Science*, 81(9), 1163-1164. <https://n9.cl/k1uqn>

- Pimentel, F. (1985). *Curso de estadística experimental*. Livraria Nobel S.A., São Paulo, Brasil. <https://n9.cl/or12s>
- Sáez, A., Gordón, R., Núñez, J., Jaén, J., Franco, J., Ramos, F. & Ávila, A. (2018). Coeficientes genéticos de dos cultivares de maíz, Azuero-Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, 29, 80–99. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29415.66724>
- Sah, R., Chakraborty, M., Prasad, K., Pandit, M., Tudu, V., Chakravarty, M., Narayan, S., Rana, M., & Moharana, D. (2020). Impact of water deficit stress in maize: Phenology and yield components. *Scientific Reports*, 10(1): 2944. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59689-7>
- Vallejo, F. & Estrada, E. (2002). *Mejoramiento genético de plantas*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52016>
- Vargas, M., Combs, E., Alvarado, G., Atlin, G., Mathews, K. & Crossa, J. (2013). META: A suite of SAS Programs to analyze Multi environment breeding trials. *Agron. J.* 105, 11-19. <https://surl.it/onmwee>
- Vega, C., Andrade, F., Sadras, V., Uhart, S. & Valentinuz, O. (2001). Seed number as a function of growth. A comparative study in soybean, sunflower and maize. *Crop Science*. 41: 748-754. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.413748x>
- Wilcox, F. & Rivera, J. (2024). Evaluación del rendimiento en grano de cuatro cultivares de maíz (*Zea mays* L.) en época de lluvia. *Scientia*, 34(1), 80-99. <https://doi.org/10.48204/j.scientia.v34n1.a4579>

- Wissar, R. (1994). Parámetros de estabilidad fenotípica. *Curso de manejo de Germoplasma de papa. Centro Internacional de la Papa: Lima-Perú.*
- Yan, W. & Holland, J. (2010). A heritability-adjusted GGE Biplot for test environmental evaluation. *Euphytica*, 171, 355-369. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-009-0030-5>
- Zobel, R., & Gauch, H. (1997). Identifying Mega-Environments and Targeting Genotypes. *Crop Science*, 37, 311–326. <https://www.researchgate.net/publication/288634078>

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1.

*Siembra de ensayos en la localidad del Ejido*



### Anexo 2.

*Fumigación de ensayos en la localidad del Ejido*

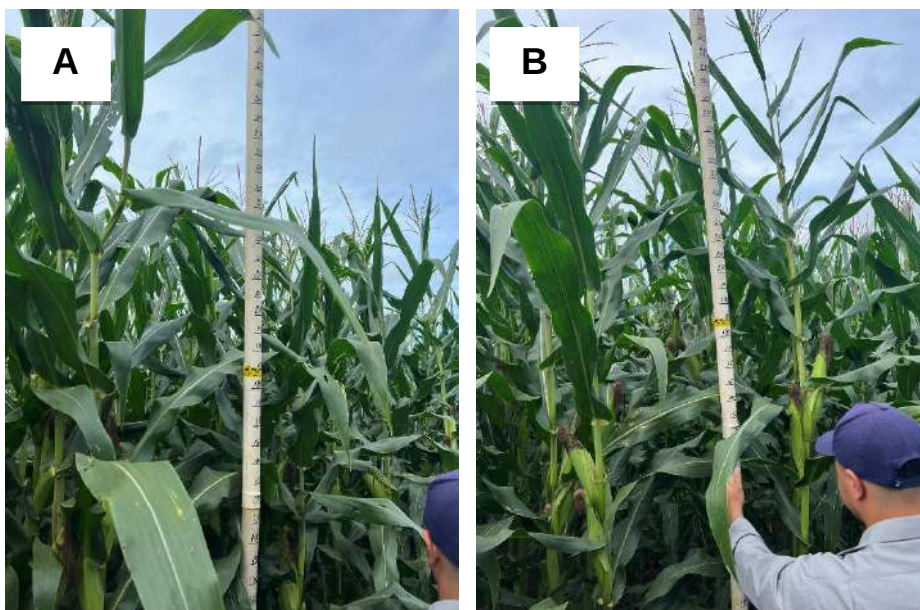


**Anexo 3.**

*Germinación del ensayo en la localidad del Ejido*

**Anexo 4.**

*Toma de datos de carácter cuantitativo de la localidad del Ejido*



**Nota.** (A) Altura de la planta, (B) Altura de la mazorca.

**Anexo 5.**

*Plantas al momento de la cosecha*

**Anexo 6.**

*Limitantes del rendimiento*



**Nota.** (A) Diente de perro, (B) Hongos en la mazorca.

**Anexo 7.**

*Mazorca en la etapa final del ensayo para cosecha para la evaluación del rendimiento*

**Anexo 8.**

*Mazorca luego de realizado el desgrane para obtener el porcentaje de humedad*



**Anexo 9.**

*Determinación del porcentaje de humedad*

**Anexo 10.**

*Híbridos que fueron sembrados en ambas localidades*

