

## Orden de Cruza en la Productividad de Híbridos Trilineales de Maíz para Valles Altos de México

### Crossing Order Effect on the Productivity of Three-Way Cross Maize Hybrids for High Valleys of Mexico

Karina Yazmine Mora-García<sup>1</sup> , Margarita Tadeo-Robledo<sup>1</sup> , J. Jesús García-Zavala<sup>2</sup> ,  
Enrique Inocencio Canales-Islas<sup>4</sup> , Nicacio Cruz-Huerta<sup>2</sup> , Apolinar Mejia-Contreras<sup>2</sup> y  
Alejandro Espinosa-Calderón<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Ingeniería Agrícola de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM. Carretera Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5, Col. San Sebastián Xhala. 54700 Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México; (K.Y.M.G.), (M.T.R.).

<sup>2</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo. 56264 Texcoco, Estado de México, México; (J.J.G.Z.), (N.C.H.), (A.M.C.).

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Valle de México. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán. 56250 Texcoco, Estado de México, México; (A.E.C.).

\* Autor para correspondencia: espinoale@yahoo.com.mx

<sup>4</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Carretera Internacional México - Nogales km 6, Centro. 63300 Santiago Ixcuintla, Nayarit, México; (E.I.C.I.).

## RESUMEN

En los Valles Altos de México, el maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo importante económica y culturalmente, el rendimiento promedio no satisface la demanda creciente por esto, una de las estrategias para incrementar la productividad es el uso de híbridos trilineales en los agrosistemas donde se aprovecha su potencial de producción, en ellos conviene definir la mejor conformación genética, que asegure su óptimo desempeño agronómico. Este estudio evaluó el efecto del diferente orden de cruza en la productividad de diez híbridos trilineales de maíz. Los experimentos se establecieron en Cuautitlán Izcalli (suelo franco-arcilloso) y Texcoco (suelo franco-arenoso), bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se midieron variables de importancia como rendimiento de grano y sus componentes como floración masculina, femenina y altura de planta. Los resultados mostraron diferencias significativas entre ambientes, atribuidas a las condiciones edáficas y climáticas. El rendimiento promedio de grano de los híbridos fue de 5.50 Mg ha<sup>-1</sup>. El híbrido H5 (L3 × L4 × L9) destacó con 5.85 Mg ha<sup>-1</sup> mientras que H1 (L1 × L4 × L9) tuvo el menor rendimiento (4.70 Mg ha<sup>-1</sup>). En general, el orden de cruza no afectó significativamente el rendimiento, excepto en el híbrido H7, donde la combinación (L4 × L9) × L7 superó en un 20.7% a su recíproco. La floración y altura de planta fueron consistentes en la mayoría de los genotipos, sin asincronía floral relevante. Los hallazgos sugieren que, para la mayoría de los híbridos trilineales evaluados, el orden de cruza no fue un factor que influye en la productividad, lo que facilita la producción de semilla, ya que el incremento podría efectuarse en cualquier combinación de progenitores. En el caso específico de H7, el orden de los progenitores sí influye, por lo que debe definirse la mejor combinación, al incrementar semilla.

**Palabras clave:** combinaciones alternativas, cruza recíproca, genotipos de triple cruzamiento, líneas progenitoras, semilla mejorada.

## SUMMARY

In the High Valleys of Mexico, maize (*Zea mays* L.) is an economically and culturally important crop. However, average grain yield does not meet the increasing demand; therefore, one strategy to enhance productivity is the use of trilinear hybrids in agrosystems where their yield potential can be fully exploited. For these hybrids, it is advisable to define the most suitable genetic conformation to ensure optimal agronomic performance. This study evaluated the effect of different crossing orders



### Cita recomendada:

Mora-García, K. Y., Tadeo-Robledo, M., García-Zavala, J. J., Canales-Islas, E. I., Cruz-Huerta, N., Mejia-Contreras, A., & Espinosa-Calderón, A. (2025). Orden de Cruza en la Productividad de Híbridos Trilineales de Maíz para Valles Altos de México. *Terra Latinoamericana*, 43, 1-13. e2317. <https://doi.org/10.28940/terralatinoamericana.v43i.2317>

Recibido: 2 de junio de 2025.

Aceptado: 12 de septiembre de 2025.

Artículo. Volumen 43.

Diciembre de 2025.

Editor de Sección:

Dr. Tomás Rivas García

Editor Técnico:

Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega



**Copyright:** © 2025 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

on the productivity of ten trilinear maize hybrids. Field experiments were established in Cuautitlán Izcalli (clay loam soil) and Texcoco (sandy loam soil) under a randomized complete block design with three replications. Key agronomic variables were recorded, including grain yield and its components, male and female flowering, and plant height. The results showed significant differences between environments, attributed to contrasting edaphic and climatic conditions. The average grain yield of the hybrids was 5.50 Mg ha<sup>-1</sup>. Hybrid H5 (L3 × L4 × L9) showed the highest yield (5.85 Mg ha<sup>-1</sup>), whereas H1 (L1 × L4 × L9) exhibited the lowest yield (4.70 Mg ha<sup>-1</sup>). In general, crossing order did not significantly affect grain yield, except in hybrid H7, in which the combination (L4 × L9) × L7 exceeded its reciprocal by 20.7%. Flowering traits and plant height were consistent across most genotypes, with no relevant floral asynchrony observed. These findings indicate that, for most of the evaluated trilinear hybrids, crossing order was not a determinant factor influencing productivity, which facilitates seed production because seed increase can be conducted using any parental combination. In the specific case of H7, parental order does influence performance; therefore, the optimal combination must be defined during seed multiplication.

**Index words:** *alternative combinations, improved seed, triple-cross genotypes, parent lines, reciprocal crossing.*

## INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo importante para México, por su valor económico, social, su trascendencia cultural como alimento básico y elemento identitario milenario. Económicamente, es de vital importancia al generar numerosos empleos y ser un pilar fundamental para la economía nacional. Como centro de origen y diversificación de esta especie, México posee una riqueza genética fundamental para la adaptación y seguridad alimentaria, López-Torres, Rendón, Camacho (2016) destacan su papel como materia prima esencial para la industria agroalimentaria y la producción de forrajes. A nivel mundial, el maíz es el cultivo con mayor producción, alcanzando 1220 millones de toneladas con un rendimiento promedio de 5.90 Mg ha<sup>-1</sup>. México se posiciona entre los diez principales productores globales. Datos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) revelan que el país tiene el mayor consumo humano *per cápita* de maíz, siendo en 2024 siete veces superior al promedio mundial, con proyecciones de crecimiento a 1.40 Mg ha<sup>-1</sup> para 2030 (FIRA, 2024). De acuerdo con el INEGI (2023), el 23% de las 32.40 millones de hectáreas agrícolas del país se destinan a este cultivo. El SIAP reportó una producción de 23.40 millones de toneladas en 2024, donde el maíz blanco representó 88% y el amarillo 11% (Ramírez-Jaspeado *et al.*, 2020). En la región de Valles Altos (Tlaxcala, Estado de México, Hidalgo, Puebla y Querétaro) se produce 20% del maíz nacional, con un rendimiento promedio de 3.21 Mg ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2025). Este rendimiento bajo se debe principalmente a la limitada disponibilidad de semilla híbrida adaptada a la vasta diversidad de microclimas que existe en la región.

Para incrementar los rendimientos, es fundamental utilizar semillas de calidad de variedades mejoradas productivas con características agronómicas favorables, adaptación a condiciones de ambiente, temporal y riego disponibles (Virgen-Vargas *et al.*, 2016). De acuerdo con los datos reportados por el Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas SNICS (2024) solo se cubrió el 28% de la demanda nacional de semilla certificada de maíz. Esto representa un déficit muy elevado al comparar la producción con el consumo total.

Este problema de desabasto no es reciente, un estudio de García-Salazar y Ramírez (2014) ya había identificado que, en la mayoría de los estados, el consumo de semilla certificada superaba a la oferta disponible. Los déficits más significativos se concentraban en Chiapas, Puebla, Oaxaca, Veracruz y el Estado de México, una tendencia que el reporte del SNICS de 2024 confirma que se ha mantenido.

El desabasto de semilla afecta a todo el sector semillero, es provocado por múltiples factores entre los que destaca la insuficiencia de recursos económicos destinados a la multiplicación de progenitores. Además, la deficiencia en los esquemas reglamentarios para la transferencia de tecnología a empresas públicas y privadas, así como a organizaciones civiles dedicadas a la multiplicación y distribución de semillas de calidad (Espinosa-Calderón, Sierra y Gómez, 2003). La limitada distribución de progenitores para híbridos obedece principalmente a la ausencia de mecanismos que articulen eficazmente a los centros de investigación con la industria semillera, y así cerrar esta brecha y potenciar la transferencia de semillas mejoradas del sector público al productivo (Espinosa-Calderón, Tadeo y Turrent, 2024).

El INIFAP y la FESC-UNAM, con una colaboración de más de tres décadas, han desarrollado diversos materiales genéticos de maíz adaptados a las condiciones de Valles Altos. Entre ellos destacan por parte de INIFAP, híbridos como H-47, H-49 AE, H-51 AE, H-53 AE, V-54 A, V-55 A, HV-59 A y HV-60 A (Hernández-Galeno *et al.*, 2024), así como Puma 1075, Puma 1076, Tsiri Puma, Tlaoli Puma, Atziri Puma y Kuautli Puma, Coztli Puma, Mistli UNAM por la UNAM (Tadeo-Robledo *et al.*, 2004; Tadeo-Robledo *et al.*, 2016; Tadeo-Robledo *et al.*, 2021). Estos materiales generados por la investigación pública complementados con estudios agronómicos y tecnologías de producción mejoradas, han sido fundamentales para apoyar a los productores ante la escasez de semillas y producción de grano.

En algunos casos se ha analizado el impacto del orden de cruzamiento en el proceso de incremento de semilla híbrida y en el rendimiento de los híbridos finales. En las investigaciones realizadas por Espinosa-Calderón, y Tadeo (1992), Espinosa-Calderón, Tadeo y Piña (1995), Tadeo-Robledo, Carballo, Molina y Hernández, (1991), se determinó que el orden de cruza no influyó en características importantes como rendimiento o sincronía floral y en algunos casos se beneficia el intercambio de los progenitores, al mejorar la sincronía de la floración de los progenitores.

No obstante, se ha observado que este parámetro debe ser evaluado individualmente en cada híbrido. En este contexto, las diferencias deben ser analizadas bajo criterios agronómicos, con especial atención en aquellos atributos que determinan un establecimiento uniforme y un desarrollo vegetativo eficiente.

Tras la cancelación de la Productora Nacional de Semillas (PRONASE), las instituciones públicas enfrentan escasez de semillas de progenitores de híbridos registrados en el CNVV, por falta de planes y recursos para abastecer a medianas y pequeñas empresas semilleras. Es crucial definir tecnologías de producción para aumentar el abasto de semillas progenitoras y certificadas de variedades mejoradas. En este contexto, el objetivo de esta investigación fue definir el efecto en la productividad de híbridos trilineales de maíz en diferente orden de cruza y combinaciones alternativas de los progenitores.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitios Experimentales

Los experimentos se llevaron a cabo en el ciclo primavera - verano de 2023 en dos ambientes de los Valles Altos de México. El primero fue en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES-UNAM), Cuautitlán Izcalli cuyas coordenadas son 19° 41' 49" N y 99° 4' 36" O a 2250 m de altitud, el suelo es franco-arcilloso y el clima es templado subhúmedo, con una temperatura media anual de 14.8 °C, según la clasificación climática de Köppen modificada por García (2004). El segundo se localizó en Santa Lucía de Prías, en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Texcoco, Edo. de México sus coordenadas son 19° 29' 29" N y 98° 54' 29" O y 2261 m de altitud. El suelo es franco-arenoso, y el clima es templado con lluvias en verano y la temperatura media anual oscila entre 12 y 18°C (García, 2004).

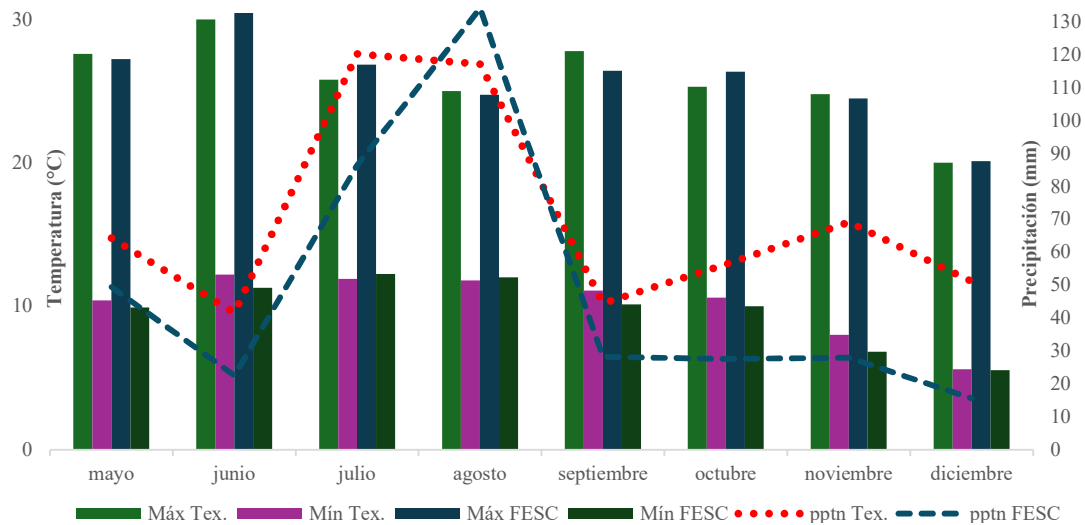
Los registros climáticos, incluyen las temperaturas máximas y mínimas, así como los datos de precipitación pluvial, fueron recopilados a partir de las estaciones meteorológicas: una perteneciente a la FESC-UNAM, y a la Universidad Autónoma Chapingo (Figura 1).

Durante el ciclo de cultivo, el acumulado pluviométrico mostró diferencias entre localidades: 460 mm en FESC frente a 432 mm en CEVAMEX, con una distribución temporal irregular (Figura 1). La variación térmica máxima entre ambientes fue mínima (0.5°C), registrándose los valores más altos en junio (30.0 °C en FESC y 30.5 °C en CEVAMEX), coincidiendo con la fase de siembra.

El pico máximo de precipitación ocurrió en agosto en la FESC (134.5 mm), sincrónico con el inicio de floración, mientras que en CEVAMEX las mayores lluvias se concentraron entre julio y agosto (117-120 mm). Cabe destacar que en esta última localidad se registraron eventos de granizo en las dos primeras semanas de agosto, afectando fisiológicamente al cultivo en etapas fenológicas críticas (V14). Pese a este estrés abiótico, el adecuado desarrollo del área foliar permitió una recuperación parcial del cultivo, aunque con secuelas morfofisiológicas evidentes.

### Material Genético y Diseño Experimental

En el ciclo P-V de 2022 se realizaron las cruza manuales necesarias para obtener las semillas de diez híbridos trilineales en los diferentes órdenes alternativos de combinación de progenitores, resultaron 30 genotipos diferentes (Cuadro 1). Los híbridos resultantes se establecieron en experimentos uniformes en dos ambientes durante el ciclo P-V de 2023.



**Figura 1. Variación mensual de temperatura (máxima y mínima) y precipitación durante el ciclo de cultivo de 30 híbridos en dos localidades de Valles Altos, 2023.**  
**Figure 1. Monthly variation of temperature (maximum and minimum) and precipitation during the crop cycle of 30 hybrids in two locations of the Valles Altos, 2023.**

Los genotipos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La densidad de población fue de 65 000 plantas por hectárea, cada parcela experimental consistió en un surco de 5 m de largo por 0.80 m de ancho, dando como resultado una parcela útil de 4 m<sup>2</sup>. Durante las labores culturales de preparación de terreno no se realizó fertilización granulada en ninguna de las localidades. La siembra se llevó a cabo el 2 de junio en el CEVAMEX y el 8 de junio del 2023 en las instalaciones la FESC-UNAM. En ambas localidades, la siembra se realizó de forma manual y en seco, depositando una semilla cada 20 cm para alcanzar la densidad requerida. Después de la siembra, se dio un riego rodado en cada localidad. El resto del ciclo del cultivo dependió de las condiciones de lluvia propias del temporal. El control de maleza fue el mismo en las dos localidades, se aplicaron 4 L por hectárea de Lumax Gold® (298.1 gr de i.a./L S-metolaclo + 112.2 gr de i.a./L Atrazina + 29.81 gr de i.a./L Mesotrione).

**Cuadro 1. Material genético evaluado en diferentes esquemas de cruzamiento.**  
**Table 1. Genetic material evaluated under different crossing schemes.**

Híbrido	Clave	Línea	Híbrido	Clave	Línea
H1	L1	IA449RMIA44	H6	L3	MIA46
	L9	246		L10	349
	L4	IA442F		L5	IA424F
H2	L1	IA449RMIA44	H7	L7	MIA47
	L10	349		L4	IA442F
	L5	IA424F		L9	246
H3	L2	MIA45	H8	L7	MIA47
	L4	IA442F		L10	349
	L9	246		L5	IA424F
H4	L2	MIA45	H9	L8	AG7573E
	L10	349		L5	IA424F
	L5	IA424F		L10	349
H5	L3	MIA46	H10	L8	AG7573E
	L4	IA442F		L4	IA442F
	L9	246		L9	246

Se registraron datos de diversas variables durante el desarrollo del cultivo relacionadas con características morfológicas y componentes de rendimiento, solo se consideraron cinco para los resultados de esta investigación. Se evaluó la floración masculina (FM), que correspondió al momento en que 50% de las plantas de la parcela liberaron polen; floración femenina (FF), cuando 50% de las plantas expusieron los estigmas al menos 3 cm; altura de planta (AP) medida en cinco plantas desde la base del tallo hasta el nudo de inserción de la espiga (cm).

En ambas localidades la cosecha fue de forma manual en el mes de diciembre. En cada parcela, se recolectaron todas las mazorcas y se registró su peso en campo (Kg). Se seleccionaron al azar cinco mazorcas representativas de cada unidad experimental para, en laboratorio, identificar el número de hileras por mazorca, longitud de mazorca (LM) y granos por hilera (GH), y obtener un promedio al multiplicar hileras por mazorca y granos por hilera para estimar el número de granos por mazorca (GM). Los datos de humedad de grano se obtuvieron utilizando un determinador de humedad marca DICKEY-John®, modelo GAC 2100. Se calculó el porcentaje de materia seca mediante la diferencia de 100%, además, se calculó el porcentaje de grano (%G) como el cociente entre el peso del grano y el peso del grano más olotes. Para determinar el rendimiento de grano por hectárea, se utilizó la siguiente fórmula:

$$RG = \frac{PC \times \%MS \times \%G \times FC}{8600} \quad (1)$$

Donde; RG es el rendimiento de grano en Mg ha<sup>-1</sup>, PC es el peso (kg) de campo del total de mazorcas cosechadas por parcela; % MS es el porcentaje de materia seca calculado con base en la muestra de grano de cinco mazorcas, % G es el porcentaje de grano obtenido como el cociente entre el peso de grano y el de mazorca, FC es el factor de conversión para obtener el rendimiento por hectárea, obtenido al dividir 10 000 m<sup>2</sup> entre el tamaño de la parcela útil en m<sup>2</sup> (4 m<sup>2</sup>) y 8600 es un valor constante que permite estimar el rendimiento con una humedad uniforme del 14%, condición en la cual se manejan las semillas de forma comercial (Martínez-Gutiérrez et al., 2018; Tadeo-Robledo et al., 2015).

Se realizó un análisis de varianza considerando como factores de variación el ambiente, genotipos y la interacción ambiente x genotipos en el software Statistical Analysis Systems v. 9.4 (SAS Institute, 2002). Cuando hubo diferencias significativas se utilizó la comparación de medias con la prueba de Tukey con un nivel de significancia ( $p \leq 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de Varianza

Los cuadrados medios y la significancia estadística de diez híbridos trilineales de maíz evaluados en diferentes órdenes de cruce se presentan en el Cuadro 2. El análisis de varianza mostró diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) en el efecto de los ambientes (A) en todas las variables, estas diferencias pueden atribuirse a las condiciones climáticas contrastantes observadas en cada ambiente durante el ciclo de producción de 2023, pero en particular se deben a las condiciones edáficas, como lo refiere Alonso-Sánchez, Tadeo, Espinosa, Zaragoza y López (2020).

El rendimiento de grano promedio de los diez híbridos fue de 5.50 Mg ha<sup>-1</sup>, superó el promedio en la región que, en condiciones de temporal, se estima de 3.5 Mg ha<sup>-1</sup> (CONAGUA, 2023). El híbrido H1, compuesto por las líneas L1 (IA44RMIA44), L9 (246), L4 (IA442), tuvo el menor rendimiento con 4.70 Mg ha<sup>-1</sup>, por el contrario, el híbrido H5, compuesto por las líneas L3 (MIA46), L4 (IA442), L9 (246), registró el desempeño más alto con 5.85 Mg ha<sup>-1</sup>. Esta diferencia en la productividad puede atribuirse, en parte, al efecto genético aditivo de las líneas parentales evaluadas anteriormente, donde se pueden potenciar estos efectos genéticos y se puede aumentar la eficiencia en el mejoramiento genético en la expresión del rendimiento de grano de maíz, de acuerdo con lo obtenido por Hosseini, Shiri, Mostafavi, Mohammadi y Miri (2025). La línea L1 (IA44RMIA44), que forma parte del híbrido H1, presentó un valor de Aptitud Combinatoria General (ACG) negativo, en cambio la línea L3, constituyente del híbrido H5, presentó un valor de ACG alto y positivo. Resalta la línea L9 (246) en el estudio por su ACG, participa en los híbridos H1 como macho de la cruce simple, y en el híbrido H5 participa como macho del híbrido trilineal. Además del rendimiento, hubo diferencias en la altura de planta, floración masculina y femenina coincidiendo con los resultados reportados por Cervantes-Ortiz et al. (2016).

Este resultado sugiere que el ambiente juega un papel crucial en la expresión del rendimiento de los híbridos trilineales de maíz. Las diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre los dos ambientes evaluados resaltan la importancia de considerar las condiciones edafoclimáticas en la selección y recomendación de híbridos para una región específica, lo que concuerda con estudios previos (Hernández-Martínez et al., 2024; Sánchez-Ramírez, Mendoza y Mendoza, 2016; Velasco-García et al., 2019), que señalan que la temperatura, precipitación y disponibilidad de nutrientes pueden influir significativamente en el desempeño de los híbridos.



**Cuadro 2. Cuadrados medios de diez híbridos de maíz blanco con distinta conformación considerando la media de dos ambientes en Valles Altos, P-V 2023.****Table 2. Mean squares in 10 white maize hybrids with different conformations considering the average of two environments in High Valleys, S-S 2023.**

Híbrido	F.V.	A	G	A x G	Error	Media	C.V. (%)
H1	REND	3138543**	480078	787820*	174080	4706	8.90
	FM	551**	1.70	1.38	3.92	79	2.50
	FF	376**	4.20	6.60	4.04	83	2.40
	AP	7.80**	0.03	0.008	0.02	2.50	5.70
H2	REND	17445560**	1661791	2371638*	617237	5557	14.10
	FM	301**	1.00	5.50	3.88	79	2.50
	FF	228**	2.90	2.30	3.92	83	2.40
	AP	5.90**	0.048**	0.005	0.01	2.60	3.70
H3	REND	8607100**	1525308	132990	804101	5383	16.70
	FM	304**	0.389	2.44	0.39	78	2.00
	FF	256**	3.70	5.72	4.94	82	2.70
	AP	5.10**	0.006	0.018	0.02	2.60	5.80
H4	REND	22170270**	196297	247086	499277	5580	12.70
	FM	416.70**	13.4**	0.56	1.83	79	1.70
	FF	425.00**	18.9**	3.49	2.42	82	1.90
	AP	6.00	0.01	0.01	0.05	2.60	8.50
H5	REND	20683168**	1279	1473599	644006	5850	13.70
	FM	180.50**	0.70	0.50	4.89	78	2.80
	FF	193.40**	2.90	0.89	8.17	81	3.50
	AP	4.60**	0.003	0.02	0.03	2.50	6.40

\*  $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$ ; F.V. = fuente de variación; A = ambiente; G = genotipo; G x A = interacción genotipo ambiente; C.V. = coeficiente de variación; REND = rendimiento; FM = floración masculina; FF = floración femenina; AP = altura de planta.

\*\*  $p \leq 0.05$ ;  $p \leq 0.01$ ; F.V. = source of Variation; A = environment; G = genotype; G x A = genotype x environment interaction; C.V. = coefficient of variation; REND = yield; FM = anthesis; FM = silking; AP = plant height.

En el análisis de varianza entre genotipos (G), en las cruzas directas, recíprocas y alternativas, hubo significancia, lo que demuestra que los híbridos conformados en diferente orden de cruza son genéticamente contrastantes. En el Cuadro 2, se observaron variaciones significativas en algunos híbridos específicos, como fue el caso de H2, que tuvo diferencias en la altura de planta, mientras que en H4 las diferencias se presentaron en la floración masculina y femenina. Lo que indica que el orden de cruza influye en la expresión de estas características de importancia agronómica y ha sido documentado previamente por Hernández-Martínez *et al.* (2024), Tadeo-Robledo *et al.*, (1991) y De la Cruz-Lázaro *et al.* (2009). De manera similar, el H7 (Cuadro2) mostro diferencias significativas en el rendimiento y floración masculina, teniendo un impacto directo en su productividad. Lo anterior confirma que antes de realizar un cambio en el orden de conformación de los híbridos trilineales es necesario realizar un análisis individual como el que se hizo en este análisis y determinar si se presenta un cambio significativo que afecte negativamente el rendimiento u otras variables agronómicas como las floraciones que puedan influir en el desempeño general del híbrido.

Para la interacción genotipo-ambiente (G x A) se observaron diferencias significativas en los híbridos H1, H2 y H7 para el rendimiento, estas diferencias son atribuibles a la baja precipitación que prevaleció durante la etapa fenológica VT y R4 en los ambientes evaluados. Los resultados sugieren que los genotipos tuvieron una respuesta diferencial en cada uno de los ambientes de evaluación, la interacción pudo ser positiva o negativa en la expresión de las características agronómicas de los híbridos, los cuales, dependen de las condiciones ambientales particulares de cada localidad, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Velasco-Macias *et al.* (2022), López-López *et al.* (2017) y Sánchez-Ramírez *et al.* (2016).

Los coeficientes de variación (C.V.) oscilaron entre 1.6 y 17.5%, lo que se considera un control aceptable de la variabilidad experimental, al estar por debajo del umbral del 20%, resultados similares reportaron Velasco-García *et al.* (2019). Estos hallazgos respaldan la confiabilidad en la conducción de los experimentos y la coherencia de los datos obtenidos.

**Cuadro 2.1. Cuadrados medios en 10 híbridos de maíz blanco con distinta conformación considerando la media de dos ambientes en Valles Altos, P-V 2023.****Table 2.1. Mean squares in 10 white maize hybrids with different conformations considering the average of two environments in High Valleys, S-S 2023.**

Híbridos	F.V.	A	G	G x A	Error	Media	C.V. (%)
H6	REND	17396145**	871751	43291	753044	5665	15.30
	FM	287**	7.40	6.93	4.29	79	2.60
	FF	400.2**	10.50	1.17	8.58	82	3.60
	AP	6.30**	0.014	0.03	0.04	2.60	7.90
H7	REND	29279102**	2502631**	2167914*	331996	5585	10.30
	FM	264.50**	15.4*	6.50	2.33	79	1.90
	FF	304.20**	8.70	2.39	3.17	81	2.20
	AP	6.10**	0.03	0.0001	0.02	2.60	5.60
H8	REND	43967094**	636038	909732	976637	5636	17.5
	FM	253.50**	0.70	2.72	1.50	77	1.60
	FF	442**	5.40	2.82	2.50	80	2.05
	AP	7.20**	0.05	0.02	0.03	2.60	6.20
H9	REND	15395700**	3143103	294582	930372	5723	16.90
	FM	234**	1.50	6.72	3.11	81	2.20
	FF	272**	0.00	5.56	2.22	83	1.80
	AP	5.40**	0.005	0.007	0.03	2.60	6.10
H10	REND	19696180**	946037	104139	933794	5829	16.60
	FM	213.60**	7.40	9.72	4.44	79	2.7
	FF	213.60**	1.60	6.89	5.83	83	2.9
	AP	5.80**	0.02	0.03	0.03	2.50	6.60

\*  $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$ ; FV = fuente de variación; A = ambiente; G = genotipo; G x A = interacción genotipo ambiente; C.V. = coeficiente de variación; REND = rendimiento; FM = floración masculina; FF = floración femenina; AP = altura de planta.

\*\*  $p \leq 0.05$ ;  $p \leq 0.01$ ; FV = source of Variation; A = environment; G = genotype; G x A = genotype x environment interaction; C.V. = coefficient of variation; REND = yield; FM = anthesis; FM = silking; AP = plant height.

### Comparación de Medias entre Ambientes

En la comparación de medias para los diez híbridos evaluados en dos ambientes (Cuadro 3), se distinguieron dos grupos de significancia. Los resultados del ciclo P-V 2023 revelaron que el sitio FESC-UNAM superó a la segunda localidad en la variable rendimiento, en todos los híbridos evaluados. Destacó el híbrido H5 que alcanzó el valor más alto con  $6.92 \text{ Mg ha}^{-1}$ . No se observaron correlaciones significativas entre las fechas de siembra o temperaturas durante la floración, sino con las características del ambiente CEVAMEX con suelo franco-arenoso con escasa capacidad para retener agua y nutrientes, volumen de precipitación bajo y estrés generado por el daño de granizo, fue lo que limitó el potencial productivo (Alonso-Sánchez *et al.*, 2023).

En cuanto al desarrollo fenológico, se registraron comportamientos contrastantes entre localidades. En la FESC los 30 genotipos florecieron entre los 73 y 79 días (mostrando un patrón precoz a intermedio) lo que permitió que las plantas completaran su etapa reproductiva bajo condiciones ambientales más favorables, como temperatura óptima y disponibilidad de humedad, y en CEVAMEX fue hasta los 80 y 87 días (tardío) de acuerdo con los datos climatológicos, las plantas estuvieron expuestas a estrés como sequía justo en la fase más crítica, lo que perjudicó la polinización y el llenado de grano, resultando en rendimientos bajos. Esta diferencia en los días de floración pudo influir en los rendimientos finales, coincidiendo con lo reportado por Virgen-Vargas *et al.* (2014) y Tadeo-Robledo *et al.* (2015).

**Cuadro 3. Comparación de medias (Tukey) entre dos ambientes para variables del análisis combinado de híbridos trilineales de maíz blanco, Valles Altos, P-V 2023.****Table 3. Mean comparison (Tukey) between two environments for variables of the combined analysis of white maize three-way hybrids, High Valleys, S-S 2023.**

Híbrido	A	REND	FM	FF	AP
		Mg ha <sup>-1</sup>	- - - - - días - - - - -		cm
H1	1	5.10 a	74 b	79 b	3.04 a
	2	4.30 b	83 a	87 a	1.90 b
	DHS	3.60	2	2	0.12
H2	1	6.40 a	76 b	80 b	3.14 a
	2	4.70 b	83 a	86 a	2.15 b
	DHS	679	2	2	0.08
H3	1	6.10 a	74 b	78 b	3.13 a
	2	4.70 b	82 a	86 a	2.07 b
	DHS	920	2	2	0.15
H4	1	6.50 a	74 b	78 b	3.13 a
	2	4.70 b	82 a	86 a	2.07 b
	DHS	920	2	2	0.15
H5	1	6.92 a	75 b	78 b	2.99 a
	2	4.80 b	81 a	84 a	1.98 b
	DHS	824	2	3	0.16
H6	1	6.50 a	76 b	78 b	3.08 a
	2	4.80 b	83 a	86 a	2.05 b
	DHS	751	2	2	0.18
H7	1	6.90 a	75 b	77 b	3.14 a
	2	4.30 b	82 a	86 a	1.97 b
	DHS	592	2	2	0.15
H8	1	6.70 a	74 a	76 b	3.15 a
	2	4.20 b	81 a	84 a	2.06 b
	DHS	855	1	1	0.14
H9	1	6.60 a	77 b	79 b	3.17 a
	2	4.80 b	84 a	87 a	2.08 b
	DHS	991	2	2	0.16
H10	1	6.90 a	76 b	79 b	3.04 a
	2	4.80 b	83 a	86 a	1.91 b
	DHS	992	2	2	0.17

Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); DHS = diferencia honesta significativa. A = ambiente; 1 = FESC-UNAM; 2 = CEVAMEX-INIFAP; REND = rendimiento; FM = floración masculina; FF = floración femenina; AP = altura de planta; MB = mazorcas buenas.

Means followed by different letters in each row are statistically different (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); DHS = honest significant difference. A = environment; 1 = FESC-UNAM; 2 = CEVAMEX-INIFAP; REND = yield; FM = silking male; FF = silking female; AP = plant height; MB = good ears.



El análisis permitió establecer que el suelo franco-arenoso y la falta de fertilización al momento de preparar el terreno, creó condiciones poco favorables para el cultivo. La poca retención de humedad en este tipo de suelos (Canales-Islas, Tadeo, Mejía, García, Espinosa, 2017; López-López, Tadeo, García, Espinosa y Mejía, 2021), explica en buena medida los menores rendimientos obtenidos en esta localidad. Estas observaciones refuerzan la idea de que el éxito del cultivo depende de la interacción entre múltiples factores ambientales y de manejo.

### Comparación de Medias de Genotipos

En los Cuadros 4 y 4.1 se presenta la comparación de medias de los 10 híbridos evaluados, se consideró el diferente orden de crusa en cada uno de los híbridos. Se encontró que más del 50 % de las cruza superaron el rendimiento promedio general que fue de 5.53 Mg ha<sup>-1</sup>, lo que indica un potencial productivo favorable en la mayoría de los híbridos.

**Cuadro 4. Comparación de medias (Tukey) de genotipos (cruzas directas, recíprocas y alternativas) en híbridos trilineales de maíz, Valles Altos, P-V 2023.**

**Table 4. Mean comparison (Tukey) of genotypes (direct, reciprocal, and alternative crosses) in three-way maize hybrids, High Valleys, S-S 2023.**

Híbrido	Progenitores		REND	FM	FF	AP
	Hembra	Macho	Mg ha <sup>-1</sup>	----- días -----		(m)
H1	L1	L9 × L4	5.05 a	78 a	82 a	2.37 a
	L1	L4 × L9	4.80 a	78 a	83 a	2.48 a
	L9 × L4	L1	4.60 a	79 a	84 a	2.51 a
	L4 × L9	L1	4.40 a	79 a	84 a	2.52 a
		DMS	689	3	3	0.23
H2	L10 × L5	L1	6.00 a	79 a	82 a	2.70 a
	L5 × L10	L1	5.90 a	80 a	83 a	2.51 b
	L1	L10 × L5	5.50 a	79 a	83 a	2.69 b
	L1	L5 × L10	4.80 a	79 a	83 a	2.67 ab
		DMS	1298	3	3	0.16
H3	L4 × L9	L2	5.90 a	78 a	81 a	2.62 a
	L9 × L4	L2	5.10 a	78 a	83 a	2.56 a
	L2	L9 × L4	5.10 a	78 a	81 a	2.62 a
		DMS	1381	2	3	0.23
H4	L10 × L5	L2	5.80 a	77 b	80 b	2.55 a
	L2	L10 × L5	5.70 a	80 a	82 ab	2.65 a
	L5 × L10	L2	5.50 a	80 a	84 a	2.56 a
	L2	L5 × L10	5.40 a	79 ab	83 a	2.57 a
		DMS	1167	2	3	0.36
H5	L3	L9 × L4	5.90 a	78 a	81 a	2.48 a
	L4 × L9	L3	5.80 a	78 a	81 a	2.51 a
	L9 × L4	L3	5.80 a	77 a	80 a	2.47 a
		DSH	1236	3	4	0.24

Medias con letra igual dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); DSH = diferencia significativa honesta. REND = rendimiento; FM = floración masculina; FF = floración femenina; AP = altura de planta; MB = mazorcas buenas.

Means followed by the same letter within a column are not statistically different (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); DSH = honest significant difference; REND = yield; FM = pollen shed date; FF = silking date; AP = plant height.

**Cuadro 4.1 Comparación de medias (Tukey) de genotipos (cruzas directas, recíprocas y alternativas) en híbridos trilineales de maíz, Valles Altos, P-V 2023.**  
**Table 4.1 Mean comparison (Tukey) of genotypes (direct, reciprocal, and alternative crosses) in three-way maize hybrids, High Valleys, S-S 2023.**

Híbrido	Progenitores		REND	FM	FF	AP
	Hembra	Macho	Mg ha <sup>-1</sup>	----- días -----		m
H6	L3	L10 × L5	6 a	78 a	82 a	2.62 a
	L10 × L5	L3	5.9 a	78 a	81 a	2.59 a
	L5 × L10	L3	5.5 a	80 a	84 a	2.52 a
	L3	L5 × L10	5.2 a	79 a	82 a	2.53 a
		DMS	1433	3	5	0.33
H7	L4 × L9	L7	6.2 a	78 ab	81 a	2.54 a
	L9 × L4	L7	5.6 ab	77 b	81 a	2.49 a
	L7	L9 × L4	4.9 b	80 a	83 a	2.64 a
		DMS	887	2	3	0.22
H8	L10 × L5	L7	6.1 a	77 a	80 a	2.63 a
	L7	L5 × L10	5.6 a	77 a	80 a	2.47 a
	L5 × L10	L7	5.5 a	77 a	79 a	2.67 a
	L7	L10 × L5	5.4 a	78 a	81 a	2.65 a
		DMS	1632	2	3	0.27
H9	L5 × L10	L8	6.4 a	80 a	83 a	2.65 a
	L8	L10 × L5	5.7 a	80 a	83 a	2.63 a
	L8	L5 × L10	5 a	80 a	83 a	2.59 a
		DMS	1486	3	2	0.25
H10	L4 × L9	L8	6.1 a	78 a	82 a	2.42 a
	L9 × L4	L8	6 a	79 a	83 a	2.48 a
	L8	L4 × L9	5.4 a	80 a	83 a	2.53 a
		DSH	1488	3	4	0.25

Medias con letra igual dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); DSH = diferencia significativa honesta. REND = rendimiento; FM = floración masculina; FF = floración femenina; AP = altura de planta; MB = mazorcas buenas.

Means followed by the same letter within a column are not statistically different (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); DSH = honest significant difference; REND = yield; FM = pollen shed date; FF = silking date; AP = plant height.

Previamente, se ha reportado que los efectos recíprocos en maíz pueden ser mínimos o insignificantes (Cockerham, 1963; Russell, 1972), atribuyéndose esto a la baja variabilidad de los caracteres evaluados o a limitaciones en la precisión experimental (Garwood, Weber, Lambert y Alexander, 1970; Mann, Pollmer y Klein, 1981). En el presente estudio, se detectaron diferencias significativas en el rendimiento entre las cruzas posibles para conformación del híbrido H7, en comparación con el resto de los híbridos conformados por diferentes órdenes de cruce, como se puede observar en el Cuadro 4 y en el Cuadro 4.1. El híbrido H7, donde la configuración (L4 × L9) × L7 superó significativamente a su recíproco L7 × (L9 × L4) (6.23 Mg ha<sup>-1</sup> vs. 4.94 Mg ha<sup>-1</sup>). Esta diferencia en productividad por efecto de diferente conformación de progenitores, sugiere que, en combinaciones genéticas particulares, el orden de los progenitores, específicamente la elección de la línea materna, puede influir en el rendimiento, estos resultados son respaldados por hallazgos previos sobre efectos recíprocos ligados a dominancia o interacciones epistáticas (Mann *et al.*, 1981; Tadeo-Robledo *et al.*, 2014).

En relación con los días a floración media masculina (FM) y floración media femenina (FF), se detectaron dos grupos entre los híbridos H4 y H7. No obstante, dichas diferencias no fueron agrónomicamente determinantes, ya que la FM se situó entre 77 y 80 días, mientras que la FF estuvo entre 79 y 84 días en ambos híbridos. De acuerdo a Virgen-Vargas *et al.* (2014), estos rangos confirman la ausencia de asincronía floral, ubicándose dentro de la categoría de floración intermedia. En los resultados de esta investigación, el 96% de los híbridos evaluados exhibieron un ciclo de floración intermedia, y el 4% restante fue clasificado como precoz-intermedio. Esto indica que los genotipos evaluados tuvieron una floración media masculina y femenina sincronizada, con un comportamiento fenológico consistente, lo que favorece la estabilidad productiva del cultivo (Espinosa-Calderón *et al.*, 1995).

Para la altura de planta (AP), se observaron diferencias estadísticamente significativas en el híbrido H2, en la crua (L5 × L10) × L1. Sin embargo, de acuerdo con Martínez-Gutiérrez *et al.* (2018) y Canales-Islas *et al.*, (2017), dichas diferencias no se tradujeron en un efecto significativo sobre el rendimiento. Estos resultados pueden atribuirse a las condiciones climáticas favorables durante el ciclo agrícola, al manejo agronómico adecuado y a la calidad genética de las semillas utilizadas.

Los híbridos evaluados presentaron un comportamiento consistente en términos de rendimiento, con excepción de H7, donde el orden de los progenitores influyó significativamente. Esto resalta la importancia de considerar no solo la selección de líneas parentales, sino también su disposición como hembra o macho en la conformación de híbridos. Además, la estabilidad observada en variables como floración sugiere que estos híbridos podrían adaptarse bien a condiciones de cultivo variables en la zona de Valles Altos de México, lo que es relevante para programas de mejoramiento genético orientados a la obtención de materiales de alto rendimiento y adaptabilidad.

## CONCLUSIONES

El estudio permite concluir que, para la mayoría de los híbridos evaluados, el orden de crua y las combinaciones parentales alternativas no constituyeron un factor determinante en su capacidad productiva. Lo que indica que la producción comercial de estos materiales podría realizarse con flexibilidad en la conformación de los progenitores, en función de su disponibilidad, lo que representa una ventaja operativa significativa.

Se identificó que, para genotipos específicos, la conformación parental (hembra/macho) sí demostró ser un factor influyente en el rendimiento. Este hallazgo resalta la importancia de evaluar caso por caso el efecto de las configuraciones alternativas para garantizar el máximo potencial productivo de cada híbrido en particular.

## DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

## CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

## DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

## FINANCIACIÓN

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la UNAM, por el financiamiento. Proyecto PAPIIT: IT200925 así como al Programa Institucional de Cátedras de Investigación PICI: CI2460

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: M.T.R. y K.Y.M.G. Metodología: A.E.C. Validación y análisis formal: M.T.R., A. E.C. y J.J.G.Z., Investigación: K.Y.M.G. Escritura, revisión y edición: K.Y.M.G., M.T.R. y A.E.C. Visualización: A.M.C., N.C.H. y E.I.C.I. Adquisición de fondos: M.T.R.

## AGRADECIMIENTOS

No aplicable.

## LITERATURA CITADA

- Alonso-Sánchez, H., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Zaragoza-Esparza, J., López-López, C. (2020). Productividad del agua y rendimiento de maíz bajo diferente disponibilidad de humedad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(5), 1005-1016. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i5.2118>
- Alonso-Sánchez, H., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Zaragoza-Esparza, J., López-López, C., Zamudio-González, B., ... & Mora-García, K. (2023). Efecto de la densidad de población y la fertilización sobre la productividad del agua y rendimientos de híbridos de maíz en el Valle de México. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-15. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1577>
- Canales-Islas, E. I., Tadeo-Robledo, M., Mejía-Contreras, J. A., García-Zavala, J. J., Espinosa-Calderón, A. (2017). Semilla fértil y androestéril de maíz bajo diferentes densidades de población. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), 465-473 <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.997>
- Cervantes-Ortiz, F., Hernández-Esparza, J., Rangel-Lucio, J. A., Andrio-Enríquez, E., Mendoza-Elos, M., Rodríguez-Pérez, G., & Guevara-Acevedo, L. P. (2016). Aptitud combinatoria general y específica en la calidad de semilla de líneas S3 de maíz. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 39(3), 259-268.
- Cockerham, C. C. (1963). *Estimation of genetics variances. In Statistical and Plant Breeding*. Ed. W. D. Hanson, & H. F. Robinson (Eds.). NAS-NRC proceedings Statistical Genetics and Plant Breeding (pp. 53-93). Washington, D.C., USA: National Research Council.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2023). *Estadísticas agrícolas de los Distritos de Temporal Tecnificado. Año agrícola 2022-2023*. Consultado el 20 de marzo, 2024, desde [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/989689/EADTT-2023-2024\\_6\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/989689/EADTT-2023-2024_6_.pdf)
- De la Cruz-Lázaro, E., Córdova-Orellana, H., Estrada-Botello, M., Mendoza-Palacios, J., Gómez-Vázquez, A., Brito-Manzano, N. (2009). Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. *Universidad y Ciencia*, 25(1), 93-98.
- Espinosa-Calderón, A., & Tadeo-Robledo, M. (1992). Producción de semilla del híbrido doble de maíz H-137 en respuesta a la fertilización y densidad de población. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 15(1), 1-1.
- Espinosa-Calderón, A., Sierra-Macías, M., & Gómez-Montiel, N. (2003). Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agronomía Mesoamericana*, 14(1), 117-121.
- Espinosa-Calderón, A., Tadeo-Robledo, M., Piña-del Valle, A. (1995). Estabilidad del rendimiento en híbridos de maíz por diferente orden de cruza en la producción de semilla. *Agronomía Mesoamericana*, 4(11), 98-103.
- Espinosa-Calderón, A., Tadeo-Robledo, M., & Turrent-Fernández, A. (2024). Propone presidenta electa Sheinbaum revivir Productora de Semillas. Consultada el 20 de abril, 2025, desde <https://piedepagina.mx/propone-presidenta-electa-sheinbaum-revivir-productora-de-semillas/>
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura) (2024). Panorama Agroalimentario. Maíz 2023. Consultada el 20 de febrero, 2025, desde [https://nube.agricultura.gob.mx/panorama\\_siap/](https://nube.agricultura.gob.mx/panorama_siap/)
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Distrito Federal, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- García-Salazar, J., & Ramírez-Jaspeado, R. (2014). El mercado de la semilla mejorada de maíz (*Zea mays* L.) en México: análisis del saldo comercial por entidad federativa. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 37(1), 69-77.
- Garwood, D. L., Weber, E. J., Lambert, R. J., & Alexander, D. E. (1970). Effect of different cytoplasms on oil, fatty acids, plant height, and ear height in maize (*Zea mays* L.) 1. *Crop Science*, 10(1), 39-41.
- Hernández-Galeno, C. del A., Ramírez-Díaz, J. L., Preciado-Ortiz, R. E., Gómez-Montiel, N. O., Aragón-Cuevas, F., Coutiño-Estrada, B. de J., ... & Cruz-Cruz, E. (2024). *Variedades e híbridos de maíz (Zea mays L.) del INIFAP*. Ciudad de México, México: INIFAP. ISBN: 978-607-37-1562-1
- Hernández-Martínez, R., Santacruz-Varela, A., Reyes-Méndez, C., López-Sánchez, H., Lobato-Ortiz, R., & Castillo-González, F. (2024). Desarrollo de híbridos de maíz de cruza simple con diferentes estrategias de selección de progenitores: Métodos genotécnicos en maíz. *Revista Bio Ciencias*, 11, 1-16. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1607>
- Hosseini, S. M. S., Shiri, M., Mostafavi, K., Mohammadi, A., & Miri, S. M. (2025). Genetic analysis and association detection of agronomic traits in maize genotypes. *Scientific Reports*, 15(1), 399. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84471-4>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2023). Superficie sembrada o plantada por cultivo producido a cielo abierto. Consultada el 20 de febrero, 2025, desde [www.inegi.org.mx/temas/agricultura/](http://www.inegi.org.mx/temas/agricultura/)
- López-Torres, B. J., Rendón-Medel, R., & Camacho-Villa, T. C. (2016). La comercialización de los maíces de especialidad en México: condiciones actuales y perspectivas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(15), 3075-3088.
- López-López, C., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., García-Zavala, J., Benítez-Riquelme, I., Vázquez-Carrillo, M. G., & Carrillo-Salazar, J. A. (2017). Productividad de cruza simple de maíz con calidad de proteína en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(3), 559-570.
- López-López, C., Tadeo-Robledo, M., García-Zavala, J. J., Espinosa-Calderón, A., & Mejía-Contreras, J. A. (2021). Aptitud combinatoria general y específica de híbridos varietales de maíz amarillo de baja endogamia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(4), 699-711. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2786>
- Martínez-Gutiérrez, A., Zamudio-González, B., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Cardoso-Galvão, J., Vázquez-Carrillo, G., & Turrent-Fernández, A. (2018). Rendimiento de híbridos de maíz grano blanco en cinco localidades de Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(7), 1447-1458. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.1357>
- Mann, C. E., Pollmer, W., & Klein, D. (1981). Magnitude and stability over environments of reciprocal-cross differences in maize hybrids and their implication on maize breeding. *Maydica*, 26, 20-27.

- Ramírez-Jaspeado, R., García-Salazar, J., García-Mata, R., Garza-Bueno, L., Escalona-Maurice, M., & Portillo-Vásquez, M. (2020). Determinación de las regiones más competitivas de maíz en el estado de México en función de la producción potencial. *Interciencia*, 45(3), 150-157.
- Russell, W. (1972). Effects of exotic cytoplasm on agronomic characters of two maize inbred lines. *Iowa State Journal of Research*, 47(2), 141-147.
- Sánchez-Ramírez, F. J., Mendoza-Castillo, M., & Mendoza-Mendoza, C. G. (2016). Estabilidad fenotípica de cruza simples e híbridos comerciales de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(3), 269-275.
- SAS Institute (2002). *Statistical Analysis System. User's Guide. Release 9.0*. Cary, NC, USA: SAS Institute, Inc.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2025). Producción mensual agrícola de México. Consultada el 20 de febrero, 2025, desde [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/ResumenProducto.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do)
- SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas) (2024). Producción de semilla calificada por el SNICS. Consultada el 13 de marzo, 2025, desde [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/869470/BOLETIN-OCTUBRE\\_READY.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/869470/BOLETIN-OCTUBRE_READY.pdf)
- Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Turrent-Fernández, A., Zamudio-González, B., Valdivia-Bernal, R., & Andrés-Meza, P. (2014). Productividad de grano de cuatro híbridos trilineales de maíz en versión androesteril y fértil. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 45-52.
- Tadeo-Robledo, M., Carballo-Carballo, A., Molina-Galán, J. D., Hernández-Livera, A. (1991). Producción de semillas en híbridos de maíz con problemas de sincronía en la floración de sus progenitores. *Agrociencia*, 15(2) 40-44.
- Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Martínez-Mendoza, R., Srinivasan, G., Beck, D., Lothrop, J., ... & Azpíroz-Rivero, S. (2004). Puma 1075 y puma 1076, híbridos de maíz de temporal para los valles altos de México (2200 a 2600 msnm). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(2), 211-212.
- Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., García-Zavala, J. J., Lobato-Ortiz, R., Gómez-Montiel, N. O., Sierra-Macías, M., ... & Alcántar-Lugo, H. J. (2016). Tsiri puma, híbrido de maíz para valles altos con esquema de androesterilidad para producción de semillas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(3), 331-333. <https://doi.org/10.35196/rfm.2016.3.331-333>
- Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Zaragoza-Esparza, J., López-López, C., Canales-Islas, E. I., Zamudio-González, B., ... & Cárdenas-Marcelo, A. L. (2021). Tlaoli Puma, híbrido de maíz para grano y forraje con androesterilidad y restauración de la fertilidad masculina. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(2), 265-267. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.2.265>
- Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Guzmán-Máximo, R., Turrent-Fernández, A., Zaragoza-Esparza, J., & Virgen-Vargas, J. (2015). Productividad de híbridos varietales de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1), 66-72.
- Velasco-García, Á., García-Zavala, J., Sahagún-Castellanos, J., Lobato-Ortiz, R., Sánchez-Abarca, C., & Marín-Montes, I. (2019). Rendimiento, componentes de rendimiento y heterosis de germoplasma de maíz adaptado a Valles Altos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(4), 367-374.
- Velasco-Macias, S., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Zaragoza-Esparza, J., Canales-Islas, E., & Coutiño-Estrada, B. (2022). Rendimiento de grano, forraje y calidad forrajera de nuevos híbridos de maíz de Valles Altos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(1), 77-87. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i1.2398>
- Virgen-Vargas, J., Zepeda-Bautista, R., Avila-Perches, M. A., Espinosa-Calderón, A., Arellano-Vázquez, J. L., & Gámez-Vázquez, A. J. (2014). Producción de semilla de líneas progenitoras de maíz: densidad de población e interacción. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2), 323-335.
- Virgen-Vargas, J., Zepeda-Bautista, R., Avila-Perches, M. A., Espinosa-Calderón, A., Arellano-Vázquez, J. L., & Gámez-Vázquez, A. J. (2016). Producción y calidad de semilla de maíz en Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana*, 27(1), 191-206. <https://doi.org/10.15517/am.v27i1.21899>