








Efecto de la fertilización orgánica con enmiendas de origen animal en la producción de forraje de *Zea mays* L. (Poales: Poaceae) en el trópico húmedo de México

Effect of organic fertilization with animal-origin amendments on forage production of *Zea mays* L. (Poales: Poaceae) in the humid tropics of Mexico

Mario Elías Gamas-Collado¹ , José Manuel López-Jiménez¹ , Sabel Barrón-Freyre² , Sergio Salgado-Velázquez² , Raquel Jiménez-Ramírez¹ , Mario Rodríguez-Cuevas² , Dante Sumano-López^{2*} 

¹ Instituto Tecnológico de Huimanguillo, km 1 carretera del Golfo Malpaso-El Bellote, km 98.5, colonia Ranchería Libertad, 86400, Huimanguillo, Tabasco, México.

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Huimanguillo, km 1 carretera Huimanguillo-Cárdenas, 86400, Huimanguillo, Tabasco, México.

*Autor para correspondencia: sumano.dante@inifap.gob.mx

Fecha de recepción:
12 de enero de 2026

Fecha de aceptación:
8 de abril de 2026

Disponible en línea:
29 de mayo de 2026

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.



**Reconocimiento-
NoComercial-
CompartirIgual 4.0
Internacional
(CC BY-NC-SA 4.0)**

Cómo citar:
Gamas-Collado, M. E., López-Jiménez, J. M., Barrón-Freyre, S., Salgado-Velázquez, S., Jiménez-Ramírez, R., Rodríguez-Cuevas, M., Sumano-López, D. (2025). Efecto de la fertilización orgánica con enmiendas de origen animal en la producción de forraje de *Zea mays* L. (Poales: Poaceae) en el trópico húmedo de México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 11(núm. esp. 2), e0111043. https://doi.org/10.30973/aap/2025.11.e0111043

RESUMEN

La fertilización orgánica representa una alternativa sostenible para mejorar la productividad del maíz forrajero en sistemas tropicales con problemas de degradación del suelo. El objetivo del estudio fue evaluar diferentes dosis de gallinaza y lixiviados de composta como fertilizantes orgánicos en maíz de temporal destinado a forraje. El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar y los datos se analizaron mediante ANOVA y prueba DMS ($p \leq 0.05$). Los tratamientos orgánicos mostraron diferencias significativas en todas las variables evaluadas. El tratamiento T7.5CLF presentó el mayor peso fresco de planta ($919 \text{ g planta}^{-1}$) y superó en 50.8 % al testigo absoluto. Asimismo, T10CLF alcanzó la mayor altura de planta (218.3 cm), 10 % superior al tratamiento químico. Los resultados evidencian que la aplicación de gallinaza y lixiviados mejora el crecimiento vegetativo y la productividad del maíz forrajero, consolidándose como una alternativa viable y sustentable para sistemas agrícolas tropicales.

PALABRAS CLAVE

Biomasa vegetal, residuos pecuarios, manejo nutrimental, materia orgánica del suelo, agricultura sustentable.

ABSTRACT

Organic fertilization represents a sustainable alternative for improving forage maize productivity in tropical systems affected by soil degradation. The objective of this study was to evaluate different doses of poultry manure and compost leachates as organic fertilizers in rainfed maize grown for forage production. The experiment was established under a completely randomized design, and the data were analyzed using ANOVA and LSD test ($p \leq 0.05$). The organic treatments showed significant differences in all evaluated variables. Treatment T7.5CLF presented the highest fresh plant weight (919 g plant^{-1}), exceeding the absolute control by 50.8 %. Likewise, T10CLF achieved the greatest plant height (218.3 cm), which was 10 % higher than the chemical treatment. The results demonstrate that the application of poultry manure and compost leachates improves vegetative growth and forage maize, consolidating their use as a viable and sustainable alternative for tropical agricultural systems.

KEYWORDS

Plant biomass, livestock waste, nutrient management, soil organic matter, sustainable agriculture.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más relevantes a nivel global y constituye un pilar en la seguridad alimentaria y en la producción pecuaria. En México, su importancia trasciende el ámbito alimentario humano, ya que una proporción significativa de la superficie sembrada se destina a la producción de forraje para la alimentación de bovinos, porcinos y aves, lo que lo convierte en un insumo estratégico para el sector ganadero (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2023). En regiones tropicales como Tabasco, donde predominan sistemas de producción de temporal, el maíz forrajero representa una alternativa fundamental para sostener la productividad pecuaria en condiciones de alta humedad y suelos con limitaciones de fertilidad.

No obstante, la intensificación agrícola basada en fertilizantes sintéticos ha generado serios problemas de sostenibilidad, como el incremento de costos de producción, la disminución de la materia orgánica del suelo, la pérdida de biodiversidad edáfica y la contaminación de cuerpos de agua (García Cabrera et al., 2021; Wang et al., 2025). Ante estos retos, los fertilizantes orgánicos se han posicionado como una alternativa viable para mejorar la fertilidad edáfica y reducir los impactos ambientales, además de contribuir a sistemas de producción agropecuarios más sostenibles y resilientes.

Entre los insumos orgánicos, la gallinaza y los lixiviados de estiércol animal destacan por su elevada disponibilidad de nutrientes y su bajo costo en comparación con los fertilizantes químicos (De los Santos-Ruiz et al., 2022; González-González et al., 2025). Estudios recientes demuestran que la aplicación de estiércol de aves puede mejorar de manera significativa el rendimiento del maíz, incrementando la biomasa, la disponibilidad de nitrógeno y la eficiencia de absorción de nutrientes esenciales, con efectos directos en el rendimiento de grano y forraje (Agbede et al., 2025; Essilfie et al., 2024). Asimismo, se ha documentado que el uso de abonos líquidos derivados de estiércoles, como lixiviados o tés de compost, mejora la actividad microbiana del suelo y promueve una mayor disponibilidad de nutrientes, lo que se traduce en una mejora del crecimiento y vigor de las plantas (Sánchez-Suárez et al., 2025).

A pesar de estos avances, la mayoría de los estudios se han realizado en condiciones subtropicales o templadas, mientras que existe escasa evidencia científica sobre los efectos de la fertilización con gallinaza y lixiviados de estiércol en la producción de forraje de maíz bajo condiciones tropicales húmedas, como las de Tabasco. Considerando que los sistemas forrajeros de esta región enfrentan problemas recurrentes de baja fertilidad de suelos, cambio climático y demanda creciente de forraje para ganadería, se hace necesario generar conocimiento científico aplicado que evalúe alternativas de fertilización orgánica adaptadas al contexto local. Por ello, se plantea la hipótesis de que la combinación de gallinaza compostada (liberación lenta de nutrientes) con lixiviados (nutrientes y compuestos bioactivos de rápida disponibilidad) mejora el crecimiento y rendimiento del maíz forrajero respecto a la fertilización química convencional. En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis de gallinaza y lixiviados de estiércol en el rendimiento y calidad del forraje de maíz bajo condiciones de temporal en Tabasco, con la finalidad de promover prácticas de fertilización orgánica que fortalezcan la productividad ganadera y contribuyan a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas tropicales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en una parcela experimental (1.5 ha) del Campo Experimental Huimanguillo (17.847711° N, 93.396465° O), Tabasco, México. Se desarrolló en un suelo fluvisol, estos se forman principalmente a partir de materiales aluviales y palustres depositados por los ríos (Zavala-Cruz et al., 2016). Antes de la construcción de las presas de Malpaso y Peñitas, la zona se inundaba anualmente, lo que permitía el depósito de sedimentos ricos en nutrientes, aumentando de forma natural la fertilidad del suelo. Las características del sitio de estudio se muestran en el Cuadro 1.

Datos climáticos

Los datos climatológicos en el área de estudio, durante el ciclo otoño-invierno 2024, se presentan en la Figura 1. Los datos meteorológicos fueron

Cuadro 1. Propiedades químicas del suelo del sitio experimental, Huimanguillo, Tabasco, México.

pH H ₂ O	CE dS m ⁻¹	MO %	N t %	P mg kg ⁻¹	K %	Ca %	Mg %	Na %	cic %	Fe %	Cu %	Zn %	Mn %	B %
5.8	0.05	3.2	0.1	9.85	0.2	9.9	1.4	0.07	16	32	10.1	5.9	0.98	0.8

obtenidos de la estación climatológica del Campo Experimental Huimanguillo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, ubicada aproximadamente a 20 m de la parcela experimental evaluada.

Además, se presentaron ocho eventos de viento del sur ("sures"), fenómeno regional caracterizado por el ingreso de masas de aire cálido provenientes del sur, las cuales generan incrementos importantes en la temperatura ambiental. En el área de estudio, estos eventos se asociaron con temperaturas máximas superiores a 35 °C (Figura 1). La intensidad de estos eventos puede presentarse con velocidades de viento variables, desde bajas hasta altas. Estas condiciones climáticas extremas, particularmente la baja precipitación y las altas temperaturas, generaron estrés hídrico y térmico en las plantas. A partir de los 32 °C, la viabilidad del polen ya comienza a deteriorarse, mientras que tempe-

raturas prolongadas por encima de los 35 °C resultan particularmente dañinas para la fertilización (Djalovic et al., 2024; Li et al., 2023). Por ejemplo, Fan et al. (2025) señalan que la germinación del polen disminuye de manera significativa cuando la temperatura supera los 35 °C durante la fase reproductiva, y que temperaturas superiores a los 38 °C comprometen gravemente su viabilidad, reduciendo de forma marcada la fertilización y el llenado de grano

Elaboración de lixiviados

Previamente, se obtuvieron lixiviados de composta en un módulo orgánico mediante pilas estáticas aireadas de acuerdo con la metodología de González-González et al. (2025). Después de 30 días de fermentación, los lixiviados se colectaron y almacenaron para su aplicación. Las propiedades químicas del lixiviado y la

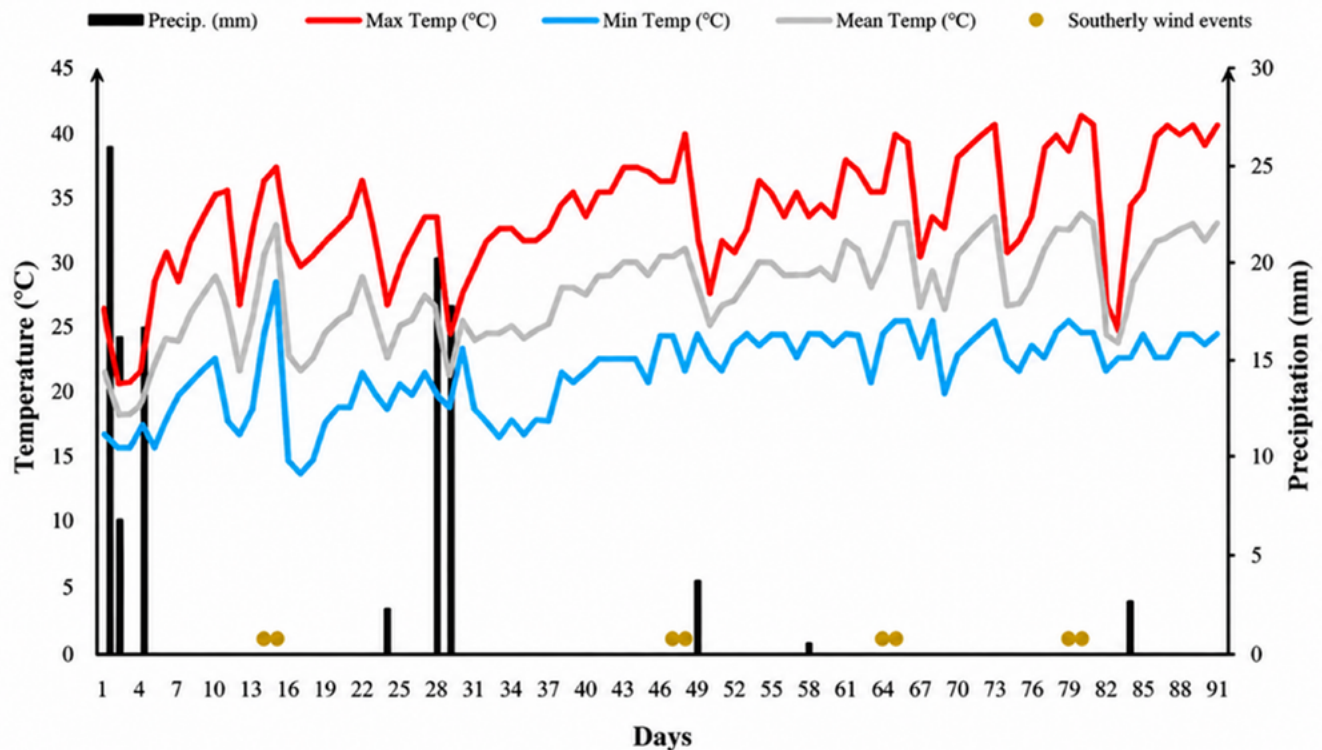


Figura 1. Climograma de la temperatura y precipitación ocurrida en la parcela de evaluación de fertilizantes orgánicos de origen animal en condiciones tropicales, Huimanguillo, Tabasco, México.

gallinaza, se obtuvieron de análisis previos obtenidos por López Jiménez (2024) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Contenido de nitrógeno (N) Fosforo (P) y potasio (K) en gallinaza y lixiviado (mg kg⁻¹)

Fuente	N	P	K
Gallinaza	26,900	48.8	936
Lixiviado	3,500	> MLD	14,781

MLD = máximo límite de detección.

Manejo agronómico

El establecimiento y manejo del cultivo de maíz se realizaron siguiendo las recomendaciones técnicas descritas por Tinoco Alfaro et al. (2002) para la producción de maíz en Veracruz y Tabasco. El acondicionamiento del terreno incluyó labores de barbecho, rastra y cruza, asegurando condiciones adecuadas para la siembra. La variedad utilizada fue el híbrido trilineal H-520, liberado por el INIFAP en el Campo Experimental Cotaxtla (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2022; Sierra Macías et al. 2008). Cabe destacar que el sitio experimental se encontraba en su cuarto ciclo consecutivo de cultivo con la misma variedad, unidad experimental y tratamientos, con el propósito de evaluar el efecto residual de la gallinaza compostada (C), la cual se adquirió en un establecimiento comercial dedicado a la venta de este subproducto. La siembra se realizó manualmente el 25 de enero de 2024 (ciclo otoño-invierno), en franjas con surcos separados a 80 cm. Se depositaron tres semillas cada 40 cm y posteriormente se aclararon a dos plantas por golpe, alcanzando una densidad final de 62,500 plantas ha⁻¹. Durante este ciclo no se reportó la presencia de plagas ni enfermedades. El control de malezas se efectuó mediante deshierbes combinados: el primero consistió en un aporque mecanizado a los 27 días después de la siembra (dds), complementado con labores manuales utilizando azadón. En cuanto a la fertilización con composta, los tratamientos consistieron en la aplicación al suelo de 2.5 t ha⁻¹, 5.0 t ha⁻¹, 7.5 t ha⁻¹ y 10 t ha⁻¹ de gallinaza compostada, incorporada a los 18 dds. Por su parte, la fertilización con lixiviados se realizó utilizando una solución al 50 % diluida en agua, aplicada de forma foliar y al suelo en tres momentos: 17 dds, 25 dds y 47 dds. La aplicación se llevó a cabo con bomba de aspersión manual, pro-

curando cubrir uniformemente el follaje y aplicar en banda al pie de la planta, con un volumen equivalente a 200 L ha⁻¹. La fertilización química se aplicó en dos etapas: la primera a los 12 dds con la fórmula 60-60-30, en dosis de 100 g por planta, colocada a 15 cm de distancia. La segunda aplicación se efectuó a los 27 dds con la fórmula 60-00-00, empleando urea como fuente de nitrógeno en la misma dosis y distancia. Este último tratamiento correspondió al testigo químico (TQm).

Tratamientos evaluados

Consistieron en niveles de gallinaza compostada en diferentes dosis (2.5 t ha⁻¹, 5.0 t ha⁻¹, 7.5 t ha⁻¹ y 10 t ha⁻¹), la fertilización química y el testigo absoluto (sin fertilización), más la aplicación de lixiviados (L). La unidad experimental consistió de franjas de seis surcos (4.80 m × 40 m). En los tratamientos con gallinaza, la parcela se dividió en tres surcos donde se aplicó el lixiviado al suelo (S) y, en los otros tres, la fertilización foliar (F). Los tratamientos se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 3. Tratamientos evaluados con composta (C) aplicada al suelo y lixiviados (L) al 50 % en el cultivo de maíz en condiciones tropicales, Tabasco, México.

Tratamientos composta aplicada al suelo y lixiviados al 50 %	Abreviación
T ₁ C 10 t ha ⁻¹ + L al suelo (S)	T10CLS
T ₂ C 10 t ha ⁻¹ + L al follaje (F)	T10CLF
T ₃ C 7.5 t ha ⁻¹ + L al Suelo (S)	T7.5CLS
T ₄ C 7.5 t ha ⁻¹ + L al follaje (F)	T7.5CLF
T ₅ C 5 t ha ⁻¹ + L al suelo (S)	T5CLS
T ₆ C 5 t ha ⁻¹ + L al follaje (F)	T5CLF
T ₇ C 2.5 t ha ⁻¹ + L al suelo (S)	T2.5CLS
T ₈ C 2.5 t ha ⁻¹ + L al follaje (F)	T2.5CLF
T ₉ fertilización química (120 60 30), N, P, K respectivamente	TQm
T10 tratamiento absoluto (000)	T000

Diseño experimental

El análisis estadístico se realizó bajo un diseño completamente al azar. Para la toma de datos se consideró el surco central de cada parcela, seleccionando 15 plantas de manera aleatoria como unidades de muestreo, distribuidas a lo largo de la unidad experimental.

VARIABLES DE ESTUDIO

Las variables vegetativas y de cosecha se evaluaron a lo largo del ciclo del cultivo. La altura de planta (cm) se registró a los 57 dds cuando todas presentaban inflorescencia (espigado), utilizando un estadal. La longitud de hoja (cm) se midió en la hoja ubicada por debajo del elote, siguiendo la nervadura central, y el ancho medio de la hoja (cm), se determinó con cinta métrica en la misma lámina. El diámetro del tallo (mm) se evaluó a 10 cm sobre el nivel del suelo con un vernier (Truper®, Ciudad de México, México). Para las variables de cosecha, las mediciones se realizaron a los 86 dds, determinando el peso fresco por planta (g planta^{-1}), el cual se extrapoló para estimar el rendimiento potencial (t ha^{-1}) considerando la densidad de plantas por hectárea, así como el peso fresco de elote (g fruto^{-1}) con brácteas y el peso de elote sin brácteas (g fruto^{-1}), separados de la planta y registrados con balanza digital.

ANÁLISIS DE DATOS

Los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza y, en caso de diferencias significativas, se realizaron comparaciones múltiples de medias mediante la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS) con un nivel de significancia de $\alpha \leq 0.05$. Todo el análisis se llevó a cabo utilizando el programa estadístico SAS® (SAS Institute Inc., 2024) en línea.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de planta

En el Cuadro 4 y la Figura 2 se presentan los resultados de la altura de planta, reflejando el comportamiento vegetativo de los diferentes tratamientos. Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p \leq 0.05$). El tratamiento T10CLF alcanzó la mayor altura con 218.3 ± 3 cm, superando en aproximadamente en 10 % a los tratamientos TQm y T2.5 CLF, que presentaron valores similares de 196.4 ± 4 cm. Por su parte, el T000 registró el promedio más bajo con 154.2 ± 6 cm, mientras que los demás tratamientos mostraron alturas intermedias superiores a este valor. En maíz, la altura de planta se utiliza ampliamente como indicador de vigor, biomasa, tasa de crecimiento y estimación de rendimiento potencial (Qiu et al., 2022). Ríos et al. (2019) evaluaron la fertilización química con Nitro Xtend y Fertimaíz (253 69 60) a la misma densidad de 62,500 plantas ha^{-1} , obteniendo 215.4 cm a los 63 dds en maíz amarillo, valor apenas un 1.3 % inferior al observado en T10CLF. En contraste, Salazar-Sosa et al. (2010) reportaron 262.8 cm de altura final al aplicar 40 t ha^{-1} de estiércol bovino durante seis años, lo cual evidencia el efecto residual de la materia orgánica sobre las propiedades físicas y químicas del suelo (Bravo de Luciano, 2016). Estos resultados confirman que la fertilización orgánica puede ser competitiva a mediano plazo frente a la fertilización química, ya que esta última puede provocar efectos negativos como variaciones del pH,

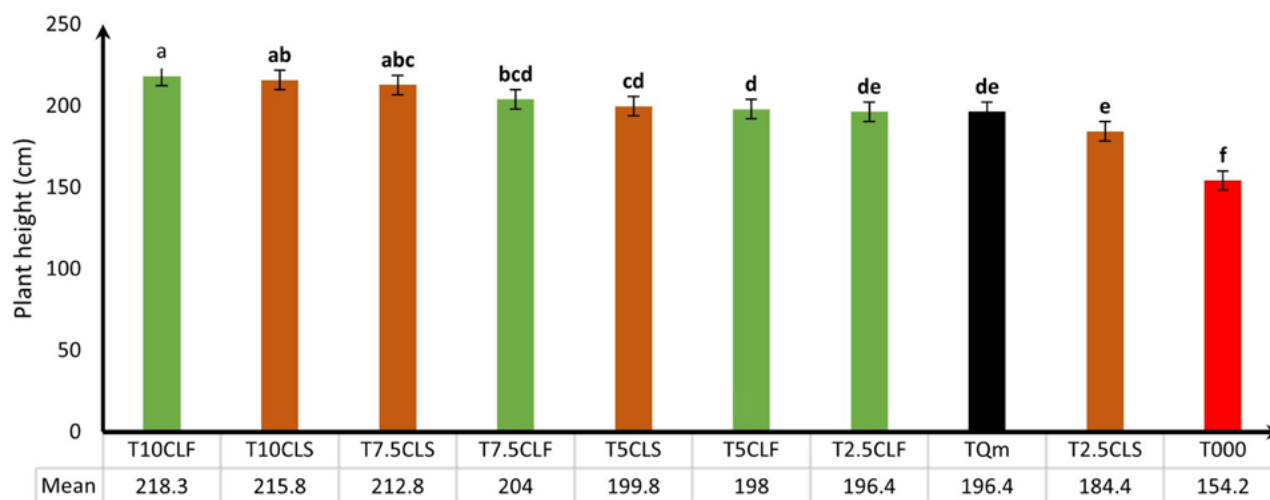


Figura 2. Efecto de las diferentes fuentes de fertilización sobre la altura de planta en el cultivo de maíz bajo condiciones tropicales, Tabasco, México.

deterioro de la estructura del suelo, contaminación del agua y afectación de la microfauna (González Ulibarry, 2019). Asimismo, plantas de maíz con mayores alturas tienden a presentar rendimientos potenciales más altos, aunque esta variable también está influenciada por factores ambientales y la variedad de semilla empleada (Guamán Guamán et al., 2020).

Longitud de hoja

Se registró efecto del tipo de fertilización en esta variable (Cuadro 4). T10CLS y TQm presentaron los mejores resultados, con valores similares y sin diferencia estadística, aunque superiores a T000, el cual presentó el valor más bajo con reducciones de 12.7 % y 12.0 %, respectivamente, en comparación con T10CLS y TQm. Los demás tratamientos mostraron valores superiores a 95 cm, lo que indica un mejor desempeño en comparación con el T000. De acuerdo con Golik et al. (2018) el maíz es una planta C4 con alta tasa de actividad fotosintética; sus hojas, lanceoladas y largas, constituyen órganos esenciales de 60 cm a 90 cm que permiten realizar la fotosíntesis, crucial para su nutrición y regulación térmica. A su vez, Ramírez Padilla y Goyes Acosta (2004) indican una longitud de 120 cm, siendo superior en un 12.5 % al T10CLS 105.0 ± 2 cm. Rodríguez-Montalvo et al. (2021) señalaron que el híbrido HE-3B bajo fertilización química presentó una longitud de hoja de 94.9 cm, lo cual puede atribuirse

al potencial genético de cada variedad, al tipo de fertilización o a la temperatura del ciclo. Es importante señalar que todos los tratamientos de este experimento presentaron valores superiores a 100 cm, excepto T000 y T5CLF. Estudios recientes en maíz confirman que mantener un índice de área foliar alto es fundamental para alcanzar rendimientos superiores, ya que refleja un uso más eficiente de la energía lumínica y de los recursos disponibles (Aguilar-García et al., 2005).

Ancho de hoja

Los resultados evidenciaron que el TQm alcanzó el valor más alto, aunque estadísticamente fue similar a T7.5CLS, T5CLF, T7.5CLF, T10CLS, T2.5CLF, T2.5CLS y T10CLF, cuyos valores oscilaron entre 10.4 ± 0 cm y 10.0 ± 0.1 cm. El TQm no difirió estadísticamente de los tratamientos orgánicos, lo que indica que estas fuentes proporcionaron nutrientes suficientes para sostener un desarrollo foliar comparable. En contraste, el tratamiento testigo (T000) presentó el valor más bajo, 8.9 ± 0 cm, lo cual puede atribuirse al desgaste del suelo derivado de la práctica continua de monocultivo durante tres ciclos agrícolas consecutivos sin aplicación de fertilizantes. Casarrubias-Castillo et al. (2019) señalan que, en las hojas de maíz, los estomas localizados en la interfaz planta-atmósfera desempeñan un papel crucial en la regulación de la fotosíntesis y de la eficiencia en el uso del agua, lo que impacta directamente en la

Cuadro 4. Crecimiento vegetativo de plantas de maíz, evaluado mediante la altura, la longitud y el ancho de la hoja, así como el diámetro del tallo en la etapa de floración, Tabasco, México.

Tratamiento	Altura (cm)	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Diámetro (mm)
T7.5CLF	204.0 ± 4.9 ^{bcd}	100.6 ± 1.6 ^{abc**}	10.2 ± 0.1 ^{ab}	29.8 ± 0.9 ^{ab}
T10CLF	218.3 ± 3.1 ^a	103.3 ± 1.3 ^{ab}	10.0 ± 0.1 ^{ab}	28.8 ± 0.8 ^{abc}
T10CLS	215.8 ± 3.5 ^{ab}	105.0 ± 2.1 ^a	10.2 ± 0.2 ^{ab}	26.8 ± 1.4 ^{bcd}
T5CLS	199.8 ± 5.2 ^{cd}	99.8 ± 1.6 ^{abc}	9.7 ± 0.1 ^{bc}	26.8 ± 1.0 ^{bcd}
T5CLF	198.0 ± 4.9 ^d	95.8 ± 1.4 ^{cd}	10.3 ± 0.2 ^{ab}	25.8 ± 1.0 ^{cd}
T7.5CLS	212.8 ± 3.8 ^{abc}	103.0 ± 1.4 ^{ab}	10.4 ± 0.2 ^{ab}	30.0 ± 0.9 ^a
T000	154.2 ± 6.4 ^f	91.6 ± 1.6 ^d	8.9 ± 0.4 ^c	20.6 ± 1.3 ^e
T2.5CLF	196.4 ± 5.5 ^{de}	97.0 ± 1.5 ^{bcd}	10.1 ± 0.2 ^{ab}	26.6 ± 0.8 ^{cd}
T2.5CLS	184.4 ± 5.2 ^e	102.0 ± 4.3 ^{abc}	10.0 ± 0.2 ^{ab}	27.1 ± 1.2 ^{bcd}
TQm	196.4 ± 4.4 ^{de}	104.1 ± 4.2 ^a	10.7 ± 0.4 ^a	24.1 ± 1.2 ^d
DMS	13.507	8.8848	0.7849	3.1027
p-value	< 0.0001	0.0021	0.0023	< 0.0001
cv	9.4	9.3	10.7	16.1

* ± error estándar de la media (EE); **tratamientos con la misma letra no son distintos significativamente (DMS, $p = 0.05$); cv = Coeficiente de variación.

productividad. De manera complementaria, Rodríguez-Montalvo et al. (2021) reportaron que el híbrido HE-3B bajo condiciones de fertilización química, presentó un ancho de hoja promedio de 9.9 cm. En comparación, el tratamiento T2.5CLF de este estudio alcanzó un valor de 10.4 ± 0 cm, lo que sugiere una ligera ventaja de la fertilización orgánica en el desarrollo foliar. Estos resultados podrían atribuirse a los efectos positivos de los fertilizantes a base de excretas animales, los cuales incrementan la materia orgánica del suelo y, con ello, la capacidad de retención de humedad y nutrientes. Al respecto, López Martínez et al. (2001) reportaron que la adición de materia orgánica en suelos incrementa aproximadamente en 10 % el contenido de humedad, lo que favorece el crecimiento y desarrollo de estructuras foliares. Además, la disminución de materia orgánica y la posible compactación del suelo reducen la capacidad de retención de agua, afectando la expansión celular y, por ende, el ancho de hoja.

Diámetro de tallo

En el Cuadro 4, se presentan los resultados correspondientes a esta variable, con diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$) a los 57 dds. El TQm quedó por debajo de este rango, apenas superando al T000, el cual registró el diámetro más reducido, lo que confirma que la ausencia de aportes nutricionales limita el crecimiento del tallo. El tallo de maíz cumple funciones fisiológicas y estructurales fundamentales, ya que actúa como soporte de la planta, facilita el transporte de nutrientes y sirve como reservorio de carbohidratos (Zhao et al., 2022). Estos carbohidratos son relevantes en la alimentación animal, puesto que las células vegetales de los forrajes están constituidas principalmente por polisacáridos metabolizables en el rumen, lo que los convierte en una fuente directa de energía para la producción de carne y leche (Hernández-Guzmán et al., 2023). En estudios previos, Rodríguez Larramendi et al. (2016) reportaron diámetros de tallo en un rango de 17 mm a 20 mm al aplicar fertilización combinada de 140 kg ha^{-1} de N más 250 g de humus de lombriz por planta, valores inferiores a los observados en el presente estudio para el tratamiento T7.5CLS (30.0 ± 0.9 mm), con una diferencia relativa del 33.3 %. De manera similar, Ríos et al. (2019) obtuvieron un diámetro de tallo de 21.5 mm

a los 42 dds bajo fertilización química, mientras que en esta investigación el tratamiento T7.5CLS superó dicho valor en un 23.2 %, evidenciando la ventaja del uso de fuentes orgánicas en el desarrollo estructural del maíz forrajero.

Peso fresco de planta

Los tratamientos T7.5CLF y T7.5CLS destacaron con $919 \pm 0.0 \text{ g planta}^{-1}$ y $914 \pm 0.0 \text{ g planta}^{-1}$, respectivamente, siendo los que presentaron los mejores rendimientos (Cuadro 5). Estos valores superaron tanto a T000 como a TQm, e incluso excedieron a los tratamientos con dosis más altas de fertilización orgánica (T10CLS y T10CLF). En comparación con TQm, T7.5CLF mostró un incremento del 4.6 %, aunque sin diferencia estadística, mientras que respecto a T000, con $452 \pm 0.0 \text{ g planta}^{-1}$, representó un aumento del 50.8 % ($p \leq 0.05$). Para efectos de análisis comparativo con otros estudios, los valores fueron transformados a t ha^{-1} . Fortis-Hernández et al. (2009) reportaron un rendimiento de 48 t ha^{-1} utilizando el híbrido HT90-19HR bajo sistema de riego por goteo y fertilización química, con una densidad de 82,500 plantas ha^{-1} . En comparación, el T7.5CLF alcanzó un rendimiento estimado de 57.4 t ha^{-1} , lo que representa un 16.3 % superior. Por su parte, Zaragoza-Esparza et al. (2019) evaluaron 12 híbridos forrajeros bajo manejo químico y riego rodado, con una densidad de 70,000 plantas ha^{-1} ; el híbrido PUMA 1,163 alcanzó 75 t ha^{-1} de materia verde, mientras que el más bajo fue PUMA 1,075 con 50 t ha^{-1} . El T7.5CLF se ubicó en un valor intermedio de 57.4 t ha^{-1} con una densidad de 62,500 plantas ha^{-1} , a pesar de condiciones hídricas y climáticas extremas (Figura 1): temperatura máxima de $42 \text{ }^\circ\text{C}$, 89 mm de precipitación durante el ciclo y escasa lluvia en etapas críticas de desarrollo y llenado del elote, además de ocho días de estrés por altas temperaturas, lo que pudo influir en el rendimiento final. SIAP (2018) indica que un rango óptimo de temperatura de $18 \text{ }^\circ\text{C}$ a $24 \text{ }^\circ\text{C}$ y una precipitación de 700 mm a 1,300 mm favorecen los rendimientos máximos de maíz forrajero. Además, la fertilización orgánica contribuye al suministro gradual de nutrimentos esenciales, incluyendo nitrógeno y elementos presentes en la composta, incrementando la materia orgánica y, con ello, la capacidad de retención de agua del suelo en aproximadamente 10 % (López

Martínez et al., 2001). Estas condiciones permiten mantener un desarrollo vegetativo adecuado incluso bajo estrés hídrico. En conjunto, los resultados evidencian que los abonos orgánicos constituyen una estrategia eficiente a mediano y largo plazo, ofreciendo una alternativa sustentable a la fertilización química, particularmente en regiones con condiciones climáticas extremas, donde se requiere mantener la producción de forraje de alta calidad (Paliwal et al., 2001).

Peso fresco de elote (con brácteas)

Sus respectivos valores reflejan el efecto de las aportaciones nutricionales de gallinaza al suelo y la aplicación de lixiviado foliar. El T7.5CLS mostró mejores resultados en comparación con TQm, siendo superior en un 3.9 %, aunque sin diferencia mínima significativa; además, al compararlo con T000, fue superior en un 51.2 %, de acuerdo con la prueba de DMS ($p \leq 0.05$) (Cuadro 5). Como se observa en el Cuadro 5, los distintos tratamientos presentaron valores superiores al T000, el cual registró el valor más bajo en esta variable. Al respecto, Sumano-López et al. (2025) mencionan un valor de 340.9 g, resultado similar a los obtenidos en este trabajo, empleando estiércol de gallina como fertilizante orgánico con una dosis de 10 t ha⁻¹ y aplicación de lixiviado foliar. Por su parte, Ortiz-Torres et al. (2013) evaluaron 95 variedades de maíces nativos bajo riego y fertilización química, reportando un rango de 62.1 g

a 490.8 g; los resultados obtenidos en este estudio se ubican ligeramente por encima del valor intermedio, con 308.3 g. La variabilidad observada puede atribuirse al potencial genético de la variedad, así como a factores ambientales como precipitación y temperatura óptimas para su desarrollo. Asimismo, la localización del sitio de estudio puede influir en los resultados obtenidos. Lo anterior coincide con lo señalado por Paliwal et al. (2001), quienes indican que en regiones templadas se registran valores más altos de rendimiento.

Peso fresco del elote sin brácteas

Se registró una similitud en el orden con la variable anterior (peso fresco de elote con brácteas). La aplicación de 7.5 t ha⁻¹ de gallinaza y lixiviado (T7.5CLF) superó al testigo químico (TQm) en un 11.6 % y al T000 en un 50.5 % ($p \leq 0.05$) (Figura 3). Los tratamientos T2.5CLS y T2.5CLF presentaron valores intermedios, con medias de 186.7 ± 13.4 g y 185.7 ± 10.5 g, respectivamente, mientras que el T000 registró el valor más bajo. En general, los demás tratamientos mostraron un mejor peso fresco de elote sin brácteas. En una investigación realizada por López Jiménez et al. (2024), se evaluaron distintas diluciones de lixiviado de composta, donde el valor más alto observado fue de 279.2 g con una concentración del 75 % de lixiviado, resultados similares a los obtenidos en este estudio para T7.5CLF. Las compostas y los lixiviados presentan ventajas

Cuadro 5. Características en fresco de planta maíz en (g) a los 86 dds.

Tratamiento	Peso de planta	Peso de elote con brácteas	Peso de elote sin brácteas
T7.5CLF	919 ± 0.0 ^{a**}	305.7 ± 12.0 ^a	220.4 ± 9.1 ^a
T7.5CLS	914 ± 0.0 ^a	308.3 ± 17.5 ^a	218.4 ± 13.5 ^{ab}
T10CLS	894 ± 0.0 ^a	300.6 ± 27.7 ^{ab}	206.3 ± 16.5 ^{ab}
TQm	880 ± 0.0 ^a	296.0 ± 13.5 ^{ab}	194.7 ± 10.3 ^{abc}
T2.5CLF	871 ± 0.0 ^a	279.3 ± 18.3 ^{ab}	185.6 ± 10.5 ^{abc}
T10CLF	815 ± 0.0 ^a	261.6 ± 13.2 ^{ab}	185.4 ± 10.6 ^{bc}
T5CLF	786 ± 0.0 ^a	259.5 ± 17.0 ^{ab}	167.1 ± 14.7 ^b
T2.5CLS	780 ± 0.0 ^a	283.9 ± 19.0 ^{ab}	186.7 ± 13.4 ^{abc}
T5CLS	768 ± 0.0 ^a	251.8 ± 15.8 ^b	166.6 ± 11.1 ^c
T000	452 ± 0.0 ^b	150.2 ± 15.1 ^c	109.0 ± 10.8 ^d
DMS	0.1543	48.896	34.407
p-value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
cv	26.4	25.1	25.8

* ± error estándar de la media (EE); **tratamientos con la misma letra no son distintos significativamente (DMS, $p = 0.05$); cv = Coeficiente de variación.

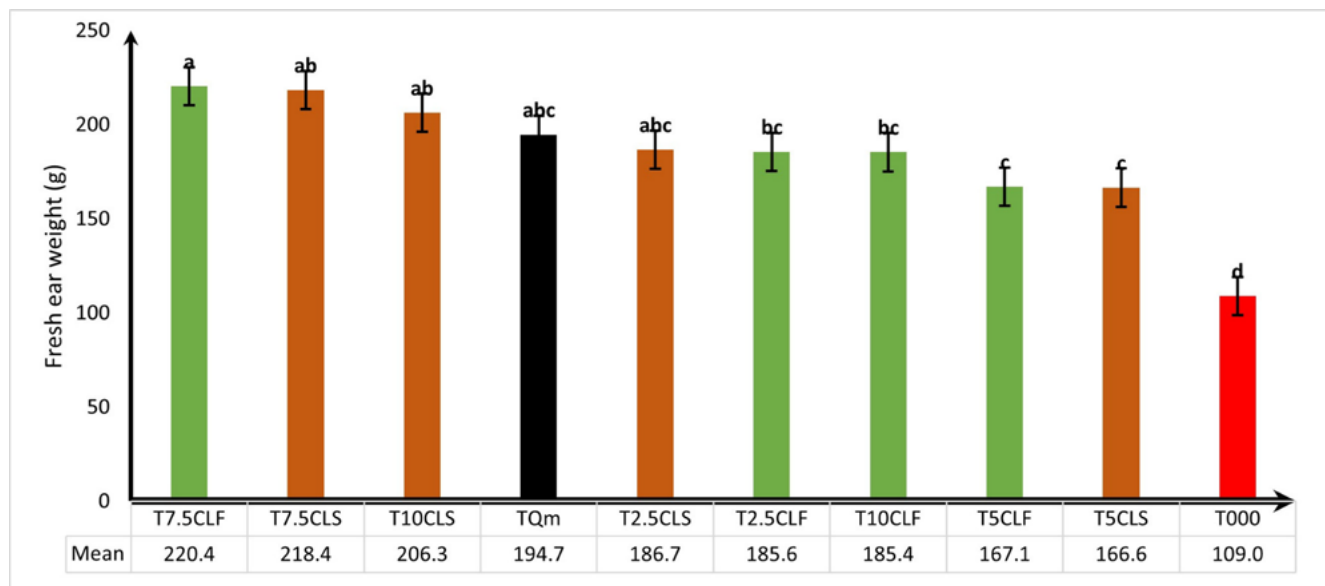


Figura 3. Efecto de las diferentes fuentes de fertilización sobre el peso fresco del elote sin brácteas en el cultivo de maíz bajo condiciones tropicales.

ambientales, económicas y de salud, ya que permiten transformar residuos orgánicos en productos útiles. Además, mejoran la calidad del suelo al enriquecerlo con nutrientes, lo que favorece el crecimiento de las plantas e incrementa la retención de agua. Asimismo, se ha documentado que, tras un período de seis años de aplicación continua de estiércol bovino, el suelo retiene suficiente nitrógeno residual para mantener la producción de forraje durante el siguiente ciclo agrícola sin necesidad de aplicar fertilizantes químicos, sin disminución del rendimiento (Salazar-Sosa et al., 2010).

El comportamiento mostrado por los fertilizantes orgánicos en este estudio puede explicarse desde una perspectiva fisiológica vegetal, considerando su influencia en la regulación hormonal y la actividad antioxidante de las plantas (Xie et al., 2024). La aplicación de fertilizantes orgánicos, como la gallinaza y los lixiviados de composta, proporciona nutrientes de liberación gradual que favorece la síntesis y acumulación de fitohormonas esenciales, como las giberelinas y el ácido indolacético. Estas hormonas desempeñan un papel crucial en la elongación y división celular, procesos fundamentales para el desarrollo del cultivo, lo cual se reflejó en el crecimiento del maíz (Cuadro 4) y en la acumulación de biomasa (Cuadro 5), donde los tratamientos orgánicos superaron al tratamiento químico.

Estudios recientes han demostrado que el uso de reguladores del crecimiento vegetal puede modular eficazmente las hormonas endógenas, mejorar el

metabolismo fisiológico y optimizar las características morfológicas de las plantas, incluyendo el diámetro del tallo (Xu et al., 2024). De manera complementaria, la fertilización orgánica puede inducir la actividad de enzimas antioxidantes como la superóxido dismutasa y la peroxidasa, las cuales protegen las células vegetales del estrés oxidativo. La activación de estas enzimas contribuye a la protección de los tejidos del tallo y favorece su crecimiento (Shirzad et al., 2024).

En contraste, el tratamiento TQm presentó una tendencia a mostrar menores valores en la mayoría de las variables evaluadas en comparación con los tratamientos orgánicos, lo que podría estar relacionado con una menor actividad hormonal y antioxidante, resultando en un crecimiento menos vigoroso. En este sentido, los resultados sugieren que la fertilización orgánica no solo mejora la disponibilidad de nutrientes, sino que también influye positivamente en procesos fisiológicos clave del maíz, promoviendo un desarrollo más vigoroso del cultivo.

Por otro lado, los fertilizantes orgánicos presentan perfiles de liberación de nutrientes diferentes a los fertilizantes minerales convencionales. Tras la incorporación de materia orgánica, los procesos de mineralización y nitrificación microbiana transforman el nitrógeno orgánico en formas disponibles (amonio y nitrato), que pueden ser absorbidas por la planta con menor riesgo de pérdidas por volatilización o lixiviación. Este proceso está mediado por la actividad microbiana del suelo, la cual también regula la dispo-

nibilidad de otros macro y micronutrientes durante el ciclo del cultivo (Xing et al., 2024).

En sistemas de maíz, la sustitución parcial de fertilización mineral por fertilización orgánica (40-60 %) mejora el balance entre disponibilidad y demanda de nitrógeno, reduce pérdidas y favorece la acumulación de carbono orgánico en el suelo, lo cual es consistente con modelos de eficiencia en el uso del nitrógeno en cereales (Olfs, 2021).

La materia orgánica del suelo es un factor determinante en sus propiedades físicas, incluyendo la capacidad de retención de agua y la estabilidad estructural. Su incremento mejora la porosidad, la capacidad de campo y la humedad disponible, reduciendo la evaporación y mitigando el estrés térmico (Abbas et al., 2024). Lo anterior puede asociarse con la mayor estabilidad observada en los tratamientos T7.5CLF, T7.5CLS y T10CLS en las variables de los Cuadros 4 y 5, a pesar de las condiciones de altas temperaturas registradas durante el ciclo (Figura 1).

Aunque los fertilizantes químicos proporcionan una liberación rápida de nutrientes, su uso intensivo se ha asociado con riesgos de salinización, pérdidas por lixiviación y menor sostenibilidad del sistema (Olfs, 2021; Ríos et al., 2019). En contraste, la fertilización orgánica mejora la eficiencia del sistema suelo-planta a largo plazo, aunque puede presentar respuestas iniciales menores cuando se aplica de forma exclusiva (Calamai et al., 2020). En este estudio, los tratamientos T7.5CLF, T7.5CLS y T10CLS superaron a TQm tras cuatro ciclos consecutivos de aplicación en las mismas parcelas, lo que evidencia efectos acumulativos del manejo orgánico.

Finalmente, las respuestas del maíz a la fertilización están fuertemente condicionadas por el clima, especialmente por el estrés térmico y la variabilidad hídrica. Las altas temperaturas incrementan la evaporación, la respiración del suelo y reducen la eficiencia del uso del agua, lo que puede afectar el rendimiento del cultivo. En este contexto, los sistemas orgánicos que mejoran la retención de humedad del suelo contribuyen a amortiguar los efectos del estrés térmico e hídrico, manteniendo una mayor estabilidad del microambiente suelo-planta (Wang et al., 2021).

CONCLUSIONES

La fertilización orgánica en maíz forrajero (T10CLF, T10CLS, 7.5CLF y 7.5CLS) mostró el mejor desempeño agronómico en la mayoría de las variables evaluadas, especialmente en peso fresco, lo cual se atribuye al aporte sostenido de nutrientes provenientes de la gallinaza y los lixiviados. Estos resultados confirman su potencial como alternativa sustentable frente a la fertilización química. El tratamiento TQm presentó respuestas intermedias, mientras que el T000 registró los valores más bajos, asociados al agotamiento progresivo de la fertilidad del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo recibido a través del proyecto "Producción y evaluación de fertilizantes a base de excrementos animales en cultivos tropicales" núm. 13435535356 financiado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

LITERATURA CITADA

- Abbas, A., Naveed, M., Shehzad Khan, K., Ashraf, M., Siddiqui, M. H., Abbas, N., Mustafa, A., & Ali, L. (2024). The efficacy of organic amendments on maize productivity, soil properties and active fractions of soil carbon in organic-matter deficient soil. *Spanish Journal of Soil Science*, 14, 12814. <https://doi.org/10.3389/sjss.2024.12814>
- Agbede, T. M. (2025). Poultry manure improves soil properties and grain mineral composition, maize productivity and economic profitability. *Scientific Reports*, 15, 16501. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-00394-8>
- Aguilar-García, L., Escalante-Estrada, J. A., Fucikovskyy-Zak, L., Tijerina-Chávez, L., & Engleman, E. M. (2005). Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra Latinoamericana*, 23(3), 303-310.
- Bravo de Luciano, G. M. (2016). *Caracterización fisicoquímica de lixiviados de diferente origen como potenciales abonos orgánicos* [Tesis de licenciatura inédita]. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/14680>
- Calamai, A., Chiamonti, D., Casini, D., Masoni, A., & Palchetti, E. (2020). Short-term effects of organic

- amendments on soil properties and maize (*Zea mays* L.) growth. *Agriculture*, 10(5), 158. <https://doi.org/10.3390/agriculture10050158>
- Casarrubias-Castillo, K., Loza-Llamas, J. M., Zañudo-Hernández, J., & Méndez-Morán, L. (2019). Distribución estomática en maíz a diferentes dosis de humus. *Revista de Invención Técnica*, 3(11), 23-26. <https://doi.org/10.35429/JOTI.2019.11.3.23.26>
- De los Santos-Ruiz, C., Bucio-Galindo, A., Palma-López, D. J., Córdova-Sánchez, S., & Salgado-Velázquez, S. (2022). Optimization of the composting process of sugarcane filter-pressed mud in the Santa Rosalia sugar mill, Tabasco, Mexico. *Agro Productividad*, 15(10), 3-10. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i10.1991>
- Djalovic, I., Kundu, S., Bahuguna, R. N., Pareek, A., Raza, I., Singla-Pareek, S. L., Vara Prasad, P. V., & Varshney, R. K. (2024). Maize and heat stress: Physiological, genetic, and molecular insights. *The Plant Genome*, 17(1), e20378. <https://doi.org/10.1002/tpg2.20378>
- Essilfie, M. E., Darkwa, K., & Asamoah, V. (2024). Growth and yield response of maize to integrated nutrient management of chicken manure and inorganic fertilizer in different agroecological zones. *Heliyon*, 10(14), e34830. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34830>
- Fan, Z., Song, H., Qi, M., Wang, M., Bai, Y., Sun, Y., & Yu, H. (2025). Impact of high-temperature stress on maize seed setting: Cellular and molecular insights of thermotolerance. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(3), 1283. <https://doi.org/10.3390/ijms26031283>
- Fortis-Hernández, M., Leos-Rodríguez, J. A., Preciado-Rangel, P., Orona, I., García-Salazar, J. A., García-Hernández, J. L., & Orozco-Vidal, J. A. (2009). Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 329-336.
- García Cabrera, J. M., Castro Piguave, C. A., & Moreno Mera, G. M. (2021). Estudio de la fertilización química y orgánica y su efecto en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, 5(14), 145-152. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.105>
- Golik, S., Larran, S., Gerard, G., & Fleitas, M. C. (2018). Maíz: importancia, origen, sistemática, morfología y composición química. En M. R. Simón & S. I. Golik (Coords.), *Cereales de verano* (pp. 10-25). Universidad Nacional de La Plata. <https://doi.org/10.35537/10915/68613>
- González Ulibarry, P. (2019). *Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes*. Biblioteca del Congreso Nacional del Chile. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf
- González-González, X., Ferral-Piña, J., Silverio-Gómez, M. C., Salgado-Velázquez, S., Palma-Cancino, D. J., Rodríguez-Cuevas, M., & Sumano-López, D. (2025). Compost production through the aerated static pile method. *Agro Productividad*, 18(2), 93-105. <https://doi.org/10.32854/agrop.v18i2.3247>
- Guamán Guamán, R. N., Desiderio Vera, T. X., Villavicencio Abril, Á. F., Ulloa Cortázar, S. M., & Romero Salguero, E. J. (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra*, 7(2), 47-56. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2196>
- Hernández Guzmán, F. J., Mendoza Pedroza, S. I., Mata Espinosa, M. Á., Rodríguez Ortega, L. T., Landa Salgado, P., Velázquez Martínez, M., Álvarez Vázquez, P., & Rodríguez Ortega, A. (2023). *Importancia de los forrajes en la productividad lechera*. Universidad Politécnica de Francisco I. Madero.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (2022, 13 de junio). *Desarrolla INIFAP híbridos y variedades de maíz aptos para la industria de la masa y la tortilla*. INIFAP. <http://www.gob.mx/inifap/articulos/desarrolla-inifap-hibridos-y-variedades-de-maiz-aptos-para-la-industria-de-la-masa-y-la-tortilla>
- Li, S., Fang, W., Liu, T., Ma, Z., Noor, M. A., Liang, L., Ma, W., & Xue, C. (2023). Meteorological pre-warning grade of high temperature during flowering stage for summer maize in North China Plain. *International Journal of Plant Production*, 17, 193-203. <https://doi.org/10.1007/s42106-023-00237-4>
- López Jiménez, J. M. (2024). *Fertilización orgánica de la nutrición en maíz (Zea mays L.) con lixiviados de excreta de animales* [Tesis de licenciatura inédita]. Tecnológico Nacional de México.
- López Martínez, J. D., Díaz Estrada, A., Martínez Rubin, E., & Valdez Cepeda, R. D. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Latinoamericana*, 19(4), 293-299.
- Olf, H.-W. (2021). Organic fertilization in maize cropping systems: Measures to reduce N losses. *Agronomy*, 11(4), 793. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040793>

- Ortiz-Torres, E., López, P. A., Gil-Muñoz, A., Guerrero-Rodríguez, J. de D., López-Sánchez, H., Taboada-Gaytán, O. R., Hernández-Guzmán, J. A., & Valadez-Ramírez, M. (2013). Rendimiento y calidad de elote en poblaciones nativas de maíz de Tehuacán, Puebla. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(2), 225-238. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.02.006>
- Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H. R., & Violic, A. D. (2001). *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://www.fao.org/4/X7650S/x7650s00.htm>
- Qiu, R., Zhang, M., & He, Y. (2022). Field estimation of maize plant height at jointing stage using an RGB-D camera. *The Crop Journal*, 10(5), 1274-1283. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2022.07.010>
- Ramírez Padilla, B. R., & Goyes Acosta, R. I. (2004). *Botánica: generalidades, morfología y anatomía de plantas superiores*. Universidad del Cauca.
- Ríos, M. J., Gómez-Martínez, J., Bolaños Aguilar, R. E., & Gutiérrez Matamoros, C. J. (2019). Fertilización sintética y orgánica y su efecto en la producción de maíz, variedad Nutrinta Amarillo. *La Calera*, 19(32), 41-47. <https://doi.org/10.5377/calera.v19i32.8439>
- Rodríguez Larramendi, L., Guevara Hernández, F., Ovando Cruz, J., Marto González, J. R., & Ortiz Pérez, R. (2016). Crecimiento e índice de cosecha de variedades locales de maíz (*Zea mays* L.) en comunidades de la región Frailesca de Chiapas, México. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 137-145. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1404.6967>
- Rodríguez-Montalvo, F. A., Sierra-Macías, M., Espinosa-Calderón, A., Vázquez-Hernández, M. V., Barrón-Freyre, S., Andrés-Meza, P., & Del Rosario-Arellano, J. L. (2021). Productividad de forraje en maíces híbridos bajo diferentes densidades de población y dosis de fertilización. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-12. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.676>
- Salazar-Sosa, E., Trejo-Escareño, H. I., López-Martínez, J. D., Vázquez-Vázquez, C., Serrato-Corona, J. S., Orona-Castillo, I., & Flores-Márquez, J. P. (2010). Efecto residual de estiércol bovino sobre el rendimiento de maíz forrajero y propiedades del suelo. *Terra Latinoamericana*, 28, 381-390.
- Sánchez-Suárez, F., Palenzuela, M. D. V., Campos-Vázquez, C., Santos-Dueñas, I. M., Ramos-Muñoz, V. M., Rosal, A., & Peinado, R. A. (2025). Effects of the application of different types of vermicompost produced from wine industry waste on the vegetative and productive development of grapevine in two irrigation conditions. *Agriculture*, 15(15), 1604. <https://doi.org/10.3390/agriculture15151604>
- SAS Institute Inc. (2024). *SAS OnDemand for Academics*. <https://www.sas.com>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2018). *Aptitud agroclimática del maíz en México*. SIAP. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/422297/12_Aptitud_agroclim_tica_de_M_xico_de_diciembre_2018.pdf
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. SIAP. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/
- Shirzad, H., Siavash Moghaddam, S., Rahimi, A., Rezapour, S., Xiao, J., & Popović-Djordjević, J. (2024). Combined effect of biological and organic fertilizers on abrobiochemical traits of corn (*Zea mays* L.) under wastewater irrigation. *Plants*, 13(10), 1331. <https://doi.org/10.3390/plants13101331>
- Sierra Macías, M., Palafox Caballero, A., Rodríguez Montalvo, F., Espinosa Calderón, A., Gómez Montiel, N., Caballero Hernández, F., Barrón Freyre, S., Zambada Martínez, A., & Vázquez Carrillo, G. (2008). H-520, híbrido trilineal de maíz para el trópico húmedo de México. *Agricultura Técnica en México*, 34(1), 119-122.
- Sumano-López, D., Barrón-Freyre, S., Ramírez-Guillermo, M. A., Palma-Cancino, D. J., Salgado-Velázquez, S., & Rodríguez-Cuevas, M. (2025). Performance of corn (*Zea mays* L.) with application of poultry manure and leachates as organic fertilizer. *Agro Productividad*, 18(2), 135-148. <https://doi.org/10.32854/agrop.v18i2.3251>
- Tinoco Alfaro, C. A., Rodríguez Montalvo, F. A., Sandoval Rincón, J. A., Barrón Freyre, S., Palafox Caballero, A., Esqueda Esquivel, V., Sierra Macías, M., & Romero Mora, J. (2002). *Manual de producción de maíz para los estados de Veracruz y Tabasco*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Wang, J., Yang, X., Huang, S., Wu, L., Cai, Z., & Xu, M. (2025). Long-term combined application of organic and inorganic fertilizers increases crop yield sustainability by improving soil fertility in maize-wheat cropping systems. *Journal of Integrative Agriculture*, 24(1), 290-305. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2024.07.003>
- Wang, X., Yan, Y., Xu, C., Wang, X., Luo, N., Wei, D., Meng, Q., & Wang, P. (2021). Mitigating heat impacts in maize (*Zea mays* L.) during the reproductive stage through

- biochar soil amendment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 311, 107321. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107321>
- Xie, G., Liang, M., Chen, P., Zhang, C., Fan, M., Wang, C., & Zhao, L. (2024). The effects of tillage and the combined application of organic and inorganic fertilizers on the antioxidant enzyme activity and yield of maize leaves. *Agronomy*, 14(5), 968. <https://doi.org/10.3390/agronomy14050968>
- Xing, Y., Li, Y., Zhang, F., & Wang, X. (2024). Appropriate application of organic fertilizer can effectively improve soil environment and increase maize yield in Loess Plateau. *Agronomy*, 14(5), 993. <https://doi.org/10.3390/agronomy14050993>
- Xu, X., Yan, S., Wang, J., Niu, Y., Wei, W., & Liu, S. (2024). Organic amendment enhances maize yield through improved photosynthesis, endogenous hormones, and defense enzymes. *Agronomy*, 14(12), 2816. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122816>
- Zaragoza-Esparza, J., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., López-López, C., García-Espinosa, J. C., Zamudio-González, B., Turrent-Fernández, A., & Rosado-Núñez, F. (2019). Rendimiento y calidad de forraje de híbridos de maíz en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), 101-111. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1403>
- Zavala-Cruz, J., Jiménez Ramírez, R., Palma-López, D. J., Bautista Zúñiga, F., & Gavi Reyes, F. (2016). Paisajes geomorfológicos: base para el levantamiento de suelos en Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(8), 161-171.
- Zhao, Y., Ning, P., Feng, X., Ren, H., Cui, M., & Yang, L. (2022). Characterization of stem nodes associated with carbon partitioning in maize in response to nitrogen availability. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(8), 4389. <https://doi.org/10.3390/ijms23084389>