

## Componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento de maíz en respuesta a densidad y fecha de siembra en Toluca

Gustavo García-Hernández<sup>1</sup>  
Rogelio Araujo-Díaz<sup>1</sup>  
Gaspar Estrada-Campuzano<sup>2,§</sup>  
Carlos Gustavo Martínez-Rueda<sup>2</sup>  
José Antonio López-Sandoval<sup>2</sup>

1 Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales-Universidad Autónoma del Estado de México. Estado de México, México . CP. 50295. (ggarciah@uaemex.mx; raraujod@uaemex.mx).

2 Facultad de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma del Estado de México. Estado de México, México. CP. 50295. (cgmartinezr@uaemex.mx; jalopezsa@uaemex.mx).

Autor para correspondencia: gestradac@uaemex.mx.

### Resumen

El rendimiento de grano en maíz es función del genotipo, el manejo agronómico y las condiciones ambientales donde se cultiva. El objetivo de esta investigación fue estudiar el impacto de la fecha de siembra y densidad de población sobre el rendimiento de grano y sus componentes, en cuatro genotipos de maíz para Valles Altos de México. El experimento se llevó a cabo en el Valle de Toluca, durante el ciclo primavera-verano de 2022. Se evaluaron dos híbridos de cruza trilineal: Faisán<sup>®</sup> y Cherokee<sup>®</sup> y dos cultivares nativos: Nativo Blanco y Amarillo Zanahoria, bajo cuatro densidades de población 50 000, 60 000, 70 000 y 80 000 plantas ha<sup>-1</sup> en tres fechas de siembra en los meses de marzo, abril y mayo. En cada fecha de siembra se usó un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Los resultados mostraron en la siembra de mayo el mayor rendimiento de grano 6.7 t ha<sup>-1</sup> 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. 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>. 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 x cultivar x 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>.

### Palabras clave:

*Zea mays* L., densidad de población, fecha de siembra.



## Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales de mayor importancia a nivel global (Desloires *et al.*, 2024). La superficie mundial sembrada con este cultivo es de 203 470 007 ha, con una producción de 1 163 497 383 t y un rendimiento promedio de 5.7 t ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2022). En México en 2022, se cosecharon 6 777 997 ha, con una producción de 26 625 693 t y un rendimiento promedio de 3.9 t ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2022).

El rendimiento de grano se puede explicar a partir del número de granos por m<sup>2</sup> y peso individual de grano, el crecimiento y la partición de biomasa (Andrade *et al.*, 2023). El número de granos por m<sup>2</sup> se define en torno a la antesis, período en el que el cultivo requiere condiciones ambientales óptimas para fijar el número de mazorcas por m<sup>2</sup> y el número de granos por mazorca (Andrade *et al.*, 1999).

Los procesos ecofisiológicos que regulan la formación de estructuras reproductivas son clave para maximizar el rendimiento de grano en maíz (Andrade *et al.*, 2023). El cual responde a factores genéticos, manejo agronómico y el ambiente de cada sitio (García *et al.*, 2020; Djaman *et al.*, 2022).

Se sabe que modificar la densidad y fecha de siembra produce cambios morfológicos y fisiológicos que regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas (Djaman *et al.*, 2022). Y que una alta densidad de población reduce la interceptación de luz, el índice de área foliar y la fotosíntesis de las hojas (Raza *et al.*, 2019; Feng *et al.*, 2019).

En contraste una baja densidad de población mejora los recursos por planta lo que permite la expresión del amacollamiento y la prolificidad (Maltense *et al.*, 2022). En el suroeste de EE. UU., Djaman *et al.* (2022) al evaluar seis densidades de plantas desde 54 700 y hasta 120 100 plantas ha<sup>-1</sup> en 2019 y 2020 observaron el mayor rendimiento 16 800 kg ha<sup>-1</sup> bajo la densidad de 101 700 plantas ha<sup>-1</sup> la cual fue estadísticamente similar a 17 000 kg ha<sup>-1</sup> con una densidad de 88 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Mientras que, la siembra del 18 de mayo mostró el mayor rendimiento de grano 17 000 kg ha<sup>-1</sup> con una densidad de 88 000 plantas ha<sup>-1</sup>.

En zonas con restricciones ambientales de Argentina, una baja densidad de población y una siembra tardía estabilizó el rendimiento de grano al mejorar el uso de recursos, incrementando la plasticidad reproductiva y vegetativa del maíz (Otegui y Mercáu, 2021; Maddonni *et al.*, 2021; Massigoe *et al.*, 2022).

En este sitio, la densidad de 3.6 plantas m<sup>-2</sup> obtuvo un mayor rendimiento de grano comparada con 7.3 plantas m<sup>-2</sup>. Mientras que, los híbridos DK69-10 y DM2738 mostraron rendimientos 6 952 kg ha<sup>-1</sup>, con un 30.5% de aportación al rendimiento total a través de los macollos (Maltense *et al.*, 2022).

En Valles Altos de México Tadeo *et al.* (2015) al evaluar el rendimiento de cuatro cultivares: Ixtlahuaca y Atlacomulco (nativos) y H-50 y H-52 (híbridos), bajo dos fechas de siembra y cosecha, a una densidad de 60 000 plantas ha<sup>-1</sup> observaron, el mayor rendimiento en la siembra del 17 de mayo y cosecha a 177 y 160 días 8 570 kg ha<sup>-1</sup> y 7 488 kg ha<sup>-1</sup>. En cambio, la siembra del 01 de junio y cosecha a 162 y 145 días disminuyó el rendimiento de grano 7 185 kg ha<sup>-1</sup> y 6 082 kg ha<sup>-1</sup>.

Por otra parte, Martínez *et al.* (2018) evaluaron el rendimiento de grano de 10 híbridos de maíz en cinco ambientes y fechas de siembra (Cuendó 05 de abril, Jocotitlán 13 de abril, Ixtlahuaca 23 de abril, Temascalcingo 03 de mayo y Jilotepec 25 de mayo) y una densidad de siembra de 95 000 plantas ha<sup>-1</sup> observando que el híbrido de mayor productividad fue Atziri Puma 12 t ha<sup>-1</sup>. Mientras que en Jocotitlán se observó el mayor rendimiento promedio con 12.4 t ha<sup>-1</sup> de grano.

Mientras que, Quiroz *et al.* (2017) al evaluar 10 cultivares de maíz, en tres localidades, con tres densidades de siembra 104 167, 78 125 y 62 500 plantas ha<sup>-1</sup> observaron que a 104 167 plantas ha<sup>-1</sup> el rendimiento fue de 10.03 t ha<sup>-1</sup> mientras que el cultivar P204W obtuvo el mayor rendimiento de grano 10 t ha<sup>-1</sup>.

Finalmente, Espinosa *et al.* (2013) al evaluar el rendimiento de grano de cultivares precoces de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México, sembrados en el mes de junio en condiciones de secano, con 4 5000 plantas ha<sup>-1</sup>, observaron el mayor rendimiento de grano con el cultivar Oro Ultra UNAM C 6 913 kg ha<sup>-1</sup>.

Por lo tanto, la fecha y densidad de siembra óptima deben determinarse según las condiciones locales (Djaman *et al.*, 2022; Andrade *et al.*, 2023). En la zona de Valles Altos de México es necesario generar y actualizar la información referente a la generación del rendimiento de grano en maíz. El objetivo de esta investigación fue estudiar el impacto de la fecha y densidad de siembra, sobre el rendimiento de grano y sus componentes para cuatro cultivares de maíz en Toluca, Estado de México.

## Materiales y métodos

### Sitio experimental

El experimento se realizó en el ciclo primavera-verano 2022 en la Facultad de Ciencias Agrícolas, 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 longitud norte, 99° 39' 38" de latitud oeste y a una altitud de 2 640 m. 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, con lluvias en verano y escasa precipitación en invierno (5%), temperatura media anual de 14 °C y precipitación promedio anual de 900 mm (González *et al.*, 2009).

### Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron dos híbridos comerciales de maíz de cruza trilineal Faisán y Cherokee (Cuadro 1) y dos nativos Nativo Blanco de la comunidad de El Cerrillo Piedras Blancas y Amarillo Zanahoria de ICAMEX en tres fechas de siembra: (04 de marzo, 05 de abril, 04 de mayo) y 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).

**Cuadro 1. Características de los maíces híbridos evaluados.**

	C	MOD	DAF	DAM	AM (m)	P (m)	DEN	MSNM
Genotipo								
Cherokee	Intermedio	Riego y temporal	90-95	185-90	1.39	2.1	90 000	2000-2700
Faisán	Intermedio tardío	Riego y temporal	90-95	185-90	1.1-1.15	2.25-2.45	60 000	2000-2700

Ciclo (C); modalidad (MOD); días a floración (DAF); días a madurez (DAM); altura de mazorca (AM); altura de planta (AP); densidad de población (DEN); metros sobre el nivel del mar (MSNM) (ASPROS®, 2022).

Cada parcela estuvo formada por cuatro surcos separados a 80 cm, con una longitud de 5 m cada uno. Cada fecha se consideró como un ambiente en particular; empleando un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

### Condiciones generales del experimento

Para garantizar las densidades deseadas se usaron cintas marcadas con las distancias entre plantas ya mencionadas. Las siembras de marzo y abril contaron con un riego inicial mientras que, la siembra de mayo fue en condiciones de temporal. El cultivo se mantuvo libre de malezas mediante un control químico (Gesaprim Calibre 90<sup>®</sup> 2 kg de ia ha<sup>-1</sup> como pre emergente y Peak Turbo<sup>®</sup> 500 g de ia ha<sup>-1</sup>, como post emergente).

En la siembra se fertilizó con la dosis de NPK (69-46-60) utilizando urea, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio como fuentes. Posteriormente a los 70 días se fertilizó con 138 kg de N ha<sup>-1</sup>. El seguimiento fenológico se registró durante todo el ciclo.

## Rendimiento y sus componentes

Componentes morfológicos: en madurez fisiológica de los dos surcos centrales de cada parcela se seleccionaron 10 plantas con competencia completa a cada una se le midió la altura, se cosecharon y contaron las mazorcas. Estas se desgranaron por separado para obtener el peso seco del grano el cual 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.

El total de 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 ocupaban para obtener la biomasa. Y el índice de cosecha se obtuvo al dividir el rendimiento de grano entre la biomasa.

## Condiciones climáticas

La temperatura y precipitación para: las tapas (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.

## Análisis estadístico

Las variables de respuesta del experimento fueron sometidas a un análisis de varianza combinado. 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.

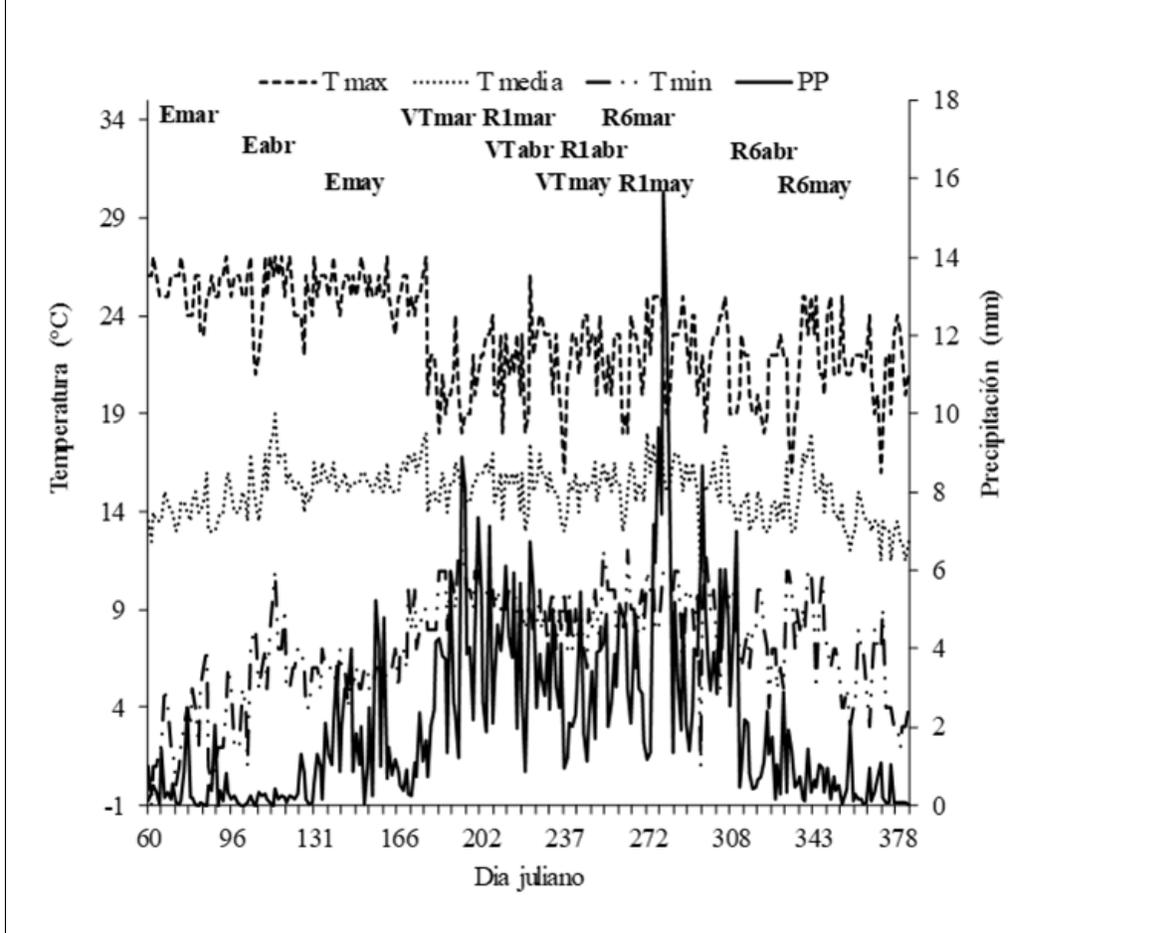
## Resultados y discusión

### Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas durante el experimento se presentan en la Figura 1, en ella se observa que, la alta temperatura y escasa precipitación se presentaron desde el periodo vegetativo y hasta la floración para el maíz sembrado en marzo, replicándose en el periodo vegetativo del maíz sembrado en abril. Mientras que, para el maíz sembrado en mayo dichas condiciones fueron favorables en el ciclo.



Figura 1. Condiciones agroclimáticas ocurridas durante la conducción del trabajo experimental. E= emergencia; VT= floración masculina; R1= floración femenina; R6= madurez fisiológica.



En el Cuadro 2, se muestran los valores de F y su significancia estadística para las variables estudiadas, donde se aprecian efectos significativos en la mayoría de las variables para los factores fecha y cultivar. Para el factor densidad se observaron diferencias significativas para rendimiento de grano, biomasa a madurez, número de granos por  $m^2$ , número de mazorcas por  $m^2$  y altura de planta.



**Cuadro 2. Valores de F y su significancia estadística para el rendimiento.**

FV	gl	REND	IC	BIOMM	NG	P1000G	IP	NM	NGMZ	AP
Fecha	2	69.7**	6.7	103**	467.6**	29.3**	11.8**	119.3**	210.8**	425.6**
Cultivar	3	118.5**	3	113.5**	46.4**	30.6**	1.8ns	80.8**	46.6**	1354.7**
Densidad	3	140.7**	0.2ns	218.5**	60.3**	1.7ns	0.8ns	196.9**	4**	13.7**
C x D	9	7.2**	1.5ns	12.4**	1.5ns	2	1.4ns	9**	5.1**	15.4**
F x C	6	34.2**	9.7**	11.5**	9.7**	11.9**	0.7ns	13.2**	17.5**	38.9**
F x D	6	4.9**	2.3	10.1**	5.7**	4.1**	0.6ns	2.9	4.0**	21.6**
F x C x D	18	2.6**	2.9**	13.5**	4.1**	6.4**	0.6ns	5.9**	5.2**	17.3**
Error (CM)	135	2535.6	0.001	10920.5	53763.3	487.4	0.003	0.2	707.6	0.06
CV (%)		3.3	9.4	6.5	12	21	15.9	6.8	10.1	3.6

Fuente de variación (FV); grados de libertad (gl); rendimiento de grano (REND); índice de cosecha (IC); biomasa a madurez (BIOMM); número de granos por m<sup>2</sup> (NG); peso de mil granos (P1000G); índice de prolificidad (IP); número de mazorcas por m<sup>2</sup> (NM); número de granos por mazorca (NGMZ) y altura de planta (AP) para cuatro cultivares de maíz en Toluca, México. CM= cuadrado medio; \* = significativo al 0.05; \*\* = significativo al 0.01 y ns= no significativo.

En la interacción cultivar por densidad se observaron efectos significativos en la mayoría de las variables con excepción de índice de cosecha, número de granos por m<sup>2</sup>, peso de 1 000 granos e índice de prolificidad. Para la interacción fecha por cultivar se observaron efectos significativos ( $p < 0.05$ ) en la mayoría de las variables con excepción del índice de prolificidad.

En la interacción fecha por densidad hubo efectos significativos en rendimiento de grano, biomasa a madurez, número de granos por m<sup>2</sup>, peso de 1 000 granos, número de granos por mazorca y altura de planta. Para la interacción fecha por cultivar por densidad se observaron efectos significativos para rendimiento de grano, índice de cosecha, biomasa a madurez, número de granos por m<sup>2</sup>, peso de 1 000 granos, número de mazorcas por m<sup>2</sup>, número de granos por mazorca y altura de planta.

En el Cuadro 3 se observa que el maíz sembrado en mayo fue superior respecto al maíz sembrado en abril y marzo. En rendimiento de grano 18% y 15%, índice de cosecha 8% y 2%, biomasa a madurez 6% y 11%, número de granos por m<sup>2</sup> 36% y 32% y altura de planta 7% y 23% respectivamente. Mientras que, el maíz sembrado en marzo fue superior al maíz sembrado en abril y mayo en cuanto al peso de 1 000 granos.

**Cuadro 3. Comparación de medias para rendimiento.**

	REND (g m <sup>2</sup> )	IC	BIOMM (g m <sup>2</sup> )	NG (m <sup>2</sup> )	P 1000 G (g)	IP	NM (m <sup>2</sup> )	NGMZ	AP (m)
Fecha									
Marzo	578.14b	0.38ab	1511.42c	1677.58c	334a	1.21a	7.81a	323.17a	1.91c
Abril	564.14b	0.36b	1597.95b	1792.86b	317.34b	1.22a	7.93a	243.2b	2.28b
Mayo	673.34a	0.39a	1695.97a	2300.58a	303.51c	1.1b	6.95b	323.17a	2.44a
DSH	28.09	0.02	35.9	60.52	11.12	0.07	0.19	14.94	0.05
Cultivar									
Cherokee	591.06c	0.38a	1518.83b	1871.71b	323.16b	1.23a	8.13a	244.93b	1.89c
C. Blanco	637.52b	0.37a	1759.56a	1931.54b	340.85a	1.17a	6.98b	281.29a	2.77a
Faisán	689.33a	0.39a	1710.85a	2221.71a	301.2c	1.16a	8.16a	286.08a	2.32b
A. Zanahoria	502.92d	0.37a	1417.88c	1669.73c	307.91c	1.14a	6.99b	233.37b	1.87c
DSH	26.73	0.01	55.49	123.12	11.72	0.09	0.27	14.12	0.04
Densidad									
50 000	490.92c	0.38a	1291.98d	1545.79c	322.52a	1.18a	6.09d	265.33ba	2.22a

	REND (g m <sup>2</sup> )	IC	BIOMM (g m <sup>2</sup> )	NG (m <sup>2</sup> )	P 1000 G (g)	IP	NM (m <sup>2</sup> )	NGMZ	AP (m)
60 000	586.27b	0.37a	1593.5c	1974.48b	318.62a	1.2a	7.66c	255b	2.23a
70 000	674.33a	0.38a	1725.27b	2130.58a	319.54a	1.15a	7.98b	270.41a	2.15b
80 000	669.31a	0.37a	1796.38a	2043.83ba	312.45a	1.16a	8.53 <sup>a</sup>	254.93b	2.25a
DSH	26.73	0.01	55.49	123.12	11.72	0.09	0.27	14.12	0.04
Media	605.2	0.37	1601.78	1923.67	318.28	1.17	7.56	261.41	2.21

Rendimiento de grano (REND); índice de cosecha (IC); biomasa a madurez (BIOMM); número de granos por m<sup>2</sup> (NG); peso de mil granos (P 1000 G); índice de prolificidad (IP); número de mazorcas por m<sup>2</sup> (NM); número de granos por mazorca (NGMZ) y altura de planta (AP) para cuatro cultivares de maíz en Toluca, México. Medias con la misma letra dentro de columnas, no difieren significativamente entre sí a un nivel de significancia del 0.05 de la prueba de Tukey.

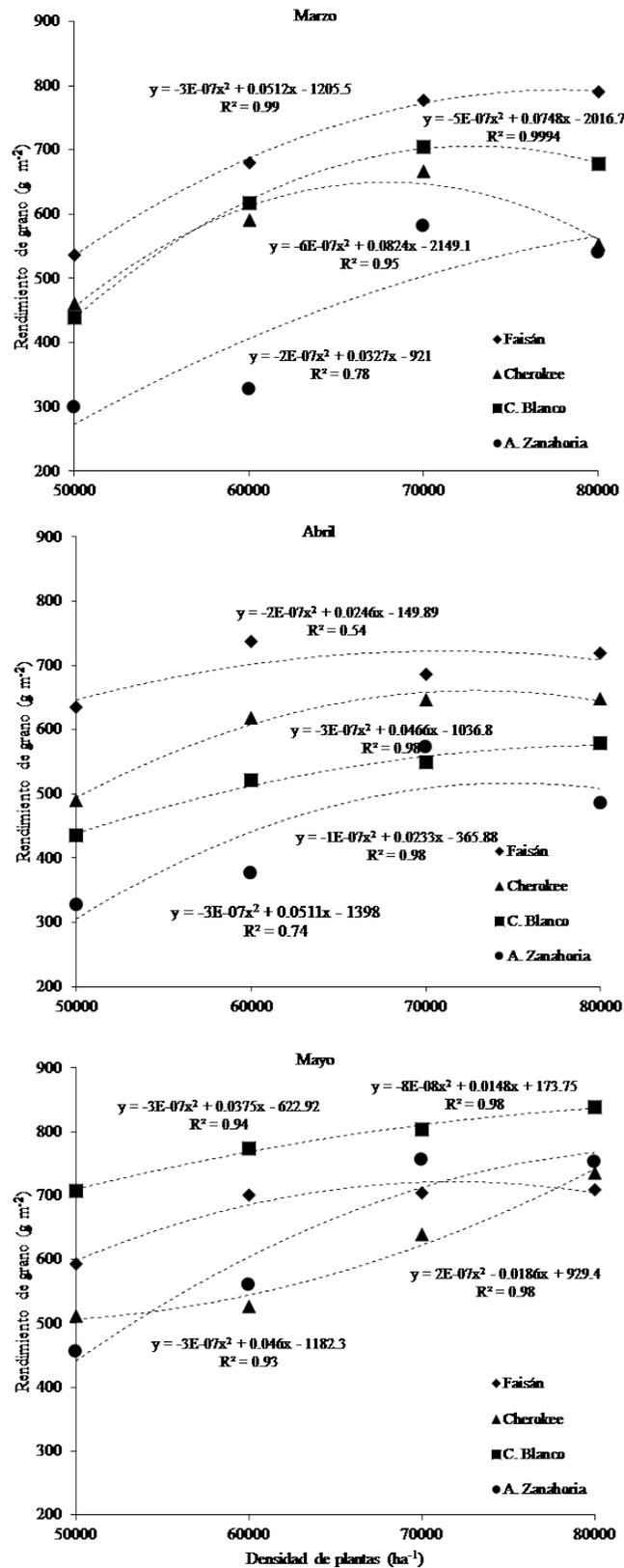
Para el factor genotipo Faisán mostró superioridad en rendimiento de grano con 8.5%, 16% y 30% y número de granos por m<sup>2</sup> 15%, 18% y 28% en comparación con Nativo Blanco, Cherokee y Amarillo Zanahoria, respectivamente. Mientras que, Nativo Blanco fue superior en peso de 1 000 granos en 5.5%, 12% y 10% y altura de planta en 40%, 18% y 40% a los cultivares Cherokee, Faisán y Amarillo Zanahoria, respectivamente.

Por último, para el factor de densidad, con 80 000 plantas ha<sup>-1</sup> se alcanzó mayor producción de biomasa a madurez en 4%, 12% y 31% y mayor número de mazorcas por m<sup>2</sup> en 7%, 12% y 33% respecto a 70 000, 60 000 y 50 000 plantas ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

En general para las tres fechas de siembra los cuatro cultivares mostraron incrementos en sus rendimientos al aumentar la densidad de siembra. El rendimiento de grano se incrementó 95.2 kg al pasar de marzo a mayo (Figura 2, Cuadro 3). En la siembra de marzo Faisán presentó el mayor rendimiento de grano (7.9 t ha<sup>-1</sup>) con 80 000 plantas ha<sup>-1</sup>, mientras que Cherokee, Amarillo Zanahoria y Nativo Blanco mostraron una reducción en el rendimiento de grano al pasar de 70 000 a 80 000 plantas ha<sup>-1</sup>.



Figura 2. Relación entre el rendimiento de grano y la densidad de plantas para cuatro variedades de maíz cultivados en cuatro densidades y tres fechas de siembra en Toluca, México.



En la siembra de abril, la respuesta al aumento en la densidad de población de los híbridos fue el incremento en el rendimiento de grano comparado con los cultivares nativos. De nueva cuenta, Faisán presentó el mayor rendimiento de grano ( $7.3 \text{ t ha}^{-1}$ ) con  $60\,000$  plantas  $\text{ha}^{-1}$ .

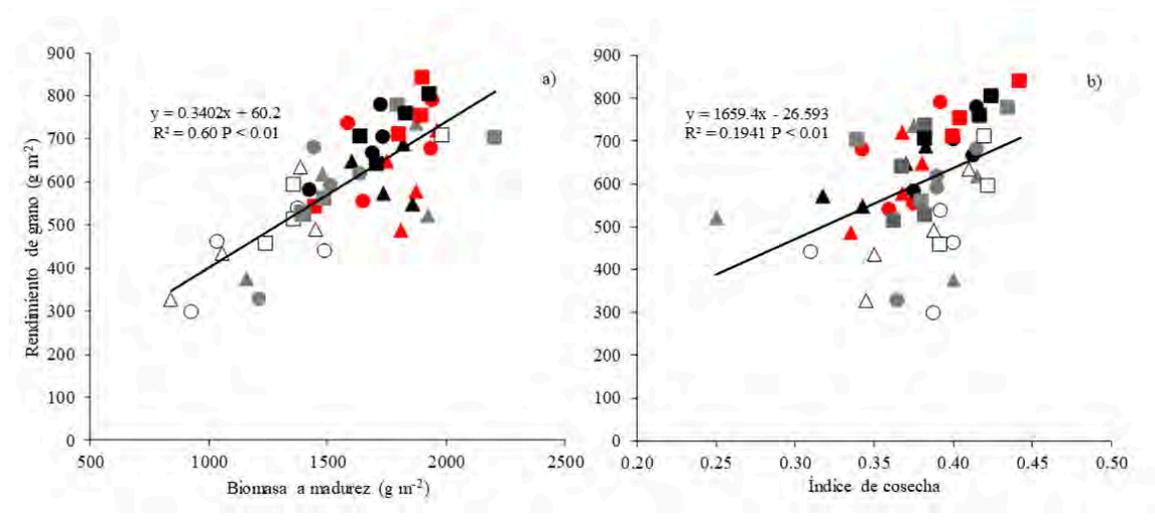
Contrariamente en la siembra de mayo la mejor respuesta al incremento en la densidad de siembra fue de los cultivares nativos, donde el mayor rendimiento de grano ( $8.3 \text{ t ha}^{-1}$ ) se observó con el cultivar Nativo Blanco con  $80\,000$  plantas  $\text{ha}^{-1}$  (Figura 2).

Estudios recientes han demostrado que los cambios en el índice de cosecha son consecuencia del mejoramiento genético y no del manejo agronómico del maíz (Ruiz *et al.*, 2023). Dicho componente no ha presentado cambios significativos y los aumentos en el rendimiento de grano en maíz se han atribuido a incrementos en la densidad de siembra, es decir una mayor producción de biomasa por  $\text{m}^2$  (Hütsch y Schubert, 2017).

En esta investigación se observó que los cultivares Faisán y Nativo Blanco sembrados en mayo a  $80\,000$  plantas  $\text{ha}^{-1}$  presentaron los mejores valores en la producción de biomasa (Cuadro 3). Lo que podría explicarse con la tasa de contribución promedio de la biomasa e índice de cosecha al rendimiento de grano  $73\%$  y  $26\%$  respectivamente reportada por Liu *et al.* (2020).

Las tres fechas de siembra mostraron un incremento en el rendimiento de grano conforme la densidad de población se aumentó (Figura 2). Los cambios en el rendimiento de grano al considerar el cultivar, la fecha y densidad de siembra, se explicaron principalmente por los cambios en la producción de biomasa a madurez ( $r^2 = 0.6$ ,  $p < 0.01$ ) (Figura 3a) y no por el índice de cosecha ( $r^2 = 0.19$ ,  $p < 0.01$ ), el cual mostró mayor estabilidad como ha sido reportado por Liu *et al.* (2020); Ruiz *et al.* (2023) (Figura 3b).

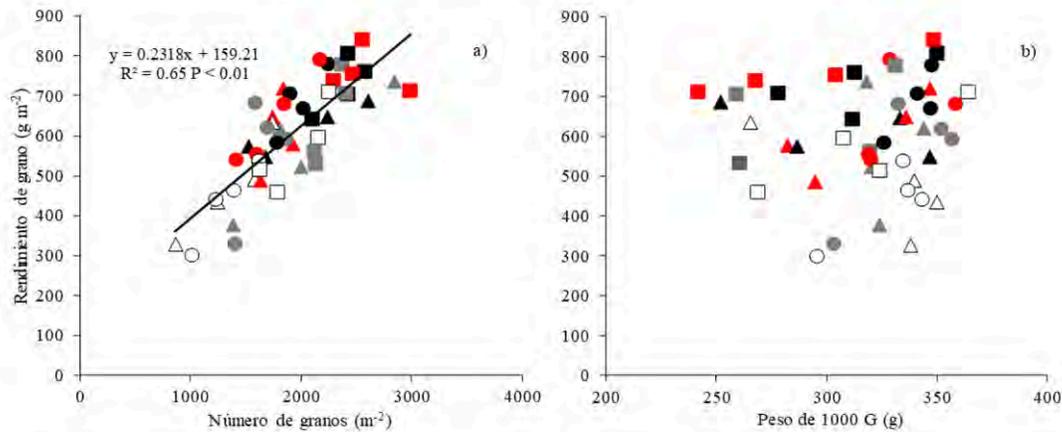
**Figura 3. Relación entre el rendimiento de grano con la biomasa a madurez (a) y el índice de cosecha (b) para cuatro cultivares de maíz cultivados bajo cuatro densidades de plantas en tres fechas siembra en Toluca, México. Triángulo= siembra de abril, círculo= siembra de marzo, cuadrado= siembra de mayo; color blanco=  $50\,000$ ; gris=  $60\,000$ ; negro=  $70\,000$  y rojo=  $80\,000$  plantas  $\text{ha}^{-1}$ .**



Según el estudio de Jiang *et al.*, (2020) mencionan que la fecha de siembra tardía afecta negativamente el rendimiento grano a través de una baja producción de biomasa. Sin embargo, en esta investigación el mayor rendimiento de grano atribuible a una mayor producción de biomasa se observó en el maíz sembrado en mayo favorecido por las condiciones ambientales (Figura 1), resaltando el cultivar Nativo Blanco (Figura 3a).

Los resultados muestran que los cambios en el rendimiento de grano por el efecto conjunto de la fecha y densidades de siembra se explican principalmente por los cambios que sufrió en el número de granos por  $\text{m}^2$  ( $r^2 = 0.65$ ,  $p < 0.01$ ) (Figura 4a) principalmente en densidades de  $70\,000$  y  $80\,000$  plantas  $\text{ha}^{-1}$ . Mientras que, el peso de grano se ve afectado por principalmente por otros factores como el aporte de nitrógeno (Fernández *et al.*, 2022).

**Figura 4. Relación entre el rendimiento de grano por m<sup>2</sup> y el número de granos por m<sup>2</sup> (a) y el peso de 1000 granos (b), para cuatro cultivares de maíz cultivados bajo cuatro densidades de plantas en tres fechas siembra en Toluca, México. Triángulo= siembra de abril, círculo= siembra de marzo, cuadrado= siembra de mayo; color blanco= 50 000; gris= 60 000; negro= 70 000 y rojo= 80 000 plantas ha<sup>-1</sup>.**



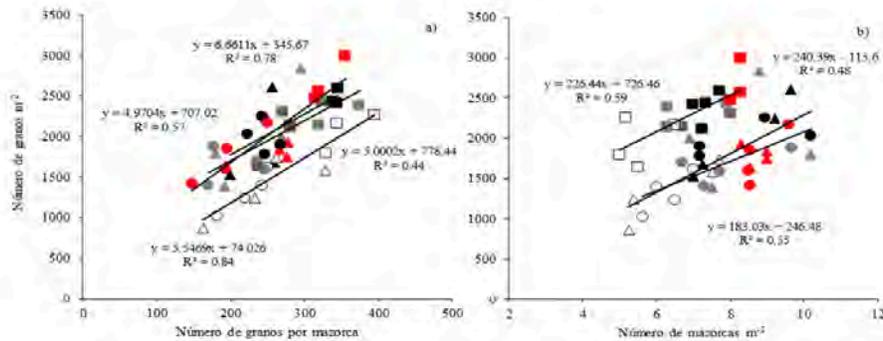
Sin embargo, en esta investigación no se evaluó dicho efecto, pero que podría justificar la inexistente relación entre el peso y el rendimiento de grano en cuanto al efecto de la fecha de siembra y densidad de población (Figura 4b). Por su parte, Ferraris *et. al* (2020) en un estudio llevado a cabo en Argentina utilizando densidades de siembra de 65 000, 75 000 y 90 000 plantas ha<sup>-1</sup> concluyeron que en siembras tardías el rendimiento de grano se correlaciona positivamente con el número de granos y la altura de planta coincidiendo con los resultados de esta investigación (Figura 4a y Cuadro 3).

Al analizar los componentes del número de granos m<sup>2</sup> las variaciones en este componente se asociaron en mayor medida al número de mazorcas por m<sup>2</sup>. En cuanto, a dicho componente los maíces sembrados en marzo (7.8) y abril (7.9) fueron estadísticamente iguales, mientras que entre Cherokee y Faisán (8.1), no hubo diferencia.

Finalmente, la densidad de 80 000 plantas ha<sup>-1</sup> con (8.5) fue superior respecto al resto de las densidades de población evaluadas (Cuadro 3 y Figura 5b). En el número de granos por mazorca no se observaron diferencias estadísticas (Cuadro 3 y Figura 5a) lo que coincide con Espinosa *et al.* (2013), quienes no encontraron diferencias significativas en el número de granos por mazorca al determinar la capacidad productiva de cultivares de grano amarillo.



Figura 5. Relación entre el número de granos por m<sup>2</sup> y el número de granos por mazorca (a) y el número de mazorcas por m<sup>2</sup> (b) para cuatro cultivares de maíz cultivados bajo cuatro densidades de plantas en tresfechas siembra en Toluca, México. Triángulo= siembra de abril, círculo= siembra de marzo, cuadrado= siembra de mayo; color blanco: 50 000; gris= 60 000; negro= 70 000 y rojo= 80 000 plantas ha<sup>-1</sup>.



## Conclusiones

Las densidades y fechas de siembra influyeron sobre el rendimiento de grano de los cuatro cultivares. La fecha de siembra tardía aumentó la biomasa, número de granos por m<sup>2</sup>, número de granos por mazorca y la altura de planta. Faisán presentó el mayor rendimiento de grano asociado a un mayor número de granos por m<sup>2</sup> no así en la siembra de mayo. 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>.

El cambio climático se enfatizó en 2022 por lo que las siembras de marzo y abril se afectaron por la alta temperatura y la baja precipitación después de la emergencia. La interacción fecha x cultivar x densidad reveló el mayor rendimiento de grano 8.3 t ha<sup>-1</sup>, en la siembra de mayo con el cultivar Nativo Blanco a 80 000 plantas ha<sup>-1</sup>.

## Bibliografía

- 1 Andrade, F. H.; Cirilo, A. G. and Uhart, S. U. 2023. Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz. MAIZAR, Asociación Maíz y Sorgo Argentino. 311-327. pp.
- 2 Andrade, F. H.; Vega, C. R.; Uhart, S. U.; Cirilo, A.; Cantarero, M. and Valentinuz, O. 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Science*. 39(2):453-459.
- 3 ASPROS. 2022. Catálogo productos de Valles Altos. <https://asprosemillas.com/wp-content/uploads/2022/04/Valles-Altos-2022.pdf>. 1-2 pp.
- 4 Desloires, J. D.; Ienco, D. A. and Botrel, A. A. 2023. Out of year corn yield prediction at field-scale using Sentinel-2 satellite imagery and machine learning methods. *Comput. Electron. Agric.* 209(1):1-14. 10.1016/j.compag.2023.107807.
- 5 Djaman, K. K.; Allen, S.C.; Djaman, S. D.; Koudahe, K. K.; Irmak, S. S.; Puppala, N. 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(1):1-11. 10.1016/j.envc.2021.100417.
- 6 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.
- 7 FAOSTAT. 2022. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Base de datos estadísticos. <http://www.fao.org>.

- 8 Feng, L.; Raza, M. A.; Chen, Y.; Khalid, M. H. B.; Meraj, T. A.; Ahsan, F. and Yang, W. 2019. Narrow-wide row planting pattern improves the light environment and seed yields of intercrop species in relay intercropping system. *PLoS one*. 14(2):e0212885.
- 9 Fernández, J. A.; Messina, C. D.; Salinas, A. M.; Prasad, P. V.; Nippert, J. B.; Ciampitti, I. A. 2022. Kernel weight contribution to yield genetic gain of maize: a global review and US case studies. *J. Exp. Bot.* 73(11):3597-3609. <https://doi.org/10.1093/jxb/erac103>.
- 10 Ferraris, G. N.; Lopez, M. B.; Barberis, S. S.; Mancuso, S. E. and Cuirolo, J. L. 2020. Estudio de la interacción entre cultivar, densidad y fertilización nitrogenada según fecha de siembra maíz-Campaña 2019/20. EEA Pergamino, INTA. 1-15 pp.
- 11 García, D. M. E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México. 246 p.
- 12 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*) mediante imágenes digitales tomadas por un vehículo aéreo no tripulado (UAV). *Revista Fitotecnia Mexicana*. 43(4):399-399.
- 13 González, H. A.; Sahagún, C. J.; Vázquez, L. M.; Rodríguez, J. E.; Pérez, D. J.; Domínguez, L. A.; Franco, M. O. y Balbuena, M. 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.
- 14 Hütsch, B. W. and Schubert, E. S. 2017. Harvest Index of Maize (*Zea mays* L.): are there possibilities for improvement? *Advances in Agronomy*. 37-82. 10.1016/bs.agron.2017.07.004.
- 15 Jiang, W.; Thapa, S.; Jessup, K.; Hao, B.; Hou, X.; Marek, T. and Xue, Q. 2020. Corn response to later than traditional planting dates in the Texas High Plains. *Crop Science*. 10.1002/csc2.20042.
- 16 Liu, W.; Hou, P.; Liu, G.; Yang, Y.; Guo, X. and Ming, B. 2020. Contribution of total dry matter and harvest index to maize grain yield a multisource data analysis. *Food and Energy Security*. 9(4):1-12. 10.1002/fes3.256.
- 17 Maddonni, G. A.; Angel, P. 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*. 412(11):90-105.
- 18 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 Núm. 89. 68-75 pp.
- 19 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. 10.29312/remexca.v9i7.1357.
- 20 Massigoge, I. M.; Ross, F. R.; Fernández, J. A.; Echarte, L. L.; Ciampitti, I. A. and Cerrudo, A. A. 2022. Contribution of tillers to maize yield stability at low plant density. *Crop Science*. 62(6):2451-2461. 10.1002/csc2.20827.
- 21 Otegui, M. E. and y Mercu, J. L. 2021. Fecha de siembra y rendimiento de maíz 1 en ambientes con provisión hídrica contrastante de la región central de Argentina. *Anales de la ANAV*, tomo LXXI. 150-160 pp. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/127399>.
- 22 Quiroz, M. J.; Pérez, L. D. 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 mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(7):1521-1535.

- 23 Raza, M. A.; Bin-Khalid, M. H.; Zhang, X.; Feng, L. Y.; Khan, I.; Hassan, M. J. and Yang, W. 2019. Effect of planting patterns on yield, nutrient accumulation and distribution in maize and soybean under relay intercropping systems. *Scientific reports*. 9(1):4947.
- 24 Ruiz, A. A.; Trifunovic, S. T.; Eudy, D. M.; Sciarresi, C. S.; Baum, M. B.; Danalatos, G. J. N.; Elli, E. F.; Kalogeropoulos, G. K.; King, K. X.; Santos, C. D.; Thies, A. A.; Pico, L. O.; Castellano, M. J.; Schnable, P. S.; Topp, C. C.; Graham, M. X.; Lamkey, K. R.; Vyn, T. J. and Archontoulis, S. V. 2023. Harvest index has increased over the last 50 years of maize breeding. *Field Crops Research*. 300(5):1-10. 10.1016/j.fcr.2023.108991.
- 25 Tadeo, R. M.; Zamudio, G. B.; Espinosa, C. A.; Turrent, F. A.; Cárdenas, M. A. L.; López, L. C.; Arteaga, E. I. and 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.



## Componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento de maíz en respuesta a densidad y fecha de siembra en Toluca

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 March 2025
Date accepted: 01 May 2025
Publication date: 02 July 2025
Publication date: May-Jun 2025
Volume: 16
Issue: 4
Electronic Location Identifier: e3708
DOI: 10.29312/remexca.v16i4.3708

### Categories

Subject: Artículo

### Palabras clave:

**Palabras clave:**

*Zea mays* L.  
densidad de población  
fecha de siembra.

### Counts

Figures: 5  
Tables: 3  
Equations: 0  
References: 25  
Pages: 0