

## Respuesta de Híbridos de Maíz a Tres Densidades de Población, en Dos Localidades de Valles Altos de México Response of Maize Hybrids at Three Population Densities, in Two Locations in the High Valleys of Mexico

Gerardo Miriel Mejía-Diego<sup>1</sup> , Margarita Tadeo-Robledo<sup>1</sup> ,  
Francisco Sebastián Martínez-Díaz<sup>1</sup> , Alejandro Espinosa-Calderón<sup>2</sup> ,  
Antonio Turrent-Fernández<sup>2</sup> , Benjamín Zamudio-González<sup>2</sup> y Consuelo López-López<sup>1†</sup>

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

<sup>†</sup> Autora para correspondencia: lopez.con@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México. Carretera Los Reyes - Texcoco km 13.5, Coatlinchán. 56250, Texcoco, Estado de México, México; (A.T.F.), (A.E.C.), (B.Z.G.).

### RESUMEN

En los Valles Altos del Centro de México (2200 a 2600 m de altitud), es necesario evaluar variedades e híbridos experimentales y comerciales de maíz y definir las más productivas, para recomendar opciones a las y los productores. La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), han registrado y liberado híbridos y variedades de maíz. El objetivo de esta investigación fue determinar la producción de grano de maíz blanco de cinco híbridos de UNAM y de INIFAP, en tres densidades de población en dos localidades de Valles Altos de México. Se establecieron ensayos en localidades del estado de México, en Cuautitlán Izcalli y San Mateo, municipio de Amanalco, durante el ciclo primavera-verano 2022. Se realizó un análisis de varianza combinado. Las fuentes de variación fueron ambientes, genotipos, densidades de población, y sus interacciones. Los resultados mostraron rendimientos estadísticamente similares. Los cinco híbridos evaluados en los dos ambientes y bajo las tres densidades de población, mostraron diferencias estadísticamente significativas en sus rendimientos. Sin embargo, para los genotipos y condiciones ambientales de ambas localidades, se recomienda usar las densidades de población de 50 y 70 mil plantas por hectárea. Los genotipos evaluados representan una alternativa para aumentar la producción del grano blanco de maíz de las y los productores del Estado de México.

**Palabras Clave:** *H 50, Inifap, rendimiento de grano, Unam, Zea mays L.*

### SUMMARY

In the High Valleys of Central Mexico (2200–2600 m altitude), it is necessary to evaluate maize varieties and identify the most productive ones in order to recommend suitable options to producers. The Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) and the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) have registered and released several maize hybrids and varieties. The objective of this research was to determine the grain yield of five white maize hybrids developed by UNAM and INIFAP under three plant population densities in two localities of the High Valleys of Mexico. Trials were established in localities of the State of Mexico, specifically in Cuautitlán Izcalli and San Mateo, municipality of Amanalco, during the spring-summer 2022 growing season. Variables associated with productivity were evaluated for each hybrid. A combined analysis of variance



#### Cita recomendada:

Mejía-Diego, G. M., Tadeo-Robledo, M., Martínez-Díaz, F. S., Espinosa-Calderón, A., Turrent-Fernández, A., Zamudio-González, B., & López-López, C. (2026). Respuesta de Híbridos de Maíz a Tres Densidades de Población, en Dos Localidades de Valles Altos de México. *Terra Latinoamericana*, 44, 1-10. e2401. <https://doi.org/10.28940/terralatinoamericana.v44i.2401>

Recibido: 21 de agosto de 2025.

Aceptado: 10 de enero de 2026.

Artículo. Volumen 44.

Mayo de 2026.

Editor de Sección:

Dr. Porfirio Juárez López

Editor Técnico:

Dr. Gerardo Cruz Flores



**Copyright:** © 2026 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/>).

was performed considering environments, genotypes (G), population densities, and their interactions as sources of variation. The results showed statistically significant differences in grain yield among the five hybrids evaluated across the two environments and three population densities. For the genotypes and environmental conditions evaluated in both localities, population densities of 50 000 and 70 000 plants ha<sup>-1</sup> are recommended. The evaluated genotypes represent a viable alternative for increasing white maize production among producers in the State of Mexico.

**Index words:** *H 50, Inifap, grain yield, Unam, Zea mays L.*

## INTRODUCCIÓN

Para México, el maíz es un pilar de la alimentación. En el país se consumen diariamente alrededor de 300 millones de tortillas, lo que equivale a un promedio de casi tres tortillas por persona. Para este consumo se requieren aproximadamente 14 millones de toneladas de maíz blanco; sin embargo, la producción nacional alcanza 24 millones de toneladas, cantidad suficiente para cubrir la demanda alimentaria (SADER, 2020). No obstante, a pesar de esta disponibilidad, el país importa principalmente maíz amarillo para satisfacer la demanda del sector pecuario y, en menor volumen, maíz blanco. El maíz de grano amarillo resulta ser genéticamente modificado (GM), considerando que en los países de origen donde se produce, su siembra se realiza con semillas GM. En 2020 y 2023 se emitieron decretos presidenciales (SEGOB, 2020; SEGOB, 2023). Además, se incorporaron reformas y adiciones a los artículos 4o. y 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, las cuales establecen que el cultivo de maíz en el territorio nacional debe ser libre de modificaciones genéticas producidas mediante técnicas que superen las barreras naturales de la reproducción o la recombinación, como las transgénicas (SEGOB, 2025).

En este sentido, se refuerza la necesidad de que las tortillas en México no deben elaborarse con grano de maíces GM, es decir se limita la utilización de grano de maíz transgénico en la alimentación directa de la población, así como el uso de las semillas GM de maíz y de glifosato en la agricultura. Para ello, el gobierno de México trabaja para lograr la autosuficiencia en la producción total aparente del grano (45 millones de toneladas). Este volumen podría producirse, fortaleciendo la producción de auto-abastecimiento, la agricultura tradicional, además de aprovechar superficies ganaderas con el proyecto "Granos del sur", con el cual se aportarían 16 millones de toneladas de grano amarillo, en el ciclo de otoño invierno en el sur sureste de México, y se avanzaría hacia alcanzar la suficiencia y soberanía alimentaria. Para lo anterior, se necesita abastecer de semillas mejoradas y nativas mexicanas de grano de color blanco y amarillo, que coadyuven a la sostenibilidad y productividad del cultivo de maíz (Perea, 2023; Wise, 2023).

En la región de los Valles Altos del centro de México, ubicada entre 2200 y 2600 m de altitud, que comprende los estados de Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Querétaro, Michoacán, Morelos, Estado de México y la Ciudad de México (SIAP, 2022), es necesario evaluar germoplasma de variedades de maíz para definir aquellas más productivas bajo diferentes ambientes, y de esta manera recomendar las mejores opciones que expresen las mejores respuestas diferenciadas, frente a condiciones ambientales y edáficas distintas, para el beneficio de las y los productores (Martínez-Gutiérrez, *et al.*, 2018).

En la producción de maíz y demás cultivos, inciden diversos factores que la limitan, pero sin duda, la semilla es el insumo más importante de todos, debido a que de ella depende hasta 60% del éxito o fracaso en la productividad de una parcela. Entre los tipos de variedades en maíz (variedad nativa, mejorada, sintética, híbridos varietales, híbridos simples, híbridos trilineales, híbridos dobles, variedades no convencionales, etc.), el tipo de variedad y la calidad de la semilla, repercuten en un bajo rendimiento del cultivo, por lo que es indispensable buscar alternativas para aumentarlo. Cada una de las variedades mejoradas o nativas, expresan su potencial productivo en las condiciones en las que fueron desarrolladas y representan una oportunidad para incrementar esta productividad (Sierra-Macías *et al.*, 2016).

Uno de los factores que contribuyen directamente en el rendimiento del grano de maíz es la densidad de población, la cual está determinada por la densidad de siembra y es una de las decisiones más complejas a las que se enfrentan las y los agricultores al momento de planear y establecer un cultivo, debido a que repercute en el desarrollo de las plantas y en el rendimiento de estas. Los cambios que se manifiestan cuando se manipulan las densidades, puede explicarse en una parábola, donde al inicio puede encontrarse una baja producción, respondiendo a un número limitado de plantas. Por el contrario, mediante el uso de densidades altas u óptimas

se puede obtener una mayor producción de biomasa por unidad de superficie (Saenz *et al.*, 2025). En densidades de siembra muy altas, en consecuencia, se vuelve a encontrar un bajo rendimiento el cual es explicado por el estrés de la alta densidad, así como por la competencia por luz solar, humedad, nutrientes y suelo, durante el periodo crítico de formación de los granos (Abuzar *et al.*, 2011; Mansfield y Mumnn, 2014).

La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), han trabajado en el mejoramiento genético y semillas de maíz, desde 1992. Producto de esta actividad, estas Instituciones, han podido registrar y liberar de manera continua, híbridos y variedades de grano blanco, amarillo, palomeros, los cuales, con sus características específicas y favorables rendimientos potenciales que representan alternativas para elevar la producción en los Valles Altos de México (Tadeo-Robledo y Espinosa-Calderón, 2004; Tadeo-Robledo *et al.*, 2016).

Esta investigación tuvo como objetivo seleccionar genotipos que pueden representar una alternativa para obtener altos volúmenes de producción para el Estado de México, así como recomendar la mejor densidad de población de maíz blanco.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó, en el ciclo primavera verano 2022, en dos localidades del Estado de México, la primera en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC-UNAM), situada en el municipio de Cuautitlán Izcalli, ubicado a 19° 4' N y 99° 11' O, a una altitud de 2274 m. En esta localidad el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, el promedio anual de la temperatura es de 15.4 °C, la máxima es de 24 °C y la mínima de 6.8 °C, mientras que el promedio anual de precipitación es de 641.7 mm (Mercado-Mancera, Granados-Mayorga, y Navejas-Jiménez, 2021). El suelo es de tipo vertisol, con textura fina y arcillosa (López *et al.*, 2017). De acuerdo con Sotelo-Ruiz, Cruz, González y Flores, 2020 con estos suelos son muy productivos a nivel estatal, aunque necesitan riego para explotar todo su potencial productivo

La segunda localidad ubicada en la parte occidental del estado de México en el municipio de Amanalco de Becerra, en la localidad de San Mateo, ubicado a 19° 15' N y 99° 95' O, a una altitud de 2340 m. En esta localidad el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura media anual es de 13.4 °C, con una máxima de 29.7 °C y una mínima de 0.5 °C; mientras que la precipitación anual promedio es de 1155.9 mm (Gobierno del Estado de México, 2024). Sotelo-Ruiz *et al.*, 2020, mencionan que el suelo en el municipio es de tipo andosol, en comparación con el suelo vertisol, son menos fértiles, con altos contenidos de aluminio.

### Material Genético

En el experimento se utilizaron cinco genotipos de maíz de grano blanco, por parte de INIFAP se utilizaron H 55 AE (híbrido experimental), H 49 AE y H-50 (comerciales) (Hernández-Galeno *et al.*, 2023), mientras que de la UNAM, los genotipos fueron, Atziri Puma (comercial) y Centli Puma (experimental) (Tadeo-Robledo *et al.*, 2022), todos los genotipos se evaluaron en los dos ambientes bajo tres densidades de población 55 000, 70 000 y 80 000 plantas por hectárea ( $p\ ha^{-1}$ ) durante el ciclo primavera-verano 2022.

### Diseño Experimental

El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones en dos localidades, teniendo un total de 120 unidades experimentales. Cada unidad experimental consistió en un surco de 5 m de largo por 0.80 m de ancho.

### Manejo Agronómico

Se dio un paso de aradura, rastreo y surcado; posteriormente la siembra se llevó a cabo el 24 de mayo la localidad de San Mateo, municipio de Amanalco, mientras que en la FESC-UNAM el 14 de junio. En Amanalco, la precipitación durante el temporal (junio a octubre) fue de 515.74 mm (CONAGUA, 2026a), mientras que en Cuautitlán fue de 360.6 mm (CONAGUA, 2026b). Se realizó la eliminación de arvenses, fertilización, aporque, control de plagas y enfermedades y monitoreo general para verificar el correcto desarrollo del cultivo. Para delimitar las densidades de población, se procedió a realizar un aclareo para ajustar las densidades.

## Variables de Estudio

En cada ensayo se consideraron las variables de rendimiento de grano ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), floración masculina y femenina (días), altura de planta y de la mazorca (cm) y peso volumétrico ( $\text{kg hL}^{-1}$ ). La cosecha en ambas localidades se realizó de manera manual. El rendimiento del grano se obtuvo a partir de la siguiente fórmula:  $R = (P.C. \times \%M.S. \times \%G \times F.C.) / 8600$ . Donde: P.C., es el Peso en campo, el cual consistió en pesar el total de mazorcas por parcela inmediatamente después de ser cosechadas; %M.S., Porcentaje de materia seca, calculado a partir del porcentaje de humedad de la muestra de grano de cinco mazorcas; %G, Porcentaje de grano, se obtuvo del cociente del peso de la muestra de cinco mazorcas sin olote y el peso de la muestra de las cinco mazorcas con olote, multiplicado por 100; F.C., factor de conversión para obtener rendimiento por hectárea, se obtuvo al dividir  $10\,000\text{ m}^2$  entre el tamaño de la parcela útil en  $\text{m}^2$ ; 8600, es una constante para estimar el rendimiento con una humedad comercial de 14%.

## Análisis Estadístico de Datos

Los datos de cada localidad se sometieron a un análisis de varianza, posteriormente se realizó un análisis combinado. Las fuentes de variación fueron ambientes (A), genotipos (G), densidades de población (DP), bloques, y sus interacciones,  $A \times G$ ,  $A \times DP$ ,  $G \times DP$  y  $G \times DP \times A$ . Se utilizó el programa estadístico SAS Institute Inc. (2018), versión 9.4, y los valores medios de cada variable se compararon con la prueba de Tukey con una probabilidad de error del 0.05.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza combinado detectaron que los ambientes produjeron respuestas con diferencias altamente significativas en todas las variables, a excepción del rendimiento del grano y peso volumétrico. Los genotipos presentaron respuesta significativa en la altura de mazorca y peso volumétrico; el factor densidad de población mostró efecto significativo en todas las variables, con excepción de edad en días de la floración masculina, altura de mazorca y porcentaje de grano. La interacción ambiente por genotipo mostró efecto significativo sobre rendimiento y edad de floración femenina; la interacción densidad de población por ambiente generó efecto altamente significativo para floración femenina y efecto significativo para peso volumétrico. Con respecto a la interacción genotipo por ambiente, éste mostró efecto altamente significativo en peso volumétrico, mientras que la última interacción  $G \times DP \times A$  presentó significancia en la altura de planta. Los coeficientes de variación oscilaron entre 1.3 y 18.2% (Cuadro 1).

El rendimiento promedio que se obtuvo en ambas localidades, en 2022, en condiciones de temporal fue de  $3.86\text{ Mg ha}^{-1}$  de grano de maíz, y puede incrementarse mediante el uso de semillas mejoradas. La media del rendimiento del grano en esta investigación fue de  $7.9\text{ Mg ha}^{-1}$ , valor superior comparado con lo registrado en el SIAP (2023).

En el Cuadro 2 se muestra que en la FESC-UNAM se presentaron en promedio, alrededor de siete días menos a floración masculina y nueve días menos de floración femenina que, en San Mateo Amanalco, manifestándose un comportamiento más precoz en la primera localidad. Para la altura de mazorca, se encontró que en la primera localidad la media fue de 85 cm, mientras que para San Mateo fue de 119 cm. Las diferencias encontradas pueden responder al diferencial que existe en las condiciones ambientales entre ambas localidades, pues presentan diferencias en suelo, precipitación y altitud, generando gradientes de temperatura y humedad que pueden afectar el comportamiento de los genotipos, no obstante, en ambos ambientes los genotipos se expresaron favorablemente, tomando en cuenta el rendimiento de grano obtenido.

En el Cuadro 3, se observa que en la variable rendimiento, aun cuando no existe diferencia significativa entre genotipos, sí existe diferencia numérica, lo cual, desde los elementos para elegir a un genotipo, desde la perspectiva de las y los productores, esta relevante, teniendo en cuenta que es la principal característica que se busca al momento de elegir qué semilla sembrar (González-Huerta *et al.*, 2009). El mayor rendimiento lo obtuvo el híbrido experimental H 55 AE con un rendimiento de  $8.25\text{ Mg ha}^{-1}$ , en segundo lugar el genotipo H-50, con un rendimiento promedio de  $8.21\text{ Mg ha}^{-1}$ , seguido del material Atziri Puma liberado recientemente por la UNAM (Tadeo-Robledo *et al.*, 2022), con un promedio de  $8.11\text{ Mg ha}^{-1}$ ; el híbrido Centli Puma, también desarrollado por la Universidad, aun en condición experimental, presentó un rendimiento de  $7.68\text{ Mg ha}^{-1}$  y finalmente el híbrido experimental H49 AE (Espinosa-Calderón *et al.*, 2022), que tuvo una productividad de  $7.26\text{ Mg ha}^{-1}$ .

**Cuadro 1. Cuadrados medios de híbridos de maíz blanco en tres densidades de población, durante primavera-verano 2022.**  
**Table 1. Mean squares of white maize hybrids in three population densities during spring-summer 2022.**

Variables	Fuentes de variación								C.V. (%)
	Genotipo (G)	Densidad (D)	Ambiente (A)	A×G	A×DP	G×DP	G×DP×A	Media	
Rendimiento, Mg ha <sup>-1</sup>	4.29	6.55*	0.04	5.5*	5.7	0.89	0.83	7.9	18.2
Floración masculina, días	1.4	0.008	1470**	1.6	0.52	0.9	1.8	82	1.3
Floración femenina, días	4.7	13.8*	2297**	11.3*	17.7**	2.7	4.03	85	2.1
Altura de planta, cm	45.2	595*	97675**	487.9	292.1	75.1	2.7*	215	5.5
Altura de mazorca, cm	344.4*	223.05	36167.8**	181.5	284	90.4	1.6	102	11.0
Peso volumétrico, kg hL <sup>-1</sup>	19.1*	20.05*	18.5	10.1	25.1*	15.5**	1.5	76.9	3.03
Porcentaje de grano, %	4.9	1.23	34.24**	2.6	7.5	3.8	0.22	86.2	1.9

\*  $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$ ; C.V. = coeficiente de variación.\*  $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$ ; C.V. = coefficient of variation.

El híbrido H-50 fue liberado por el INIFAP en 1999 (Espinosa-Calderón *et al.*, 2003). Ha tenido, a partir de su registro y liberación más de 20 años de uso comercial, en los cuales ha sido el maíz mejorado de mayor uso en los Valles Altos de México (2200 a 2600 m de altitud), en donde, mediante el uso de se ha incrementado la producción, por lo cual ha sido producida y difundida por 34 empresas semilleras de pequeña y mediana escala (Espinosa-Calderón *et al.*, 2003) y, aun cuando ya es de dominio público, supera en rendimiento al H49 AE (13%) y a Centli Puma (6.9%). Lo anterior se puede atribuir a su conformación genética, en la que el híbrido de cruce doble H-50 tiene genes de la colecta Michoacán 21, que se ha destacado en otras investigaciones por expresar latencia, comportamiento denominado a plantas de maíz que se derivaron de dicha colecta y cuya importancia recae a la presencia de sequía extrema en el mes de agosto, tiempo que coincide con la época de floración de los maíces, en la cual, el rendimiento se puede abatir por efectos de la sequía, según Palacios-Rangel y Ocampo-Ledesma, (2018<sup>1</sup>).

Con respecto al peso volumétrico, todos los genotipos expresaron un peso ligeramente mayor a 74 kg hL<sup>-1</sup>, valor mínimo que se toma como referencia para la elaboración de tortillas de maíz y productos nixtamalizados de calidad comercial, con base a la norma mexicana "NMX-FF-034/1-SCFI-2002" y, en esta investigación, los genotipos cumplen con ese criterio (Secretaría de Economía, 2002). Es importante mencionar que los híbridos comerciales en el proceso previo a su liberación fueron evaluados para identificar su potencial en la elaboración de tortilla y mostraron dicha calidad (Espinosa-Calderón *et al.*, 2003; Espinosa-Calderón *et al.*, 2022; Tadeo-Robledo *et al.*, 2022).

**Cuadro 2. Comparación de medias de las variables agronómicas de híbridos de maíz blanco de la UNAM e INIFAP, en dos ambientes, primavera-verano 2022.****Table 2. Mean comparison of the agronomic variables of white maize hybrids from UNAM and INIFAP, in two environments, spring-summer 2022.**

Variables	Ambientes		D.S.H.
	FESC-UNAM	San Mateo	
Rendimiento, Mg ha <sup>-1</sup>	7.92 a	7.88 a	0.52
Floración masculina, días	78 b	85 a	0.4
Floración femenina, días	81 b	90 a	0.66
Altura de planta, cm	186 b	244 a	4.27
Altura de mazorca, cm	85 b	119 a	4.07
Peso volumétrico, kg hL <sup>-1</sup>	77 a	76 a	0.85
Porcentaje de grano, %	59 b	62 a	2.3

<sup>†</sup> Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, Tukey,  $p \leq 0.05$ ; DHS: diferencia significativa honesta.<sup>†</sup> Distinct letter in the same column indicate significant differences, Tukey test  $p \leq 0.05$ ; HSD: Honest significant difference.<sup>1</sup> Palacios-Rangel, M. I., & Ocampo-Ledesma, J. G. (2018). *Mejoramiento del maíz en México*. Tesis para obtener el grado Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma Chapingo. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM). Disponible en <https://ciestaam.edu.mx/publicaciones2018/tesis/gilberto-palacios-de-la-rosa.pdf>

**Cuadro 3. Comparación de medias de las variables agronómicas de los híbridos de maíz blanco, para genotipos, durante primavera-verano 2022.****Table 3. Mean comparison of the agronomic variables of white maize hybrids from UNAM and INIFAP, from genotypes, during spring-summer 2022.**

Variables	Genotipos				
	H 55 AE	H 49 AE	Atziri Puma	Centli Puma	H-50
Rendimiento, Mg ha <sup>-1</sup>	8.25 a	7.26 a	8.11 a	7.68 a	8.21 a
Floración masculina, días	82 a	82 a	82 a	82 a	82 a
Floración femenina, días	85 a	85 a	86 a	85 a	85 a
Altura de planta, cm	215 a	213 a	217 a	214 a	216 a
Altura de mazorca, cm	104 ab	97 b	100 ab	102 ab	107 a
Peso volumétrico, kg hL <sup>-1</sup>	78 a	77 ab	78 a	77 ab	76 b
Porcentaje de grano, %	86.3 a	85.9 a	85.6 a	86.2 a	86.8 a

† Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, Tukey,  $p \leq 0.05$ .

† Distinct letter in the same column indicate significant differences, Tukey test  $p \leq 0.05$ .

En la comparación de medias para las densidades de población (Cuadro 4), el mayor rendimiento se obtuvo con la densidad de 70 000 p ha<sup>-1</sup>, con un promedio de 8.19 Mg ha<sup>-1</sup>, en segundo lugar, la densidad de 55 000 p ha<sup>-1</sup>, con una media de 8.08 Mg ha<sup>-1</sup> y en tercer lugar la densidad de 85 000 p ha<sup>-1</sup> con un promedio de 7.44 Mg ha<sup>-1</sup>. Aun cuando no se detectó diferencias estadísticas, los resultados indican que con densidades de población en maíz de 70 000 y 55 000 p ha<sup>-1</sup>, la productividad de grano es muy similar. Estas densidades son muy cercanas a las que Quiroz-Mercado *et al.*, (2017), refieren como las densidades comerciales más utilizadas en el centro del estado de México para maíces criollos e híbridos destinados a la producción de grano, que van de 50 000 a 75 000 p ha<sup>-1</sup>.

En el Cuadro 5 se muestra que para la floración femenina de los genotipos en el ambiente de San Mateo no mostraron diferencias estadísticas significativas, pues todos los genotipos se ubicaron en un mismo grupo de significancia que va de los 89 a 90 días. En cambio, en el ambiente de la FESC-UNAM los genotipos tuvieron comportamientos diferentes que fueron desde los 79 hasta los 82 día, indicando una diferencia en los días a floración femenina para los genotipos en ambos ambientes, comportándose de manera precoz en la FESC-UNAM tal como fue reportado por Alonso-Sánchez *et al.* (2023). Esta expresión, se puede atribuir al diferencial de precipitación y temperatura presentan entre las localidades, y, aunque una mayor cantidad de precipitación representa llega a representar una ventaja al permitir al cultivo poder completar su ciclo (Espinosa-Calderón *et al.*, 2013), la limitante hídrica, también permite la precocidad del cultivo.

**Cuadro 4. Comparación de medias de las variables agronómicas de los híbridos de maíz blanco, para tres densidades de población, durante primavera-verano 2022.****Table 4. Mean comparison of the agronomic variables of white maize hybrids from UNAM and INIFAP, from three population densities, during spring-summer 2022.**

Variables	Densidad de población (p ha <sup>-1</sup> )			D.S.H.
	55 000	70 000	85 000	
Rendimiento, Mg ha <sup>-1</sup>	8.08 a	8.19 a	7.44 a	0.76
Floración masculina, días	82 a	82 a	82 a	0.59
Floración femenina, días	85 b	85 ab	86 a	0.97
Altura de planta, cm	216 ab	218 a	211 b	6.28
Altura de mazorca, cm	101 a	105 a	100 a	5.98
Peso volumétrico, kg hL <sup>-1</sup>	77.20 ab	77.42 a	76.10 b	1.24

† Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas, Tukey,  $p \leq 0.05$ ; DHS: diferencia significativa honesta.

† Distinct letters in the same row indicate significant differences, Tukey test  $p \leq 0.05$ ; HSD: Honest significant difference.

**Cuadro 5. Comparación de medias para floración femenina de la interacción genotipo x ambiente.**  
**Table 5. Mean comparison for female flowering of the genotype x environment interaction.**

Genotipo	Floración femenina	Rendimiento
	Días	Mg ha <sup>-1</sup>
FESC-UNAM		
H 55 AE	79 c	8.38 a
H 49 AE	80 bc	6.80 a
Atziri Puma	82 b	8.60 a
Centli Puma	82 bc	7.18 a
H-50	81 bc	8.65 a
San Mateo		
H 55 AE	90 a	8.13 a
H 49 AE	90 a	7.73 a
Atziri Puma	90 a	7.62 a
Centli Puma	89 a	8.19 a
H-50	89 a	7.76 a

† Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, Tukey,  $p \leq 0.05$ .

† Distinct letter in the same column indicate significant differences, Tukey test  $p \leq 0.05$ .

Respecto a la interacción densidad de población x ambiente (Cuadro 6), la variable floración femenina fue estadísticamente diferente entre localidades. En San Mateo esta variable se ubicó en un grupo de significancia para las tres densidades, mientras que en la FESC-UNAM se agrupó en dos, siendo la densidad de 55 000 p ha<sup>-1</sup>, donde se presentó el menor promedio, 79 días después de la siembra. Se ha documentado que, en l densidades de población altas, el valor promedio del coeficiente de atenuación de luz es mayor, lo que indica que una mayor cantidad de luz es interceptada y permanece en el estrato superior, causando un mayor sombreado en los estratos medios e inferiores, alargando el periodo de floración (Morales-Ruiz *et al.*, 2014). Para el peso volumétrico, se presentó diferencia estadística. Se conformaron dos grupos de significancia entre localidades y densidades. Este comportamiento es semejante al obtenido por Quiroz-Mercado *et al.* (2017), con valores de peso volumétrico y densidades de población similares, es decir, 77 y 78 kg hL<sup>-1</sup>, bajo densidades de 78 125 pl ha<sup>-1</sup> y 62 500 pl ha<sup>-1</sup>, respectivamente, en comparación a los valores expresados en estas variables en Amanalco y Cuautitlán.

Para el genotipo Centli Puma se definieron tres grupos de significancia. A diferencia de los otros genotipos, en este híbrido el rango obtenido del peso volumétrico presentó mayor variabilidad con medias que se expresaron en 74 a 79 kg hL<sup>-1</sup>. En este genotipo, el peso volumétrico fue mínimo cuando la densidad de población incrementó a 30 000 p ha<sup>-1</sup> respecto a las 55 000 p ha<sup>-1</sup>. Lo anterior coincide con lo reportado Rodríguez-Flores, González-Huerta, Pérez-López, y Rubí-Arriaga, (2015), quienes señalan que la respuesta al incremento en la densidad de población depende del tipo de cultivar, de los sitios de evaluación y de su interacción. En este sentido, se debe resaltar que, a mayor densidad de población por hectárea, se incrementa la competencia entre plantas por luz, agua y nutrientes y disminuye el rendimiento y esta variable está estrechamente relacionado con el peso volumétrico al estimularse la dominancia apical, la esterilidad femenina y al reducir las mazorcas y los granos por planta (Cuadro 7).

**Cuadro 6. Comparación de medias para floración femenina, peso volumétrico en la interacción densidad de población x ambiente.**  
**Table 6. Mean comparison for female flowering, volumetric weight of the population densities x environment interaction.**

Ambiente	Densidad de población (p ha <sup>-1</sup> )	Floración femenina	Peso volumétrico
		Días	(kg hL <sup>-1</sup> )
FESC-UNAM	55 000	79 c	78 a
	70 000	81 bc	78 a
	85 000	82 b	76 b
San Mateo	55 000	90 a	76 b
	70 000	88 a	77 a
	85 000	90 a	77 a

† Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, Tukey,  $p \leq 0.05$ .

† Distinct letter in the same column indicate significant differences, Tukey test  $p \leq 0.05$ .

**Cuadro 7. Comparación de medias para peso volumétrico en la interacción genotipo x densidad de población.**  
**Table 7. Mean comparison for volumetric weight of the population densities x environment interaction.**

Densidad de población (p ha <sup>-1</sup> )	H 55 AE	H 49 AE	Atziri Puma	Centli Puma	H-50
	Peso volumétrico (kg hL <sup>-1</sup> )				
55 000	78 a	78 a	77 ab	77 ab	75 ab
70 000	77 ab	78 a	78 a	79 a	75 ab
85 000	78 a	75 ab	78 a	74 b	76 ab

<sup>†</sup> Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, Tukey,  $p \leq 0.05$ .

<sup>†</sup> Distinct letter in the same column indicate significant differences, Tukey test  $p \leq 0.05$ .

## CONCLUSIONES

Los cinco híbridos evaluados en los dos ambientes y bajo las tres densidades de población mostraron rendimientos similares estadísticamente. Para los genotipos y condiciones ambientales de ambas localidades, se recomienda usar las densidades de población de 50 000 a 70 000 plantas por hectárea. Estos maíces mejorados son alternativas para aumentar la producción del grano blanco de maíz de las y los productores de Amanalco y Cuautitlán, Estado de México.

## DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

## CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

## DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

## FINANCIACIÓN

La fuente de financiamiento de este artículo corresponde al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), proyecto IT200925

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: G.M.M.D., M.T.R., F.S.M.D. y A.T.F.; Metodología: G.M.M.D. y F.S.M.D.; Software: F.S.M.D.; Análisis formal: F.S.M.D.; Investigación: G.M.M.D., M.T.R., F.S.M.D., A.E.C., A.T.F. y B.Z.G.; Curación de datos: G.M.M.D. y F.S.M.D.; Escritura - preparación del borrador original: G.M.M.D. y F.S.M.D.; Escritura - revisión y edición: A.E.C. y C.L.L.; Supervisión: M.T.R., A.E.C., A.T.F. y C.L.L.; Adquisición de fondos: M.T.R.

## AGRADECIMIENTOS

Al proyecto PAPIIT IT200925 por el financiamiento para la presente investigación.

## LITERATURA CITADA

- Abuzar, M. R., Sadozai, G. U., Baloch, M. S., Baloch, A. A., Shah, I. H., Javaid, T., & Hussain, N. (2011). Effect of plant population densities on yield of maize. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 21(4), 692-695.
- 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. e1577. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1577>
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2026a). Base de datos climatológica nacional. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. Consultado el 24 de abril, 2025, desde <https://smn.conagua.gob.mx/>
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2026b). Normales climatológicas mensuales: Estación 15081. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. Consultado el 24 de abril, 2025, desde [https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Normales\\_Climatologicas/Mensuales/mex/mes15081.txt](https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Normales_Climatologicas/Mensuales/mex/mes15081.txt)
- Espinosa-Calderón, A., Tadeo-Robledo, M., Lothrop, J., Aspíroz-Rivero, S., Tut, C., & Salinas-Moreno, Y. (2003). H-50, híbrido de maíz de temporal para los Valles Altos de México (2200 a 2600). *Agricultura Técnica en México*, 29(1), 89-92.
- Espinosa-Calderón, A., Tadeo-Robledo, M., Zamudio-González, B., Turrent-Fernández, A., Gómez-Montiel, N., & Sierra-Macías, M. (2022). H 49 AE: híbrido de maíz para Valles Altos de México con androesterilidad para producción de semilla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(7), 1333-1338. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i7.1768>
- Espinosa-Calderón, A., Tadeo-Robledo, M., Turrent-Fernández, A., Sierra-Macías, M., Gómez-Montiel, N., & Zamudio-González, B. (2013). Rendimiento de variedades precoces de maíz grano amarillo para Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), 93-99.
- Hernández-Galeno, C. A., Ramírez-Díaz, J. L., Preciado-Ortiz, R. E., Gómez-Montiel, N. O., Aragón-Cuevas, F., Pérez-Mendoza, C., & Zamarripa-Colmenero, A. (2023). *Variedades e híbridos de maíz (Zea mays L.) del INIFAP. Libro Técnico No. 6*. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
- Gobierno del Estado de México. (2024). Atlas de riesgo de Almoloya de Juárez, 2024. Estado de México, México: Gobierno del Estado de México. Consultado el 24 de febrero, 2024, [https://rmgir.proyectomesoamerica.org/AtlasMunPDF/2024/15005\\_ALMOLOYA\\_JUAREZ\\_2024.pdf](https://rmgir.proyectomesoamerica.org/AtlasMunPDF/2024/15005_ALMOLOYA_JUAREZ_2024.pdf)
- González-Huerta, A., Sahagún-Castellanos, J., Vázquez-García, L. M., Rodríguez-Pérez, J. E., Pérez-López, D. D. J., Domínguez-López, A., ... & Balbuena-Melgarejo, A. (2009). Identificación de variedades de maíz sobresalientes considerando el modelo AMMI y los índices de Eskridge. *Agricultura Técnica en México*, 35(2), 189-200.
- López-López, C., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., García-Zavala, J., Benítez-Riquelme, I., Vázquez-Carrillo, M. G., & Carrillo-Salazar, J. (2017). Productividad de cruces simples de maíz con calidad de proteína en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(3), 559-570.
- Mansfield, B. D., & Mumm, R. H. (2014). Survey of Plant Density Tolerance in U.S. Maize Germplasm. *Crop Science*, 54(1), 157-173. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.04.0252>
- Martínez-Gutiérrez, A., Zamudio-González, B., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Cardoso-Galvão, J. C., 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>
- Mercado-Mancera, G., Granados-Mayorga, A., & Navejas-Jiménez, J. (2021). Tendencia de la temperatura en el área de Cuautitlán Izcalli, Estado de México. *Memorias del Congreso Nacional de Tecnología. México*, 4(4), 108-116.
- Morales-Ruiz, A., Morales-Rosales, E., Franco-Mora, O., Mariezcurrena-Berasain, D., Estrada-Campuzano, G., & Norman-Mondragón, T. (2014). Densidad de población en maíz, coeficiente de atenuación de luz y rendimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(8), 1-7.
- Perea, E. (2023, January 10). México con capacidad de producir el maíz amarillo que importa; se requiere plan urgente: Cibiogem. Imagen Agropecuaria. Consultado el 13 de marzo, 2024, desde <https://imagenagropecuaria.com/2023/mexico-con-capacidad-de-producir-el-maiz-amarillo-que-importa-se-requiere-plan-urgente-cibiogem/>
- Quiroz-Mercado, J., Pérez-López, D. D. J., González-Huerta, A., Rubí-Arriaga, M., Gutiérrez-Rodríguez, F., Franco-Martínez, J. R. P., & Ramírez-Dávila, J. F. (2017). Respuesta de 10 cultivares de maíz a la densidad de población en tres localidades del centro mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1521-1535.
- Rodríguez-Flores, I., González-Huerta, A., Pérez-López, D. J., & Rubí-Arriaga, M. (2015). Efecto de cinco densidades de población en ocho cultivares de maíz sembrados en tres localidades del Valle de Toluca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(8), 1943-1955.
- Saenz, E., Ruiz, A., Sciarresi, C., King, K., Baum, M., Ferela, A., ... & Archontoulis, S. V. (2025). Historical increases in plant density increased vegetative maize biomass while breeding increased reproductive biomass and allocation to ear over stem. *Field Crops Research*, 322, 109704. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109704>.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural) (2020). Cierre agrícola por cultivo. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Consultado el 28 de febrero, 2024, desde <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SAS Institute Inc. (2018). *SAS/STAT User's Guide, Version 9.4*. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- SE (Secretaría de Economía) (2002). Norma Oficial Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002, Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - cereales - parte i: maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado - especificaciones y métodos de prueba. *Diario Oficial de la Federación*. D.F.: SEGOB.
- SEGOB (Secretaría de Gobernación). (2020). Decreto por el que se establecen acciones para sustituir gradualmente el uso, adquisición, distribución, promoción e importación del herbicida glifosato y del maíz genéticamente modificado. *Diario Oficial de la Federación*. Ciudad de México, México: SEGOB.
- SEGOB (Secretaría de Gobernación). (2023). Decreto por el que se establecen diversas acciones en materia de glifosato y maíz genéticamente modificado. *Diario Oficial de la Federación*. Ciudad de México, México: SEGOB.
- SEGOB (Secretaría de Gobernación). (2025). Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de los artículos 4o. y 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia de conservación y protección de los maíces nativos. *Diario Oficial de la Federación*. Ciudad de México, México: SEGOB.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2022). Panorama Agroalimentario 2022. Ciudad de México, México: SIAP Consultado el 28 de febrero, 2024, desde [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/777875/PRENSA\\_PRESENTACION\\_PANORAMA\\_2022.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/777875/PRENSA_PRESENTACION_PANORAMA_2022.pdf)
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2023). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Ciudad de México, México. Consultado el 28 de febrero, 2024, desde [https://nube.agricultura.gob.mx/cierre\\_agricola/](https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/)

- 
- Sierra-Macías, M., Rodríguez-Montalvo, F., Palafox-Caballero, A., Espinosa-Calderón, A., Andrés-Mesa, P., Gómez-Montiel, N. & Valdivia-Bernal, R. (2016). Productividad de semilla y adopción del híbrido de maíz H-520, en el trópico de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 13(1), 19-32.
- Sotelo-Ruiz, E. D., Cruz-Bello, G., González-Hernández, A., & Flores-López, R. (2020). Actualización de la cartografía edafológica del Estado de México: una herramienta para la planeación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8), 1775-1788. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.1975>
- 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 Fitotecnica Mexicana*, 39(3), 331-333.
- Tadeo-Robledo, M., & Espinosa-Calderón, A. (2004). Producción de semilla y difusión de variedades e híbridos de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México. *Revista FESC Divulgación Científica Multidisciplinaria*, 4(14), 5-10.
- Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Canales-Islas, E., López-López, C., Andrés-Meza, P., & Zamudio-González, B. (2022). Atziri Puma: híbrido de maíz de grano blanco para Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(7), 1339-1343. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i7.2397>
- Wise, T. A. (2023). *Nadar contra corriente: México busca la soberanía alimentaria frente al dumping agrícola estadounidense*. Minneapolis, USA: Institute for Agriculture and Trade Policy (IATP).