



# Universidad Autónoma del Estado de México

*Doctorado en Ciencias Agropecuarias y  
Recursos Naturales*

---

---

## **CARACTERES MORFOLÓGICOS Y FISIOLÓGICOS DETERMINANTES DEL RENDIMIENTO EN CULTIVARES NATIVOS E HÍBRIDOS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN RESPUESTA A LA DENSIDAD Y FECHA DE SIEMBRA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
RECURSOS NATURALES

P R E S E N T A:

**M en CARN GUSTAVO GARCÍA HERNÁNDEZ**

Campus Universitario "El Cerrillo" Toluca,  
Estado de México. 3 de julio del 2025.





# Universidad Autónoma del Estado de México

*Doctorado en Ciencias Agropecuarias y  
Recursos Naturales*

---

---

## **CARACTERES MORFOLÓGICOS Y FISIOLÓGICOS DETERMINANTES DEL RENDIMIENTO EN CULTIVARES NATIVOS E HÍBRIDOS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN RESPUESTA A LA DENSIDAD Y FECHA DE SIEMBRA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
RECURSOS NATURALES

P R E S E N T A:

**M en CARN GUSTAVO GARCÍA HERNÁNDEZ**

Comité de Tutores:

Dr. GASPAR ESTRADA CAMPUZANO  
(Tutor Académico)

Dr. CARLOS GUSTAVO MARTÍNEZ RUEDA

Dr. JOSÉ ANTONIO LÓPEZ SANDOVAL  
(Tutores Adjuntos)

Campus Universitario "El Cerrillo" Toluca, Estado de México.  
3 julio del 2025.



## CONTENIDO

DEDICATORIAS .....	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTOS .....	¡Error! Marcador no definido.
RESUMEN.....	ii
ABSTRACT.....	iii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Importancia del maíz.....	1
II. ANTECEDENTES .....	4
2.1. Efecto de la densidad de población en cultivos de grano.....	4
2.2. Efecto de la densidad de plantas sobre el rendimiento en maíz.....	5
2.3. Densidad de plantas y su efecto sobre la morfología de la planta de maíz... ..	8
2.4. Fecha de siembra y su efecto sobre el rendimiento en maíz .....	10
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
3.1. Justificación .....	15
3.2. Hipótesis .....	15
3.3. Objetivo general .....	16
3.4. Objetivos específicos .....	16
IV. MATERIALES Y MÉTODOS .....	16
4.1. Sitio experimental .....	16
4.2. Tratamientos y diseño experimental .....	17
4.3. Condiciones generales del experimento.....	18
4.4. Rendimiento y sus componentes .....	19
4.5. Producción de biomasa, rendimiento y sus componentes .....	20
4.6. Tasa de crecimiento.....	20
4.7. Índice ambiental .....	21
4.8. Condiciones climáticas .....	22
4.9. Análisis estadístico .....	22
V. RESULTADOS .....	22
VI. DISCUSIÓN GENERAL.....	24
VII. CONCLUSIONES GENERALES .....	25
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26

## RESUMEN

El rendimiento de grano en maíz es función del genotipo, el manejo agronómico y las condiciones ambientales. El objetivo general de esta investigación fue evaluar el efecto de tres fechas de siembra, cuatro densidades y cuatro cultivares sobre los caracteres morfológicos y fisiológicos que determinan el rendimiento de grano en maíz en cuatro cultivares de maíz para Valles Altos de México. Los experimentos se llevaron a cabo en el Valle de Toluca, durante el ciclo primavera – verano del 2022 y 2023. En ambos años se evaluaron dos híbridos de cruza trilineal: Faisán® y Cherokee® y dos cultivares nativos: “Nativo Blanco” y Amarillo Zanahoria”. Las fechas de siembra para ambos años fueron durante la primera semana de los meses de marzo, abril y mayo. Las densidades de población fueron 50 000, 60 000, 70 000 y 80 000 plantas ha<sup>-1</sup> para el año 2022 y 40 000, 50 000, 60 000 y 90 000 plantas ha<sup>-1</sup> para 2023. En cada fecha de siembra los tratamientos surgidos de las combinaciones posibles de cultivares y densidades de población se establecieron bajo un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones.

En 2022 el mayor rendimiento de grano 6.7 t ha<sup>-1</sup> se observó en el maíz sembrado en el mes de mayo respaldado por un incremento en la biomasa, índice de cosecha, número de granos por m<sup>2</sup>, número de granos por mazorca y altura de planta. Mientras que, en 2023 el maíz sembrado en el mes de abril presentó el mayor rendimiento de grano 9.2 t ha<sup>-1</sup>, el cual se explicó por una mayor producción de biomasa a madurez, un mayor índice de cosecha y un mayor número de granos por m<sup>2</sup>. De los cuatro genotipos evaluados el híbrido Faisán presentó el mayor rendimiento de grano asociado a un mayor número de

granos por m<sup>2</sup> para ambos años. En 2022 el incremento en la densidad de población aumentó el rendimiento de grano con 80 000 plantas ha<sup>-1</sup> explicado por un mayor número de mazorcas por m<sup>2</sup>. La interacción fecha por cultivar por densidad reveló el mayor rendimiento de grano 8.3 t ha<sup>-1</sup>, en la siembra mayo con el cultivar “Nativo Blanco” y una densidad de 80 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Por otra parte, en 2023 el incremento en la densidad de plantas disminuyó la tasa de crecimiento promedio por planta durante el periodo crítico. Sin embargo, con 90 000 plantas ha<sup>-1</sup> se observó el mayor número de granos por unidad de superficie. La interacción fecha por cultivar por densidad reveló el mayor rendimiento de grano 11.7 t ha<sup>-1</sup>, en la siembra de abril con el cultivar “Faisán” a una densidad de 90 000 plantas ha<sup>-1</sup>. El presente trabajo aporta información importante para el manejo del cultivo de maíz, así como también, para una mejor orientación de los programas de mejoramiento genético.

**Palabras clave:** (*Zea mays* L.), densidad de población, fecha de siembra, tasa de crecimiento.

## ABSTRACT

Grain yield in corn is a function of genotype, agronomic management and environmental conditions. The general objective of this research was to evaluate the effect of three planting dates, four densities and four cultivars on morphological and physiological traits that determine grain yield in maize in four maize cultivars for Valles Altos de México. The experiments were carried out in the Toluca Valley, during the spring-summer cycle of 2022 and 2023. In both years two trilineal cross hybrids were evaluated: Faisán® and Cherokee® and two native cultivars: “Nativo Blanco” and Amarillo Zanahoria”. Planting

dates for both years were during the first week of March, April and May. Stocking densities were 50 000, 60 000, 70 000 and 80 000 plants ha<sup>-1</sup> for 2022 and 40 000, 50 000, 60 000 and 90 000 plants ha<sup>-1</sup> for 2023. At each planting date, the treatments resulting from the possible combinations of cultivars and stocking densities were established under a randomized complete block design with four replications.

In 2022, the highest grain yield of 6.7 t ha<sup>-1</sup> was observed in corn planted in May, supported by an increase in biomass, harvest index, number of grains per m<sup>2</sup>, number of grains per ear and plant height. In 2023, corn sown in April had the highest grain yield of 9.2 t ha<sup>-1</sup>, which was explained by a higher biomass production at maturity, a higher harvest index and a higher number of grains per m<sup>2</sup>. Of the four genotypes evaluated, the “Faisán” hybrid had the highest grain yield associated with a higher number of grains per m<sup>2</sup> for both years. In 2022 the increase in stocking density increased grain yield with 80 000 plants ha<sup>-1</sup> explained by a higher number of ears per m<sup>2</sup>. The date by cultivar by density interaction revealed the highest grain yield 8.3 t ha<sup>-1</sup>, in May planting with the cultivar “Nativo Blanco” and a density of 80 000 plants ha<sup>-1</sup>. On the other hand, in 2023 the increase in plant density decreased the average growth rate per plant during the critical period. However, at 90 000 plants ha<sup>-1</sup> the highest number of grains per unit area was observed. The date by cultivar by density interaction revealed the highest grain yield 11.7 t ha<sup>-1</sup>, in the April planting with the cultivar “Faisán” at a density of 90 000 plants ha<sup>-1</sup>. The present work provides important information for the management of maize cultivation, as well as for a better orientation of breeding programs.

**Key words:** (*Zea mays* L.), population density, planting date, growth rate.

## **Advertencia**

Este resumen y abstract fueron transcritos de la publicación y posible publicación, que se describen a continuación, derivadas de los trabajos experimentales de esta tesis:

García, H.G., Araujo, D.R., Estrada, C.G., Martínez, R.C.G. y López, S.J.A. (2025). Componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) en respuesta a densidad y fecha de siembra en Toluca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. (4) (16). DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i4.3708>

García, H.G., Araujo, D.R., Estrada, C.G., Martínez, R.C.G. y López, S.J.A. (2025). Determinantes del rendimiento en maíces nativos e híbridos en respuesta al manejo agronómico. (*Revista Fitotecnia Mexicana*) (núm) (vol) (doi) (Pendientes).

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Importancia del maíz

El maíz ocupa el segundo lugar a nivel mundial por su producción, después del trigo, mientras que el arroz ocupa el tercer lugar. Es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea y el segundo, después del trigo, en producción total. El maíz tiene una gran importancia económica a nivel mundial ya sea para consumo humano, producción pecuaria o como materia prima para la producción industrial (FAO, 2025).

En 2023 la superficie mundial destinada a este cultivo fue de, 208 234 140 ha, mientras que, la producción fue de 1 241 557 811 t con un rendimiento promedio de 5.9 t ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2023).

De acuerdo con información del USDA durante el ciclo comercial 2023 - 2024 los principales países productores fueron: Estados Unidos 31 %, China 23 %, Brasil 9 %, Unión Europea 5 % y Argentina 4 % sumando el 75% de la producción mundial de maíz. México ocupó la octava posición mundial, con una participación de 1.9% de la producción total (Figura 1) (FIRA, 2024).

### Producción mundial de maíz 2023 - 2024

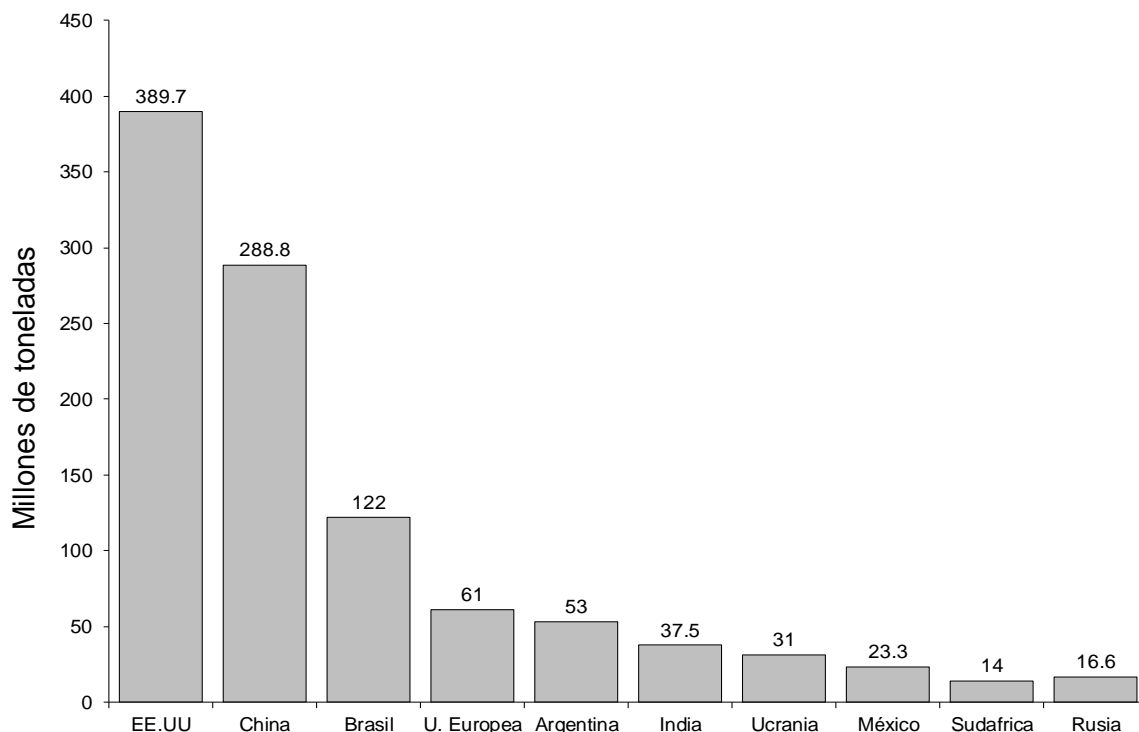


Figura 1. Producción mundial de maíz 2023 – 2024. Fuente: FIRA, 2024 con información de la USDA.

En México, la producción de maíz durante el 2023 fue de más de 27 millones de toneladas; el 67 % se cosechó en el ciclo primavera - verano, con 18 millones de toneladas, y 32 % en el ciclo otoño - invierno, con un volumen de 8.9 millones de toneladas. Por régimen de humedad, 52 % se cultivó en riego y 47 % se produjo en temporal. La producción total significó un incremento de 3.8 % con respecto a la cosecha del año agrícola previo, favorecida por la obtención de rendimientos máximos históricos tanto en riego como en temporal, de 9.3 y 2.7 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

El consumo nacional de maíz en el ciclo comercial 2022 - 2023 se ubicó en un máximo histórico de más de 43 millones de toneladas: 54.6 % de maíz blanco (23.7 millones de toneladas) y 45.4 % de maíz amarillo (19.7 millones de toneladas).

Durante el ciclo comercial 2022- 2023 las importaciones alcanzaron un máximo histórico de 18.9 millones de toneladas. Prácticamente el total del consumo de maíz blanco se abasteció con producción nacional, mientras que, en el caso del maíz amarillo, alrededor de 93.7 % provino las importaciones (FIRA, 2024).

Anualmente en México se establecen 6 567 268 ha para grano con una producción de 18 232 831 t y un rendimiento promedio de 3.6 t ha<sup>-1</sup> mientras que para maíz forrajero se destinan más de 588 984 ha con una producción de 15 534 619 t y un rendimiento promedio de 30 t ha<sup>-1</sup>. Los principales estados productores a nivel nacional son Sinaloa Jalisco y Michoacán, mientras que el estado de México ocupa el octavo lugar (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales estados productores de maíz en México. Fuente: SIAP, 2024.

<b>Estado</b>	<b>Producción (t)</b>	<b>Rendimiento (t ha<sup>-1</sup>)</b>
Sinaloa	3 163 675.9	11.8
Jalisco	2 080 600.8	6.9
Michoacán	1 642 078.3	4.5
Guanajuato	1 567 061.8	5.7
Chihuahua	1 302 518.9	6.1
Veracruz	1 164 727.9	2.2
Guerrero	1 089 330.1	2.8
Puebla	1 020 492.9	2.3
México	919 659.5	3.2

Desde tiempos prehispánicos el maíz a formado parte de la dieta de mexicano, al aportar nutrientes como proteínas, carbohidratos, fibra, y calcio, además de que son productos de alto valor energético, que le han permitido el buen estado de salud de la población (Garnica y Martínez, 2024). Dentro de los cultivos de grano, el maíz es una de las mejores fuentes de energía metabolizable, su contenido de proteína es de 8 a 9 % comparado

con otros alimentos, sin embargo, es considerado una fuente importante de proteínas debido al volumen de consumo (Loy *et al.*, 2019).

México cuenta con una gran diversidad de maíces, sin embargo, la producción nacional está encabezada por el maíz blanco destinado principalmente a la producción de tortilla, seguido del maíz amarillo destinado a la producción pecuaria. Dentro de los materiales utilizados se encuentran los maíces híbridos que se destinan principalmente a una agricultura intensiva practicada en gran parte de la superficie de los principales estados productores y por otra los cultivares nativos cuyo grano presenta mejores cualidades gastronómicas (Ali *et al.*, 2020).

En México, el 86% de la superficie se cultiva en régimen de secano en parcelas menores a las 5 ha. Donde se practica el agro ecosistema denominado “milpa”, en el cual se cultivan especies como frijol y calabaza destinadas a complementar la dieta y los ingresos económicos de una parte de la población nacional (Mercer, 2012).

## **II. ANTECEDENTES**

### **2.1. Efecto de la densidad de población en cultivos de grano**

La densidad de plantas es un factor que se debe de tomar en cuenta para obtener altos rendimientos de grano (Ren *et al.*, 2017). Las investigaciones previas muestran que la densidad de plantas responde de manera diferencial según el cultivo de que se trate. Por ejemplo, en soya el número de granos y el peso de 1 000 granos presentaron estabilidad en densidades que van desde 10 y hasta 60 plantas m<sup>-2</sup>. Sin embargo, por debajo las de las 30 plantas m<sup>-2</sup> el rendimiento de grano está expuesto a una reducción debido a los riesgos por condiciones adversas (Gasó, 2018). De la misma manera, en canola la

reducción en la densidad de plantas  $1,7 \text{ kg ha}^{-1}$  (menos de  $50 \text{ plantas m}^{-2}$ ) no afectó el rendimiento de semilla además de que el número de semillas planta y el número de semillas  $\text{m}^{-2}$  fueron iguales para densidades de plantas altas y bajas (Wynne *et al.*, 2020). Sin embargo, la densidad de  $80 \text{ plantas m}^{-2}$  disminuyó la producción de aceite en un 59% y duplicó el contenido ácido erúcico y glucosinolatos (Nasiri *et al.*, 2021). Por otra parte, independientemente del espacio entre hileras, el rendimiento de grano en trigo fue estable a la densidad de plantas dentro de un rango de  $80 - 400 \text{ plantas m}^{-2}$  (Fischer *et al.*, 2019). Debido a la plasticidad mostrada por este cultivo a través de los macollos (Spink *et al.*, 2000; Fischer *et al.*, 2019). Otros efectos relacionados con la producción de biomasa también se modifican como resultado de la densidad de plantas tanto a nivel individual como a nivel de parcela por ejemplo en sorgo, la altura de la planta, el índice de área foliar, la duración del área foliar y la producción de biomasa aumentan a medida que se incrementa la densidad de plantas, pero el número de macollos, el diámetro del tallo y la tasa de asimilación neta disminuyen (Tang *et al.*, 2018). De la misma manera, en cártamo, el índice de área foliar, el área foliar por planta, el número de ramas y el número de hojas por planta y la tasa de senescencia debido incremento en la densidad de plantas como resultado de la competencia intraespecífica (Torabi *et al.*, 2020).

## **2.2. Efecto de la densidad de plantas sobre el rendimiento en maíz**

En maíz la densidad de plantas es fundamental para maximizar el rendimiento, sin embargo, no se debe rebasar cierto umbral ya que un exceso en la densidad de plantas reduce el rendimiento de 10 al 40 % (Intagri, 2018). Por otra parte, las plantas sembradas a una densidad menor al óptimo tendrán más recursos a nivel individual, pero en una escala de población el rendimiento por parcela será menor que cuando el dosel está bajo

el número óptimo de plantas (Lacasa *et al.*, 2020). Actualmente, en la zona de Valles Altos de México la tendencia a incrementar la densidad de plantas  $\text{ha}^{-1}$  y el uso de fertilizantes sintéticos han sido los principales factores responsables del incremento en la producción de maíz (García *et al.*, 2020). En segundo lugar, los avances biotecnológicos, el mejoramiento genético y el manejo agronómico también han contribuido a maximizar dichos rendimientos, por otra parte, el rendimiento de grano en maíz responde, de acuerdo a las condiciones presentes en cada sitio como el clima, altitud, variedad, densidad de siembra, suministro de agua, fertilidad del suelo y fecha de siembra (García *et al.*, 2020; Djaman *et al.*, 2022). De acuerdo con (Sherestha *et al.*, (2018); Jia *et al.*, (2018); Ramírez *et al.*, (2021), la densidad de plantas se encuentra dentro de los factores más importantes que afectan el rendimiento de grano en maíz. Así mismo, Asefa *et al.* (2016), consideran a la densidad de plantas como uno de los componentes del rendimiento de grano además del (número de mazorcas  $\text{m}^{-2}$ , número de granos por mazorca y peso del grano) que en conjunto tienen un impacto en el rendimiento de grano. En otras regiones como el cinturón de maíz en EEUU, se siembra con altas densidades de población que van desde 85 000 hasta 110 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  (Bayer, 2018). Sin embargo, en otras latitudes del mundo las densidades de siembra se han adaptado a las condiciones y disponibilidad de tecnología de cada región. En este sentido, Shao *et al.* (2018), observaron que el rendimiento de grano aumentó al pasar de 40 000 a 70 000 y luego disminuyó al pasar a 90 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  en un experimento realizado en el noreste de China. Por otra parte, componentes del rendimiento como, el peso de 1 000 granos, el número de granos por hilera, el número de granos por mazorca y el rendimiento de granos por planta disminuyeron significativamente al incrementar la densidad de plantas utilizando densidades desde 52 500 y hasta 97 500 plantas  $\text{ha}^{-1}$  en regiones semiáridas

de China (Jia *et al.*, 2018). Otros efectos fenológicos fueron reportados por Sherestha *et al.* (2018) quienes al evaluar tres densidades de plantas 55 555, 66 666 y 83 333 plantas ha<sup>-1</sup> en Nepal observaron un aumento la duración de la etapa de floración en la densidad hasta 83 333 plantas ha<sup>-1</sup> pero el mayor rendimiento de grano 6 925 kg ha<sup>-1</sup> se obtuvo con 66 666 plantas ha<sup>-1</sup>. Por otra parte, una densidad de plantas superior a las 60 000 plantas ha<sup>-1</sup> utilizando híbridos tolerantes a la sequía y al estrés por densidad incrementó el rendimiento de grano en maíz de temporal, pero aumentó el riesgo de desecación profunda del suelo en China (Zhang *et al.*, 2019).

En México Ramírez *et al.* (2021) evaluaron la respuesta en rendimiento de grano de cinco cultivares híbridos y dos testigos sembrados a 65 000, 75 000 y 90 000 plantas ha<sup>-1</sup> en tres sitios Peña del Panal, Michoacán, en punta de riego, Tepatitlán y San Miguel Cuyutlán, Jalisco en condiciones de secano, observando diferencias en el rendimiento de grano al aumentar la densidad de población, los híbridos HE-48, HE-46, HE-15A y H-377 elevaron el rendimiento al incrementar la densidad de población mientras que, los híbridos HE-48 y HE-15A tuvieron rendimiento alto tanto en baja como en alta densidad. En Valles Altos de México, Contreras *et al.* (2012), evaluaron tres híbridos comerciales de maíz de cruza trilineal H48, H50 y Cóndor en dos fechas de siembra 11 de abril, y 30 de abril, dos niveles de fertilización nitrogenada N1:30 y N2:180 kg N ha<sup>-1</sup>, y dos densidades de población 62 000 y 92 000 plantas ha<sup>-1</sup> observando que el incremento en la dosis de N y de la densidad de población aumentó la radiación interceptada a nivel de cultivo, lo que influyó en una mayor fijación de número de granos m<sup>-2</sup> para los tres híbridos estudiados sin embargo, el mayor rendimiento de grano 7 050 kg ha<sup>-1</sup> se observó con la densidad de 92 000 plantas por ha<sup>-1</sup>. Por su parte Quiroz *et al.* (2017), al evaluar diez cultivares de maíz recomendables para siembra comercial ocho híbridos y dos criollos en

tres localidades del Estado de México (El Cerrillo Piedras Blancas, Mina México y Rancho Tiacaque), utilizando tres densidades de siembra 104 167, 78 125 y 62 500 plantas ha<sup>-1</sup> observaron que el incremento en la densidad de población disminuyó el número y el peso de grano por planta, pero a 104 167 plantas ha<sup>-1</sup> el rendimiento fue de 10 t ha<sup>-1</sup>. En cuanto a los cultivares híbridos evaluados P204W obtuvo el mayor rendimiento de grano 10 t ha<sup>-1</sup>. Mientras que los cultivares Tlacotepec y HID-15 sobresalieron en peso de grano por planta (147 y 140 g) respectivamente. Por otra parte, Espinosa *et al.* (2013), al evaluar el rendimiento de grano de cultivares precoces de maíz grano amarillo para Valles Altos sembrados en la segunda quincena de junio en condiciones de secano utilizando una densidad de siembra de 45 000 plantas ha<sup>-1</sup> observaron que los cultivares con mayor rendimiento de grano fueron Oro Ultra UNAM C 6 913 kg ha<sup>-1</sup>, V-55 A 6 284 kg ha<sup>-1</sup>, V-53 A 6 035 kg ha<sup>-1</sup> y V-54 A 5 405 kg ha<sup>-1</sup> rendimientos estadísticamente superiores a los rendimientos de los cultivares usados como testigos Amarillo Zanahoria, Nativo Amarillo y V-26 A recomendándolos como una opción comercial.

### **2.3. Densidad de plantas y su efecto sobre la morfología de la planta de maíz.**

La fotosíntesis es un proceso a través del cual las plantas producen biomasa (Ma *et al.*, 2020). Así mismo, la eficiencia con la que los cultivos interceptan la radiación solar y transforman el dióxido de carbono y el agua en biomasa determina en gran medida el rendimiento final (Simkin *et al.*, 2019; Hu *et al.*, 2020). En un estudio donde se utilizaron 90 000 plantas ha<sup>-1</sup> demostró que existe un incremento en la biomasa de la raíz lo cual favorece la producción fotosintética de las partes aéreas de la planta contribuyendo a incrementar el rendimiento de grano (Qi *et al.*, 2012). Por otra parte, se sabe que la hoja es el principal órgano fotosintético lo que hace posible incrementar la capacidad

fotosintética de una planta aumentando el área foliar (Wu *et al.*, 2018). Sin embargo, evidencias previas muestran que el incremento en el área foliar se logra a través de incrementos en la densidad de plantas  $m^{-2}$  y no a nivel individual. En este sentido, Li *et al.* (2018) al utilizar densidades de 106 000 y 115 000 plantas  $ha^{-1}$  mostraron el mayor rendimiento de grano, mientras que la densidad de 9.7 plantas  $m^{-2}$  mostró el mayor índice de área foliar, concluyendo que la densidad de plantas requerida para obtener una estructura de dosel de maíz óptima y el mejor rendimiento de grano la densidad de plantas oscila entre 10.6 y 11.5 plantas  $m^{-2}$ . Algunos efectos negativos se han observado al incrementar la densidad de plantas debido a que ésta acelera la senescencia de las hojas, reduciendo la tasa neta de fotosíntesis después de la floración femenina, limitando la disponibilidad de asimilados para la formación de granos. En este sentido, Bos y Vos, (2000), observaron que el incremento en la densidad de plantas, disminuyó significativamente el ancho máximo de la hoja. En los fitómeros inferiores, la longitud de hojas y mazorcas aumentaron, pero disminuyeron en los fitómeros superiores, mientras que el ancho de la hoja, así como el diámetro del entrenudo se redujeron debido a una menor tasa de crecimiento en respuesta a una mayor densidad de plantas (Song, *et al.*, 2016). Ren *et al.*, (2017); Sher *et al.*, (2017); Jia *et al.*, (2018), por su parte, observaron que el incremento en la densidad de plantas sobre el área foliar por planta fue la ausencia de macollos relacionado con una baja asimilación por planta, inducida por bajas densidades de flujo de fotones fotosintéticos o bajas proporciones de rojo / rojo lejano. Por otra parte, la alta densidad de plantas disminuyó del contenido de clorofila y la tasa fotosintética neta en las etapas fenológicas de crecimiento reduciendo; la membrana de las células del mesófilo y el número de cloroplastos. Sin embargo, el rendimiento por parcela se incrementó mientras que el rendimiento de grano por planta disminuyó

significativamente (Ren *et al.*, 2017). Por último, en la zona de Valles Altos de México Mendoza *et al.* (2000), al evaluar dos líneas de maíz una prolífica y una no prolífica observaron que, en la línea prolífica en promedio, el área total de floema en los entrenudos del tallo principal y los pedúnculos de inflorescencias fue 92 y 28 % mayor en la línea prolífica que en la no prolífica, respectivamente, indicando una mayor capacidad para el transporte de asimilados hacia las mazorcas de la línea prolífica.

#### **2.4. Fecha de siembra y su efecto sobre el rendimiento en maíz**

La fecha de siembra juega un papel importante en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz (Bruns y Abbas, 2006; Van Roekel y Coulter, 2011). En este sentido, evidencias previas señalan que las fechas de siembra tempranas o tardías provocan una serie de cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos en las plantas, que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas y tales cambios pueden conducir a una reducción drástica en el rendimiento del maíz (Tsimba *et al.*, 2013). Basado en esto realizar la siembra dentro de las fechas óptimas permite aprovechar las mejores condiciones ambientales y aspirar a la obtención de los mayores rendimientos posibles, y principalmente, disminuir riegos de producción por eventos climáticos y fitosanitarios (Intagri, 2018). Diversos autores han experimentado con fechas de siembra, por ejemplo Abendroth *et al.* (2017), agruparon las zonas productoras de maíz para el estado de Iowa, EEUU centro - norte (NC) y noreste (NE); noroeste (NW) y central (C); y suroeste (SW) y sureste (SE) desarrollando dos ventanas de siembra para cada grupo de sitios basado en el rendimiento máximo en la curva de respuesta y una resta de 2 o 5 % de rendimiento relativo para desarrollar ventanas de rendimiento de 98-100 % o 95-100 %, respectivamente. Observando que las curvas de respuesta para cada grupo de sitios

exhibieron una respuesta de rendimiento de grano más fuerte a la fecha de siembra de tal manera que el grupo NC-NE tuvo la ventana de siembra más temprana del 98-100 % (12-30 de abril) mientras que el grupo NW-C (15 de abril al 9 de mayo) y el grupo SW-SE (17 de abril al 8 de mayo) fueron posteriores. Resultados similares fueron obtenidos por Nafziger, (1994), quien evaluó dos variedades híbridas de maíz en el estudio observando que en general, los rendimientos aumentaron desde mediados de abril hasta finales de abril, y luego disminuyeron al retrasarse la siembra hasta finales de mayo. Concluyendo que la densidad de 76 000 plantas ha<sup>-1</sup> proporcionó el mayor rendimiento teniendo al 27 de abril como la mejor fecha para la siembra del maíz. De la misma manera, Lauer *et al.* (1999), compararon tres híbridos de maíz con una madurez relativa de 80 a 115 días sembrados entre el 19 de abril y el 22 de junio en seis lugares de Wisconsin. Observando que, en los lugares del sur, la fecha óptima de siembra para un rendimiento de grano óptimo osciló entre el 1 y el 7 de mayo, y se mantuvo en el 95 % del óptimo entre el 9 y el 18 de mayo mientras que, en el norte, la fecha óptima de siembra para el rendimiento de grano osciló entre el 8 y el 14 de mayo, y todavía estaba en el 95 % del óptimo entre el 15 y el 23 de mayo. El rendimiento de grano no cambió cuando se sembró entre el 24 de abril y el 8 de mayo. Sin embargo, el rendimiento de grano sembrado después del 8 de mayo en el sur disminuyó a una tasa de 0.5 a 1.1 % por día durante las próximas dos semanas, acelerando a 1.3 a 1.9 % por día y 2.0 a 2.8 % por día durante los siguientes dos períodos de dos semanas y por último el rendimiento de grano del maíz sembrado después del 8 de mayo en el norte disminuyó a una tasa de 0.2 a 1.7 % por día durante las próximas dos semanas, acelerándose a 1.7 a 2.2 % por día y 3.2 a 3.8 % por día durante los siguientes dos períodos de dos semanas. Sin embargo, Djaman *et al.* (2022), al evaluar seis densidades de plantas (54 700, 64 600, 74 600, 88 000, 101 700 y 120

100 plantas ha<sup>-1</sup>) en siete fechas de siembra en el suroeste de EEUU (del 23 de abril al 5 de junio en 2019) y diez fechas de siembra (del 21 de abril al 5 de junio 10 en 2020) para determinar la ventana de plantación y la densidad óptima. El mayor rendimiento de grano 16 800 kg ha<sup>-1</sup> se observó bajo la densidad de 101 700 plantas ha<sup>-1</sup> que mostró un rendimiento estadísticamente similar a la densidad de 88 000 plantas ha<sup>-1</sup> y la primera siembra tendió a proporcionar el mejor rendimiento de grano en 2019. En 2020, el rendimiento de grano más alto 17 000 kg ha<sup>-1</sup> se obtuvo bajo la densidad 88 000 plantas ha<sup>-1</sup> el 18 de mayo como fecha de siembra. Resultados similares fueron observados por Van Roekel y Coulter, (2011) quienes determinaron si la respuesta agronómica del maíz a la densidad de plantas difiere de la fecha de siembra utilizando seis densidades de plantas desde 38 400 a 107 900 plantas ha<sup>-1</sup> evaluadas dentro de tres fechas de siembra que ocurrieron en intervalos de dos semanas desde finales de abril hasta principios de mayo. Observando que el rendimiento y el rendimiento neto del costo de la semilla no se vieron afectados cuando la siembra se retrasó dos semanas, sin embargo, fueron un 15, 18 y 30 % más bajos cuando la siembra se retrasó cuatro semanas, respectivamente. También observaron la respuesta de meseta cuadrática del rendimiento de grano con un rendimiento maximizado a 81 700 plantas ha<sup>-1</sup>.

En otras regiones del mundo el uso bajas densidades de plantas en ambientes restrictivos y variables hacer más eficiente el uso de los insumos en este contexto, el macollamiento podría ser una alternativa para aprovechar la plasticidad reproductiva y vegetativa (Massigoge *et al.*, 2022). En este sentido, Maddonni *et al.* (2021), mencionan que, en regiones consideradas como marginales en Argentina las temperaturas elevadas y el déficit hídrico limitan la producción de maíz, sin embargo, el buen manejo de la estructura del cultivo, basado en fechas de siembra tardías y bajas densidades poblacionales, ha

permitido obtener rendimientos estables y rentables. De esta forma, las bajas densidades 3,6 plantas  $m^{-2}$  tuvieron rendimientos superiores en comparación con las altas densidades 7,3 plantas  $m^{-2}$ , además de que los híbridos con rasgos de prolificidad DK69-10 y DM2738 en baja densidad de plantas presentaron el mayor rendimiento 6 952  $kg\ ha^{-1}$ , observando una aportación de hasta 30,5 % al rendimiento total por medio de los macollos (Maltense *et al.*, 2022).

En la zona de Valles Altos de México evidencias señalan los efectos de la fecha de siembra en los sistemas de producción de maíz por ejemplo Tadeo *et al.* (2015), al evaluar el rendimiento de dos maíces nativos (Ixtlahuaca y Atlacomulco), en comparación con dos híbridos, H-50 y H-52, bajo dos fechas de siembra y dos fechas de cosecha utilizando una densidad de siembra de 60 000 plantas  $ha^{-1}$  observaron que los rendimientos más elevados correspondieron a la primera fecha de siembra (17 de mayo) y cosecha a 177 y 160 días (8 570  $kg\ ha^{-1}$  y 7 488  $kg\ ha^{-1}$ , respectivamente). En cambio, la segunda fecha de siembra (01 de junio) y cosecha a 162 y 145 días arrojó los menores rendimientos (7 185  $kg\ ha^{-1}$  y 6 082  $kg\ ha^{-1}$ , respectivamente). Por otra parte, Martínez *et al.*, (2018), evaluaron el rendimiento de grano de diez cultivares híbridos de maíz blanco en cinco ambientes y cinco fechas de siembra (Cuendó 5 de abril, Jocotitlán 13 de abril, Ixtlahuaca 23 de abril, Temascalcingo 03 de mayo, Jilotepec 25 de mayo) utilizando una densidad de siembra de 95 000 plantas  $ha^{-1}$  observando que los híbridos de productividad media mayor fueron Atziri puma 12  $t\ ha^{-1}$  y Tsiri puma 11.8  $t\ ha^{-1}$  seguidos por los híbridos H-50, H-66 y H-70, que produjeron 11.5, 11.6 y 11.6  $t\ ha^{-1}$  respectivamente. Mientras que, el mayor rendimiento promedio correspondió a Jocotitlán con 12.4  $t\ ha^{-1}$  de grano.

### III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad a cobrado relevancia la tendencia de utilizar altas densidades de plantas para el cultivo del maíz, así como el incremento en la dosis de fertilización buscando mayores rendimientos de grano. Sin embargo, esta práctica implica que a nivel individual un porcentaje de estas plantas no genere el rendimiento esperado y que un porcentaje de los insumos utilizados para su producción sean desperdiciados. Por otra parte, la elección de la fecha de siembra es fundamental para la generación de altos rendimientos, bajo la premisa de que una fecha de siembra adecuada permite ubicar al cultivo en las mejores condiciones ambientales. Sin embargo, en la actualidad las condiciones climáticas han presentado cambios que limitan la disponibilidad de recursos, por lo que resulta de gran importancia actualizar e identificar cuáles son las mejores fechas de siembra. En la zona de Valles Altos de México se utilizan en gran medida los cultivares nativos los cuales presentan gran adaptabilidad con características como una mayor variabilidad, siembra a bajas densidades de población y que por lo regular se utilizan para el autoconsumo por sus cualidades gastronómicas. Mientras que los cultivares híbridos presentan una menor variabilidad, cultivándose a altas densidades de siembra y presentando una buena calidad industrial. Actualmente en la zona de Valles Altos de México aspectos como la fecha de siembra, densidad de población y el genotipo a utilizar son de gran importancia ya que en esta zona se destina un gran porcentaje de superficie para el cultivo de maíz bajo condiciones de secano con restricciones en la temperatura y precipitación pluvial. En el Valle de Toluca se tiene registro de trabajos previos, pero con otro enfoque metodológico y otros materiales genéticos diferentes al que aquí se plantea.

Con base en lo anterior, se pretende establecer un experimento enfocado a replantear la fecha y la densidad de siembra y en función del genotipo a utilizar.

### **3.1. Justificación**

La población mundial va en aumento, por lo que es necesario buscar nuevas alternativas de producción de alimentos o incrementar los rendimientos actuales. Por otra parte, las condiciones climáticas presentan un cambio constante y este influye en la producción de alimentos en todo el mundo. El maíz se encuentra dentro de los cereales que más se consumen en el mundo y actualmente el mejoramiento de su cultivo ha cobrado gran importancia tanto a nivel mundial como nacional. Como en la mayoría de los cultivos, en el maíz el rendimiento de grano depende de diferentes factores o de la combinación de estos para su producción, la densidad y fecha de siembra se encuentran dentro de los principales factores. A la fecha en países desarrollados se han realizado diferentes investigaciones dirigidas a conocer tanto la densidad como la fecha siembra más adecuada, para el cultivo del maíz, sin embargo, en la zona de Valles Altos de México dicha información no está actualizada. Por lo que esta investigación se pretende replantear tanto la fecha como la densidad de siembra óptimas con el fin de contribuir al desarrollo y crecimiento del cultivo maíz resaltando su importancia ya que ello permitirá eficientizar las prácticas de manejo tendientes a incrementar el rendimiento potencial lo cual justifica la elaboración de este trabajo.

### **3.2. Hipótesis**

- La densidad y fecha de siembra modifican el rendimiento de grano en maíz a través de cambios en sus caracteres morfológicos y fisiológicos.

- Existe interacción cultivar x ambiente para el rendimiento de grano y sus principales componentes.
- Los cultivares híbridos y nativos responden de manera diferencial en rendimiento de grano cuando se modifica la fecha y densidad de siembra.

### **3.3. Objetivo general**

- Evaluar el efecto de tres fechas de siembra, cuatro densidades y cuatro cultivares sobre los caracteres morfológicos y fisiológicos que determinan el rendimiento de grano en maíz.

### **3.4. Objetivos específicos**

- Evaluar el efecto de tres fechas de siembra sobre los caracteres morfológicos que determinan el rendimiento de grano en maíz.
- Evaluar el efecto de cuatro densidades de siembra sobre los componentes fisiológicos y numéricos del rendimiento de maíz.
- Evaluar el efecto de cuatro cultivares de maíz sobre el rendimiento de grano y sus componentes fisiológicos y numéricos.

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. Sitio experimental**

Los experimentos se realizaron en el ciclo primavera - verano del 2022 y 2023 en la Facultad de Ciencias Agrícolas, dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de México, localizada a 18 km al norte de la ciudad de Toluca, con coordenadas geográficas de 19°15'33" de LN, 99°39'38" de LO y a una altitud de 2 640 msnm. De acuerdo con la clasificación climática de Köpen, modificada por García, (1988), el clima predominante es

del tipo C (w2) (w) b (i) que corresponde a un clima templado subhúmedo, el más húmedo de los subhúmedos, con lluvias en verano y escasa precipitación pluvial en invierno (5%), poca oscilación térmica, temperatura media anual de 14.0 °C y precipitación promedio anual de 900 mm (González *et al.*, 2009).

#### 4.2. Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron dos híbridos de cruce trilineal de maíz comercializados en la región (“Faisán” y “Cherokee”) cuyas características se muestran en el (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Características de los maíces híbridos evaluados 2022 y 2023 en Toluca, México.** Fuente: (ASPROS®, 2022), (ASGROW®, 2022).

<b>Genotipo/ Características</b>	<b>Cherokee</b>	<b>Faisán</b>
<b>Ciclo</b>	Intermedio	Intermedio tardío
<b>Modalidad</b>	Riego y temporal	Riego y temporal
<b>Días a floración</b>	90 - 95	90 - 95
<b>Días a madurez fisiológica</b>	185 - 190	185 - 190
<b>Altura de mazorca (m)</b>	1.39	1.10 - 1.15
<b>Altura de planta (m)</b>	2.10	2.25 - 2.45
<b>Densidad</b>	90 000	60 000
<b>Metros sobre el nivel del mar</b>	2000 - 2700	2000 - 2700

Y dos cultivares nativos utilizados en la región de Valles Altos “Nativo Blanco” de la comunidad de El Cerrillo Piedras Blancas y “Amarillo Zanahoria” de ICAMEX en tres fechas de siembra: (4 de marzo, 5 de abril, 4 de mayo), cuatro densidades de población 50 000 plantas ha<sup>-1</sup> (plantas separadas a 25 cm), 60 000 plantas ha<sup>-1</sup> (plantas separadas

a 20 cm), 70 000 plantas ha<sup>-1</sup> (plantas separadas a 17 cm) y 80 000 plantas ha<sup>-1</sup> (plantas separadas a 15 cm) en 2022. Mientras que, en 2023 las tres fechas de siembra fueron: 8 de marzo, 5 de abril y 8 de mayo de 2023 bajo cuatro densidades de población: 40 000 plantas ha<sup>-1</sup> (plantas separadas a 31 cm), 50 000 plantas ha<sup>-1</sup> (plantas separadas a 25 cm), 60 000 plantas ha<sup>-1</sup> (plantas separadas a 20 cm) y 90 000 plantas ha<sup>-1</sup> (plantas separadas a 13 cm).

En ambos años, la unidad experimental estuvo formada por cuatro surcos separados a 80 cm con una longitud de 5 m cada una. Cada fecha se consideró como un ambiente en particular en donde los 16 tratamientos surgidos de las combinaciones posibles de genotipos x densidades de población se evaluaron bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

En 2023 anexo a cada bloque se sembraron dos parcelas adicionales para cada uno de los cuatro cultivares, a densidad de población variable. Estas parcelas adicionales también consistieron en cuatro camas separadas a 80 cm y con una longitud de 5 m cada una.

#### **4.3. Condiciones generales del experimento**

En ambos años, para garantizar las cuatro densidades de siembra la semilla se colocó usando cintas marcadas con las distancias deseadas. Las siembras de los meses de marzo y abril contaron con un riego inicial mientras que, la siembra de mayo fue en condiciones de secano. El cultivo se mantuvo durante todo el ciclo libre de malezas mediante un control químico (Gesaprim Calibre 90© 2 kg de i.a. ha<sup>-1</sup> como pre emergente y Peak Turbo© 500g de i.a. ha<sup>-1</sup>, como post emergente). En la siembra se fertilizó con la dosis de NPK de 69-46-60 utilizando como fuentes de nitrógeno a la urea, fósforo al

superfosfato de calcio triple y al cloruro de potasio y posteriormente a los 70 días de siembra se fertilizó con 138-00-00 unidades de N ha<sup>-1</sup>. Se registró la fecha de emergencia y se realizó el seguimiento fenológico hasta la madurez fisiológica.

#### **4.4. Rendimiento y sus componentes**

Componentes morfológicos: En 2022, en la etapa de madurez fisiológica de los dos surcos centrales de cada parcela se seleccionaron de 10 plantas con competencia completa a estas se les midió la altura, se cosecharon y contaron las mazorcas de cada una. Las mazorcas se desgranaron por separado para obtener el peso seco del grano que se ajustó a 14% de humedad en la estufa de secado. El rendimiento de grano se calculó sumando el grano de las 10 plantas, pesándolo y dividiéndolo entre área que abarcaban.

La suma de las mazorcas cosechadas en las 10 plantas se dividió entre el área que abarcaban para obtener el número de mazorcas por m<sup>2</sup>. El número de granos por mazorca se obtuvo al contar los granos de cada mazorca y el número de granos por m<sup>2</sup> se obtuvo al dividir el total de granos de las 10 plantas entre el área que ocupaban. El peso de 1 000 granos se determinó al contar y pesar 1 000 granos tomados de total de granos de las 10 plantas. Por último, el índice de prolificidad se obtuvo al dividir la suma de mazorcas cosechadas en las 10 plantas entre 10.

Componentes fisiológicos: La materia seca de las 10 plantas se pesó y se dividió entre el área que abarcaban para obtener la biomasa final. Por último, el índice de cosecha se obtuvo al dividir el rendimiento de grano entre la biomasa obtenida.

#### **4.5. Producción de biomasa, rendimiento y sus componentes**

En 2023, en la etapa de madurez fisiológica, se cosecharon las 10 plantas previamente seleccionadas de cada unidad experimental para medir la tasa de crecimiento. Se contaron las mazorcas por planta y se trillaron por separado para determinar el peso seco del grano, así como para calcular el rendimiento de grano final. Además, se registraron el número de mazorcas por m<sup>2</sup>, el número de granos por mazorca y el número de granos por m<sup>2</sup>.

Para determinar el peso individual de grano, se contaron y pesaron 1 000 granos de cada unidad experimental. La materia seca de cada estrato (hojas y tallo principal) se obtuvo secando las muestras en una estufa de aire forzado a 60 °C durante 72 horas. Esto permitió calcular los componentes fisiológicos del cultivo, incluyendo la biomasa final y el índice de cosecha.

#### **4.6. Tasa de crecimiento**

En el año 2023, en la etapa V14, que corresponde a 20 días antes de la floración, se seleccionaron 10 plantas de los dos surcos centrales de cada unidad experimental para medir y registrar la altura de la planta y el diámetro del tallo. Al mismo tiempo, de la parcela adicional a cada bloque, se seleccionaron al azar otras 10 plantas del mismo cultivar, se midieron y registraron las mismas variables. Posteriormente, estas plantas fueron cortadas y llevadas a una estufa de secado, donde se mantuvieron a 60 °C durante 72 horas para obtener su peso seco, que se determinó utilizando una balanza.

La biomasa pre floración se estimó con el programa Microsoft Excel mediante el modelo propuesto por (Andrade *et al.*, 1999).

$$Y = a + b (vt)$$

Dónde: a: ordenada al origen, b: coeficiente de regresión y vt: volumen de tallo.

La biomasa pos floración se estimó 20 días después de la floración. En esta etapa, se midieron la altura de planta, el diámetro del tallo, así como el diámetro del jilote de las 10 plantas previamente seleccionadas en la etapa previa a antesis de la unidad experimental. Al mismo tiempo, de la parcela adicional a cada bloque, se seleccionaron otras 10 plantas al azar y se midieron y registraron las mismas variables. Posteriormente, estas plantas fueron cortadas y llevadas a una estufa de secado, donde se mantuvieron a 60 °C durante 72 horas para obtener su peso seco, que se determinó utilizando una balanza. La biomasa posfloración se estimó con el paquete estadístico SAS ® mediante el modelo propuesto por (Andrade *et al.*, 1999).

$$Y = a + b_1 (vt) + b_2 (dj)$$

Dónde: a: ordenada al origen, b1: coeficiente de regresión, Vt: volumen de tallo, b2: coeficiente de regresión y dj: diámetro de jilote.

La tasa de crecimiento promedio se estimó de la siguiente manera:

$$TCP = \frac{PSPOST - PSPRE}{FPOST - FPRE}$$

Dónde: PSPRE: Peso seco prefloración, PSPOST: Peso seco postfloración, FPRE: Número de días del muestreo prefloración, FPOST: Número de días del muestreo postfloracion.

#### **4.7. Índice ambiental**

Para cada año, a partir de las tres fechas de siembra y las cuatro densidades de población, se generaron 12 combinaciones, cada una con su correspondiente

rendimiento de grano, lo que permitió calcular una media general. Luego, a cada uno de los 12 rendimientos de grano se le restó la media general, obteniendo así los 12 ambientes.

#### **4.8. Condiciones climáticas**

Para ambos años, las condiciones climáticas ocurridas durante el experimento (temperatura y precipitación) para las siguientes etapas: (E: emergencia, VT: floración masculina, R1: floración femenina, R6: madurez fisiológica), se tomaron de la estación meteorológica Davis® Vantage Pro 2 que se ubica en el sitio donde se realizó el experimento.

#### **4.9. Análisis estadístico**

Para ambos años, las variables de respuesta del experimento fueron sometidas a un análisis de varianza combinado de acuerdo con el modelo que contempla el diseño utilizado (Littell *et al.*, 1996). Cuando la prueba de F de los análisis de varianza resultó significativa, se realizó la separación de medias a través de la diferencia significativa honesta (DSH) o prueba de Tukey a un nivel de significancia del 5%. Utilizando el paquete estadístico R para Windows versión 4.0.5.

## **V. RESULTADOS**

Los resultados de la primera etapa del trabajo experimental fueron publicados en la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, durante el mes de julio del 2025. A continuación, se presenta su cita bibliográfica:

García, H.G., Araujo, D.R., Estrada, C.G., Martínez, R.C.G. y López S.J.A. (2025). Componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento de maíz en cultivares nativos e

híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en respuesta a densidad y fecha de siembra en Toluca.  
(2025). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. (4) (16).  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v16i4.3708>

Los resultados de la segunda etapa del trabajo experimental fueron enviados para su eventual publicación a la Revista Fitotecnia Mexicana, durante el mes de febrero de 2025.

A continuación, se presenta su cita bibliográfica preliminar:

García, H.G; Araujo, D.R; Estrada, C.G; Martínez, R.C.G y López S.J.A. (2025). Determinantes del rendimiento en maíces nativos e híbridos en respuesta al manejo agronómico. (*Revista Fitotecnia Mexicana*) (núm) (vol) (doi). Pendientes

## VI. DISCUSIÓN GENERAL

Las condiciones climáticas ocurridas para ambos ciclos mostraron que aun cuando el maíz sembrado en marzo y abril contó con un riego inicial que permitió la germinación y emergencia. El maíz sembrado en marzo para ambos años fue similar presentándose condiciones de alta temperatura y escasa precipitación desde el periodo vegetativo y hasta la floración. Además de enfrentar bajas temperaturas que oscilaron entre 2 y 6 °C desde la emergencia y la fase inicial del periodo vegetativo, así como una escasa precipitación de 156 mm que se prolongó hasta la etapa de antesis en el año 2023. Y de acuerdo con los resultados obtenidos por Saéz *et al.* (2024), quienes observaron que la sequía afectó la producción de biomasa al reducir la absorción de nutrientes y el movimiento de agua hacia los órganos de la planta, además de limitar el intercambio gaseoso y la transpiración.

Para el año 2022 el maíz sembrado en abril prevaleció en condiciones similares a las de marzo desde bajo condiciones de sequía que se prologo hasta el final del periodo

vegetativo. Por otra parte, en 2023 para el maíz sembrado en abril, las condiciones climáticas fueron generalmente favorables. La temperatura media desde la emergencia hasta 20 días después de la antesis fue de 16.4 °C, con una precipitación de 331 mm y una radiación solar de 2 208 MJ m<sup>-2</sup> en el mismo periodo. En este sentido, la radiación interceptada por el maíz puede variar dependiendo del ambiente, la época del año, la nubosidad, la capacidad de las plantas para interceptar la radiación fotosintéticamente activa (Otegui *et al.*, 1995).

Por otra parte, el maíz sembrado mayo bajo condiciones de secano, la temperatura fue favorable y precipitación se presentó desde la siembra para el año 2022. Finalmente, para el maíz sembrado en mayo del 2023, las condiciones ambientales también fueron favorables en términos de temperatura media, que fue de 17 °C desde la emergencia hasta 20 días después de la antesis, y una radiación solar de 1935 MJ m<sup>-2</sup>. No obstante, la precipitación acumulada de 360 mm durante este periodo estuvo acompañada de granizadas y vientos intensos, que causaron desgarre de hojas y acame de plantas lo cual impactó negativamente el número de granos y, en consecuencia, el rendimiento de grano final.

## **VII. CONCLUSIONES GENERALES**

Para el factor fecha de siembra se observó que la respuesta del cultivo de maíz vario en ambos años lo que se tribuye a la heterogeneidad de las condiciones agroclimáticas presentes en cada ciclo. Se sugiere explorar nuevas fechas de siembra intermedias para cada mes, con el objetivo de lograr una mayor precisión en la determinación del momento óptimo para sembrar. En cuanto a los cultivares, tanto híbridos como nativos, también se

registraron diferencias en el rendimiento de grano. El cultivar “Faisán” destacó notablemente por su alto rendimiento. Así mismo, entre los cultivares nativos el material “Nativo Blanco” mostró un rendimiento superior, lo que sugiere su potencial para ser utilizados en el mejoramiento genético de los maíces de Valles Altos. El aumento en la densidad de siembra incrementó el rendimiento de grano por hectárea, tanto en maíces híbridos como nativos. Por último, en lo que respecta a la interacción entre fecha, cultivar y densidad, se notaron diferencias significativas en cada año, influenciadas por las condiciones agroclimáticas de la zona de estudio. El presente trabajo aporta información importante para el manejo del cultivo de maíz, y orientación de los programas de mejoramiento genético.

### VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abendroth, L. J., Woli, K. P., Myers, A. J. W. and Elmore, R. W. (2017). Yield-Based Corn Planting Date Recommendation Windows for Iowa. *Cftm*, 3(1),0. doi:10.2134/cftm2017.02.0015.
- Ali, A., Qadri, S., Mashwani, W. K., Brahim Belhaouari, S., Naeem, S., Rafique, S. and Anam, S. (2020). Machine learning approach for the classification of corn seed using hybrid features. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1097–1111. doi:10.1080/10942912.2020.1778724.
- Andrade, F. H., Vega, C. R. C., Uhart, S. A., Cirilo, A., Cantarero, M. and Valentinuz, O. (1999). Kernel number determination in maize. *Crop Science*, 39(2), 453-459.
- ASGROW. (2022). Catálogo de productos. [https://www.asgrow.com.mx/es-mx/productos/maiz/product-detail-template.html/faisan-valles\\_altos\\_altos.html](https://www.asgrow.com.mx/es-mx/productos/maiz/product-detail-template.html/faisan-valles_altos_altos.html). P 1-2. (Consultado el 27/06/25).

- ASPROS. (2022). Catálogo productos de Valles Altos. <https://asprosemillas.com/wp-content/uploads/2022/04/Valles-Altos-2022.pdf>. (Consultado el 27/06/25).
- Assefa, Y., Vara, P.P.V., Carretero, P., Hinds, M., Bhalla, G., Schon, R., Jeschke, M., Paszkiewicz, S. and Ciampitti, I.A. (2016). Respuestas de rendimiento a la densidad de siembra para híbridos de maíz modernos de EE. UU.: un análisis de síntesis. *Cosecha Ciencia*, 56, 2802–2817.
- Bayer. (2018). <https://www.dekalb.es/grano-maiz/manejo-del-cultivo-den-maiz/algunos-datos-sobre-la-densidad-de-siembra>. (Consultado el 27/06/25).
- Bos, H.J. and Vos, J. (2000). Morphological analysis of plant density effects in wheat. *Field Crops Research*, 31, 149-152.
- Bruns, H. A. and Abbas, H.K. (2006). Efectos de la fecha de siembra en el maíz Bt y no Bt en el centro-sur de EE. UU. *Agron. J.* 98: 100 – 106. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0143> <http://gateway>.
- Contreras, R. A., Martínez, R. C. G. y Estrada, C. G. (2012). Eficiencia en el uso de la radiación por híbridos de maíz de Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(2), 161-169.
- Djaman, K., Allen, S., Djaman, S.D., Koudahe, K., Irmak, S., Puppala, N., Darapuneni, K.M. and Angadi, V.S. (2022). Planting date and plant density effects on maize growth, yield and water use efficiency. *Environ. Chall.* 6, 100417. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100417>.
- Espinosa, C, A., Tadeo, R, M., Turrent, F, A., Sierra, M. M., Gómez, M, N. y Zamudio, G, B. (2013). Rendimiento de variedades precoces de maíz grano amarillo para Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana*, 24 (1), 93-99.

FAO, (2025). <https://www.fao.org/4/x7650s/x7650s02.htm>. (Consultado el 27/06/25).

FAOSTAT. (2023). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Base de datos estadísticos. <http://www.fao.org>. (Consultado el 27/06/25).

FIRA, 2024. <https://www.fira.gob.mx/Nd/index.jsp>. (Consultado el 27/06/25).

Fischer, R. A., Moreno, R. O. H., Ortiz, M, I., and Sayre, K. D. (2019). Yield response to plant density, row spacing and raised beds in low latitude spring wheat with ample soil resources: An update. *Field Crops Research*, 232, 95–105. doi:10.1016/j.fcr.2018.12.011.

García, E. (1988). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México. 246 p.

García, M. H., Flores, M. H., Khalil, G. A., Ascencio, H. R., Tijerina, C. L., Vázquez, P. M. A. and Mancilla, V. O. R. (2020). Estimación de la fracción de cobertura de la vegetación en maíz (*Zea mays L.*) mediante imágenes digitales tomadas por un vehículo aéreo no tripulado (UAV). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(4), 399-399.

Garnica, R.M.G. y Martínez, F.H.E. (2024). El maíz y la tortilla: la base de la alimentación del mexicano. *Milenaria, Ciencia y Arte*, (24), 22–25. <https://doi.org/10.35830/mcya.vi24.536>

GASO, D. (2018). Respuesta del rendimiento de soja a la densidad de siembra en ambientes de productividad contrastante. *Agrociencia Uruguay*. 22(2), pp.24-35. ISSN 1510-0839. <http://dx.doi.org/10.31285/agro.22.2.7>.

- González, A., Sahagún, J., Vázquez, L. M., Rodríguez, J. E., Pérez, D. J., Domínguez, A., Franco, O. y Balbuena, A. (2009). Identificación de variedades de maíz sobresalientes considerando el modelo AMMI y los índices de Eskridge. *Agric. Téc. Méx.* 35(2):189-200.
- Hu, W., Lu, Z., Meng, F., Li, X., Cong, R., Ren, T. and Lu, J. (2020). The reduction in leaf area precedes that in photosynthesis under potassium deficiency: the importance of leaf anatomy. *New Phytologist*, 227(6), 1749-1763.
- INTAGRI. (2018). Densidad de Siembra en el Cultivo de Maíz. Serie Cereales Núm. 38. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p.
- Jia, Q., Sun, L., Mou, H., Ali, S., Liu, D., Zhang, and Jia, Z. (2018). Effects of planting patterns and sowing densities on grain-filling, radiation use efficiency and yield of maize (*Zea mays* L.) in semi-arid regions. *Agricultural Water Management*, 201, 287–298. doi:10.1016/j.agwat.2017.11.025.
- Lacasa, J., Gaspar, A., Hinds, M., Jayasinghege, D. S., Berning, D. and Ciampitti, I.A. (2020). Bayesian approach for maize yield response to plant density from both agronomic and economic viewpoints in North America. *Scientific Reports*, 10(1). doi:10.1038/s41598-020-72693-1.
- Lauer, J.G., Carter, P.R., Wood, T.M., Diezel, G., Wiersma, D.W., Rand, R.E. and Mlynarek, M.J. (1999). Respuesta del híbrido de maíz a la fecha de siembra en el cinturón de maíz del norte. *Revista de Agronomía*, 91(5), 834. doi: 10.2134 / agronj1999.915834x.
- Li, J., Xie, R., Wang, K., Hou, P., Ming, B., Zhang, G. and Li, S. (2018). Respuesta de la estructura del dosel, intercepción de luz y rendimiento de grano a la densidad de plantas en maíz. *La Revista de Ciencias Agrícolas*, 156(6), 785-794. doi:10.1017/S0021859618000692.

- Littell, C., Milliken, A., Stroup, W. and Wolfinger, D. (1996). SAS® System for mixed models. Cary, NC: SAS Institute Inc. pp. 633.
- Loy, D. D. and Lundy, E. L. (2019). Nutritional Properties and Feeding Value of Corn and Its Coproducts. *Corn*, 633–659. doi:10.1016/b978-0-12-811971-6.00023-1.
- Ma, L., Li, Y., Wu, P., Zhao, X., Gao, X. and Chen, X. (2020). Recovery growth and water use of intercropped maize following wheat harvest in wheat/maize relay strip intercropping. *Field Crops Research*, 256, 107924.
- Maddonni, G., Angel, Parco., M. and Rotili, D. H. (2021). Manejo de la estructura del cultivo de maíz en ambientes marginales de la Argentina; Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía; *Agronomía y Ambiente*; 41; 2; 11; 90-105.
- Maltense, N.E., Michelin C.I., and Melchiori, R.J.M. (2022). Densidad y mecanismos de plasticidad para el maíz en escenarios climáticos inciertos. *Serie Extensión INTA Paraná* N°89, pág. 68-75.
- Martínez, G, A., Zamudio, G, B., Tadeo, R. M., Espinosa, C. A., Cardoso, G, J, C., Vázquez, C, G. y Turrent, F, 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>.
- Massigoge, I., Ross, F., Fernández, J. A., Echarte, L., Ciampitti, I. A. and Cerrudo, A. (2022). Contribution of tillers to maize yield stability at low plant density. *Crop Science* 62(6). 2451-2461. <https://doi.org/10.1002/csc2.20827>.
- Mendoza, C.M., González, H.V.A., Engleman, E.M., y Ortiz, C. J. (2000). Área de floema y proliferación en maíz. *Agrociencia*, 34(2), marzo / abril, pp. 141-151 Colegio de Postgraduados Texcoco, México.

- Mercer, K.L., Perales, H.R. and Wainwright, J.D. (2012). Climate change and the transgenic adaptation strategy: Smallholder livelihoods, climate justice, and maize landraces in Mexico. *Glob. Environ. Chang.*, 22, 495–504.
- Nafziger, E.D. (1994). Fecha de siembra de maíz y población de plantas. *Jpa*, 7(1), 59. doi: 10.2134 / jpa1994.0059
- Nasiri, A., Sam, D.M. and Shirani, R. A. (2021). La respuesta del crecimiento y rendimiento de los genotipos de canola a la aplicación de ácido húmico en diferentes densidades de plantas. *Gesunde Pflanzen* 73, 17–27. <https://doi.org/10.1007/s10343-020-00524-4>.
- Otegui, M, E., Nicolini, M, G., Ruiz, R, A. and Dodds, P. (1995). Sowing date effects on grain yield components for different maize genotypes. *Agron. J.* 87:29-33.
- Qi, W. Z., Liu, H. H., Liu, P., Dong, S.T., Zhao, B.-Q., So, H. B. and Zhao, B. (2012). Morphological and physiological characteristics of corn (*Zea mays* L.) roots from cultivars with different yield potentials. *European Journal of Agronomy*, 38, 54–63. doi:10.1016/j.eja.2011.12.003.
- Quiroz, M, J., Pérez, L, D de J., González, H, A., Rubí, A, M, Gutiérrez, R, F., Franco M, J, R, P., and Ramírez, D, J, F. (2017). Respuesta de 10 cultivares de maíz a la densidad de población en tres localidades del centro mexiquense. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1521-1535.
- Ramírez, D. J. L., Alemán, de la T., I., Bautista, R. E., Vidal, M. V. A., Salinas, M. Y. y Ledesma, M. A. (2021). Respuesta de híbridos subtropicales de maíz a la densidad de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(2), 173-173.

- Ren, B., Liu, W., Zhang, J., Dong, S., Liu, P., and Zhao, B. (2017). Effects of plant density on the photosynthetic and chloroplast characteristics of maize under high-yielding conditions. *The Science of Nature*, 104(3-4). doi:10.1007/s00114-017-1445-9.
- Sáez, C.A., Morales, G.D., Gordon, M.R., Jaén, V. J., Franco, B. J and Ramos, M. F. (2024). Sensitivity of the corn (*Zea mays* L.) crop to different periods of controlled water deficit. *Agronomía Mesoamericana*, 35(1), 55660. <https://dx.doi.org/10.15517/am.2024.55660>
- Shao, H., Xia, T., Wu, D., Chen, F. and Mi, G. (2018). Root growth and root system architecture of field-grown maize in response to high planting density. *Plant and Soil*, 430(1-2), 395–411. doi:10.1007/s11104-018-3720-8.
- Sher, A., Khan, A., Cai, L. J., Irfan Ahmad, M., Asharf, U., and Jamoro, S. A. (2017). Response of Maize Grown Under High Plant Density; Performance, Issues and Management - A Critical Review. *Advances in Crop Science and Technology*, 05 (03). doi:10.4172/2329-8863.1000275.
- Shrestha, J., Yadav, D.N., Amgain, L.P. and Sharma, J.P. (2018). Effects of nitrogen and plant density on maize (*Zea mays* L.) phenology and grain yield. *Current Agriculture Research Journal*, 6(2): 175-182.
- SIAP. (2024). Mayo, 2022, de SIAP Sitio web: [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/identidad/index.jspuf](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/identidad/index.jspuf). (Consultado el 27/06/25).
- Simkin, A. J., López, C.P. E. and Raines, C. A. (2019). Feeding the world: improving photosynthetic efficiency for sustainable crop production. *Journal of Experimental Botany*, 70(4), 1119-1140.

- Song, Y.H., Yukui, R., Guta, B. and Jin, C.L. (2016). Morphological Characteristics of Maize Canopy Development as Affected by Increased Plant Density. *PLoS ONE* 11: e0154084.
- Spink, J. H., Semere, T., Sparkes, D. L., Whaley, J. M., Foulkes, M. J., Clare, R. W. and Scott, R. K. (2000). Effect of sowing date on the optimum plant density of winter wheat. *Annals of Applied Biology*, 137(2), 179–188. doi:10.1111/j.1744-7348.2000.tb00049.x.
- Tadeo, R. M., Zamudio. B., Espinosa, C. A., Turrent, F. A., Cárdenas, M. A. L., López, L.C., Arteaga, E. I. y Valdivia, B. R. (2015). Rendimiento de maíces nativos e híbridos en diferente fecha de siembra y sus unidades calor. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(1), 33-43.
- Tang, C., Sun, C. and Du, F. (2018). Efecto de la Densidad de Plantación en la Producción de Sorgo Dulce y Biomasa en Tierras Semiáridas Marginales. *Sugar Tech* 20, 312–322 <https://doi.org/10.1007/s12355-017-0553-3>.
- Torabi, B., Dastfalinejad, N., Soltani, A. and Rahimi, A. (2020). The effect of planting date and density on leaf Production and Senescence rate in Safflower. *Journal of Plant Production Research*, 27(1), 93–106.
- Tsimba, R., Edmeades, G.O., Millner, J.P. and Kemp, P.D. (2013). The effect of planting date on maize: phenology, thermal time durations and growth rates in a cool temperate climate. *Field Crops Res.*;150: 145-155.
- Van Roekel, R. J. and Coulter, J. A. (2011). Agronomic Responses of Corn to Planting Date and Plant Density. *Agronomy Journal*, 103(5),1414. doi:10.2134/agronj2011.0071

Wu, Y., Gong, W., Wang, Y., Yong, T., Yang, F., Liu, W. and Yang, W. (2018). Leaf area and photosynthesis of newly emerged trifoliolate leaves are regulated by mature leaves in soybean. *Journal of plant research*, 131(4), 671-680.

Wynne, K., Neely, C. B., Adams, C., Kimura, E., De Laune, P. B., Hathcoat, D. and Gerrish, B. (2020). Testing row spacing and planting rate for fall-planted spring canola in the southern United States. *Agronomy Journal*, 112(3), 1952–1962. doi:10.1002/agj2.20201.

Zhang, Y., Wang, R., Wang, S., Ning, F., Wang, H., Wen, P. and Li, J. (2019). Effect of planting density on deep soil water and maize yield on the Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*, 223, 105655. doi:10.1016/j.agwat.2019.05.039