

Fertilización óptima en maíz de temporal respecto a remoción de nutrientes y diagnóstico edáfico en pequeñas parcelas

René García-Martínez^{1,§}

Eduar Antonio González-Félix¹

Julio César Ayllón-Benítez²

Jesús García-Urbina¹

Hotón Sánchez-Aguilar¹

1 Tecnológico Nacional de México- TES Valle de Bravo-División de Ingeniería en Forestal. Carretera Federal Valle de Bravo km 30, Ejido San Antonio Laguna, Valle de Bravo, Estado de México, México. CP. 51200.

2 Tecnológico Nacional de México- TES Valle de Bravo-División de Licenciatura en Administración. Carretera Federal Valle de Bravo km 30, Ejido San Antonio Laguna, Valle de Bravo, Estado de México, México. CP. 51200.

Autor para correspondencia: rgm1117@gmail.com.

Resumen

En el sur del Estado de México, México, los pequeños productores de maíz obtienen rendimientos bajos ($<5 \text{ Mg ha}^{-1}$) debido a deficiencias en el manejo de la nutrición. Por ello, el objetivo de la investigación fue determinar la dosis de fertilización para pequeñas parcelas de maíz de temporal considerando la condición de fertilidad del suelo y extracción nutrimental del grano y rastrojo. La investigación se desarrolló en Villa de Allende, Estado de México, en dos parcelas con distinto manejo de la fertilización. En la parcela A se aplicó 1 t de compost de estiércol de bovino y en la parcela B se aplicaron 30 kg de una mezcla de urea + triple 17 (N-P-K). A partir del diagnóstico de la fertilidad de suelo y la remoción nutrimental del grano y rastrojo se definieron las dosis de fertilización. En ambas parcelas, el contenido de MO y N fue bajo, y el nivel de Fe, adecuado. En la parcela A, el suelo presentó altos niveles de P, K, Ca y Mg. El grano y rastrojo extrajeron altas cantidades de N y K. En la parcela A la necesidad de fertilizantes se concentró en N, Fe y Zn, mientras que para la parcela B fue N, P, K, Ca, Mg, Fe y Zn. Esto generó una reducción en la necesidad de fertilizantes, en el primer caso, representando un ahorro del 48 % en costos. Este enfoque contribuye a mejorar la productividad, reducir costos e impacto ambiental en la agricultura de pequeña escala.

Palabras clave:

Zea mays, costos de fertilización, fertilidad de suelos, nutrición del maíz, producción de maíz.



Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es un cereal básico para la alimentación de las familias rurales mexicanas porque asegura su sustento nutricional y al vender excedentes, obtienen recursos para otros productos, fortaleciendo así la seguridad alimentaria (Damián-Huato *et al.*, 2016).

En el periodo comprendido 2012-2021, la producción promedio a nivel global de maíz fue de 1 088.54 millones de toneladas que se concentró mayoritariamente en tres países, aportando el 63% del total (FAOSTAT, 2023): Estados Unidos (32.7%), China (22.7%) y Brasil (7.85%).

A pesar de la importancia del maíz como principal cultivo alimentario y de mayor superficie sembrada en México, con 6.5 millones de hectáreas sembradas y rendimiento promedio de 3.7 t ha⁻¹ (SIAP, 2025), existe rezago en el estudio de fertilidad suelos y la generación de política pública que apoye la producción (Vega-Álvarez *et al.*, 2022).

Adicionalmente, problemas como el cambio climático y los métodos de siembra utilizados, afectan la cosecha y por ende, la calidad del producto y los rendimientos obtenidos (Garizurieta-Bernabe y García-Sánchez, 2024).

Particularmente, el maíz de temporal es mucho más susceptible a la variabilidad y cambio climático al depender totalmente de la precipitación y temperaturas, lo que a largo plazo puede poner en riesgo la productividad del cultivo (López-Hernández *et al.*, 2025).

El manejo de la nutrición condiciona el rendimiento del cultivo de maíz. Por ejemplo, el uso de fertilizantes combinado con las semillas mejoradas logró incrementar el rendimiento del grano en regiones de baja productividad de México (Cadet-Díaz y Guerrero-Escobar, 2018).

La aplicación de fertilizantes es uno de los principales componentes del proceso de producción de este cultivo, y se caracteriza para la aplicación de dosis altas de nitrógeno, reducida aplicación de fósforo y uso insignificante de potasio (Flores-Sánchez *et al.*, 2019), sin utilizar herramientas de diagnóstico nutrimental de suelo y planta.

En los planes de fertilización de cultivos la cantidad de nutrientes removida por la cosecha debe reponerse al suelo para mantener el crecimiento y productividad (Fernández-Escobar *et al.*, 2015). Es necesario cuantificar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y estimar cantidad extraída por la planta a nivel parcela.

Como antecedente, Martínez-Gutiérrez *et al.* (2022) realizaron estudios en los Valles Altos del Estado de México y estimaron que la demanda de macronutrientes (kg ha⁻¹) para cosechar 12.3 t ha⁻¹ de maíz fue: 292.3 de N, 87.2 de P, 238.1 de K, 66.2 de Ca, 47.8 de Mg, y de micronutrientes (g ha⁻¹) de 201 de Cu, 586.4 de Mn, 375.6 de Zn y 115.6 de B. Con ello se garantiza un manejo sostenible del suelo optimizando la producción.

Estudios de diagnóstico nutrimental en maíz reportan deficiencias de N, Zn, Mg y Mn en parcelas de maíz ubicadas en Texcoco, México (Pacheco-Sangerman *et al.*, 2022).

Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue determinar la dosis de fertilización en parcelas de maíz de temporal con distinto manejo de la fertilización aplicando herramientas de diagnóstico de la fertilidad del suelo y la remoción nutrimental del grano y rastrojo.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en Loma de San Pablo, Villa de Allende, Estado de México (2 657 m), con clima templado subhúmedo y precipitación promedio de 1 000 mm anuales (junio-octubre), suelos Andosol úmbrico y vegetación de pino, encino y oyamel (INEGI, 2023).

Se trabajó con dos parcelas donde se sembró maíz híbrido (Hipopótamo Asgrow®) bajo condiciones de temporal. En la parcela A (0.44 ha) se aplicó 1 t de compost de estiércol de bovino que contenía la siguiente concentración: N= 1.24%, P= 0.4%, K= 1.6%, Ca= 2.6%, Mg= 0.87%, S= 1.3%, Fe= 1.8%, Cu= 34 ppm y Zn= 137 ppm.

En la parcela B (0.23 ha) se aplicaron 30 kg de fertilizante mineral (15 kg urea + 15 kg triple 17 N-P-K).

La cantidad (kg ha⁻¹) de estiércol aplicado aportó N (28.2), P (9.1), K (36.4), Ca (59.1), Mg (19.8), S (29.5), Fe (40.9), Cu (0.07) y Zn (0.31) mientras que con el fertilizante mineral el aporte fue (kg ha⁻¹) 41.1 de N, 4.8 de P y 9.2 de K. Históricamente la parcela A se ha fertilizado con compost de ganado bovino, mientras que en la parcela B se han aplicado fuentes minerales.

La siembra se realizó en mayo y la cosecha en octubre de 2023. El rendimiento aproximado de grano fue de 11 Mg ha⁻¹ y 10 t ha⁻¹ de rastrojo en las parcelas de estudio.

En octubre de 2023 se obtuvieron muestras compuestas de grano (250 g) y rastrojo (500 g), por parcela, que fueron enviadas y analizadas en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Química Ambiental del Colegio de Postgraduados.

El N se determinó por el método semimicro-Kjeldahl (Sáez-Plaza *et al.*, 2013); K, Ca, Mg, Fe y Zn mediante digestión con HNO₃-HClO₄ y cuantificación por espectrofotometría de absorción atómica (Tan, 1996); y el P por el método vanadomolibdato (Burns y Hutsby, 1986). Con estos resultados se estimó la remoción nutrimental del grano y rastrojo.

El diagnóstico de fertilidad del suelo se realizó con 10 (parcela A) y 15 (parcela B) submuestras (0-20 cm de profundidad), generando muestras compuestas de 500 g por parcela. En los sistemas agrícolas, donde el suelo es homogeneizado mediante la labranza, las muestras simples recolectadas de diversos puntos de las parcelas para conformar muestras compuestas, constituye una técnica de muestreo edáfico ampliamente aplicada (Rocco *et al.*, 2016). La fertilidad promedio de una parcela se determina mediante el análisis de una muestra de suelo compuesta, sin necesidad de otros datos estadísticos (Guarçoni *et al.*, 2017).

A las muestras de suelo se les determinó pH (relación 2:1 agua-suelo; Weil y Brady, 2017), conductividad eléctrica (CE) (Tan, 1996), materia orgánica (Sleutel *et al.*, 2007), N (Sáez-Plaza *et al.*, 2013), P (Olsen *et al.*, 1954), cationes intercambiables (Havlin *et al.*, 2016) y micronutrientes (Tan, 1996).

Los resultados se compararon con la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002) y literatura de referencia (Osman, 2013; Havlin *et al.*, 2016; Weil y Brady, 2017).

La extracción nutrimental se estimó como el producto entre la materia seca y la concentración de nutrientes (Martínez-Gutiérrez *et al.*, 2022). La dosis de fertilización se calculó mediante el método de restitución, considerando la disponibilidad edáfica y el rendimiento meta (Maldonado *et al.*, 2001; Conde-Delgado *et al.*, 2018). Según el nivel de suficiencia (Havlin *et al.*, 2016), los nutrientes con nivel alto no se aplicaron; en nivel medio, se repuso lo extraído, y en nivel bajo se adicionó un 20 % adicional de fertilizante.

El costo de los abonos se determinó de acuerdo con la necesidad de cada parcela y tomando en cuenta el precio de los materiales en el mercado local.

Resultados y discusión

Los valores más altos de CE, P, K, Ca, Mg, Fe y Zn observados en la parcela A se relacionaron con la aplicación frecuente de estiércol vacuno en la producción del cultivo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Diagnóstico de la fertilidad del suelo en parcelas de maíz de temporal en Loma de San Pablo, Villa de Allende, Estado de México.

Elemento	Parcela A	Parcela B
pH	6.5 (Moderadamente ácido)	6.1 (Moderadamente ácido)
CE (dS m ⁻¹)	0.13 (EDS)	0.05 (EDS)
MO (%)	4.1 (Bajo)	4 (Muy bajo)
N (%)	0.19 (Bajo)	0.20 (Bajo)

Elemento	Parcela A	Parcela B
P (ppm)	110 (Alta)	7 (Medio)
K (cmoles ⁺ kg ⁻¹)	3 (Alta)	0.3 (Media)
Ca (cmoles ⁺ kg ⁻¹)	14.4 (Alta)	8.4 (Media)
Mg (cmoles ⁺ kg ⁻¹)	3.8 (Alta)	1.2 (Baja)
Fe (ppm)	55 (Adecuado)	32 (Adecuado)
Zn (ppm)	8 (Adecuado)	0.3 (Deficiente)

EDS= efectos despreciables de salinidad.

Los valores de pH del suelo coinciden con los obtenidos en parcelas agrícolas de la región de estudio, Valle de Bravo (pH= 6.3) y Villa de Allende (pH= 5.8), en el Estado de México (García-Martínez *et al.*, 2021).

Esta variable afecta el crecimiento de las plantas principalmente por su papel en otras propiedades del suelo, incluida la disponibilidad de nutrientes, la toxicidad elemental y actividad microbiana (Osman, 2013). Además, la disponibilidad de nutrientes es mayor en el intervalo de pH de 5.5-6.5 (Porta *et al.*, 2019) y ambas parcelas están dentro del rango establecido.

Con respecto al bajo contenido de MO observado se relacionó con el uso agrícola del suelo, en comparación con plantaciones forestales donde se reportan valores de MO en un rango de 4.5 a 6.2% (García-Martínez *et al.*, 2024).

La MO juega un papel clave en la nutrición de los cultivos, cuando se descompone, libera nutrientes, por lo cual es una fuente de elementos esenciales como N, P y K (Kasifah *et al.*, 2025). Además, la MO cumple funciones físicas en el suelo como mejorar la agregación, aireación y movimiento del agua, así como reducir la evaporación y conductividad térmica (Osman, 2013).

En este sentido en ambas parcelas es necesario incrementar los niveles de MO mediante la aplicación de abonos orgánicos.

El N es el nutriente mineral que las plantas requieren en mayor cantidad, por ello, en suelos deficientes de este elemento, las plantas no se desarrollan adecuadamente (Taiz y Zeiger *et al.*, 2015). Los cultivos absorben el N en forma de nitrato (NO₃⁻) a través de sus raíces y depende de la concentración de N en el suelo, disponibilidad de agua y actividad metabólica de las raíces (Sanders y White, 2023).

Según Havlin *et al.* (2016), el contenido total de N en suelos minerales varía de 0.02 a 0.5% y está correlacionado positivamente con el contenido de MO. Por los bajos niveles de N en el suelo de las parcelas estudiadas, deben aplicarse fertilizantes nitrogenados para alcanzar niveles adecuados de N que favorezcan el desarrollo de las plantas de maíz.

En la parcela A, la aplicación estiércol en cada ciclo de producción ha incrementado la concentración de P. El P es relativamente inmóvil en el suelo y su movimiento se produce principalmente a través de difusión a cortas distancias en la solución del suelo hasta las raíces de las plantas (Kasifah *et al.*, 2025).

En los suelos de regiones húmedas y tropicales el contenido de P extraíble es menor, comparado con el de zonas áridas y semiáridas; para asegurar la disponibilidad de este elemento a las plantas es conveniente aplicar fertilizantes minerales u orgánicos (Havlin *et al.*, 2016). El uso de abonos orgánicos a largo plazo incrementa las fracciones de P disponibles en el suelo de forma rápida y regular el pH y la fosfatasa de forma lenta (Zhang *et al.*, 2021).

En el suelo de la parcela A se encontró 10 veces menos contenido de K que la parcela B. En parcelas agrícolas de la región de estudio se reportan valores 2.23 a 3.88 cmol⁺ kg⁻¹ de K (García-Martínez *et al.*, 2021). A pesar de que el contenido total de K en el suelo puede superar la necesidad de las plantas durante la temporada de crecimiento, solo una parte está disponible para ellas (Havlin *et al.*, 2016) y en el cultivo de maíz es el segundo elemento que más remueve el grano durante su crecimiento (Martínez-Gutiérrez *et al.*, 2022).

El contenido de Ca en la parcela A fue 1.7 veces mayor que la parcela B. El Ca se mueve en el suelo principalmente por flujo de masas, y su disponibilidad puede verse afectada significativamente por el nivel de humedad del suelo (Benton, 2012), particularmente en condiciones de temporal.

El abastecimiento de Ca a la solución del suelo es posible porque este elemento se encuentra en minerales que contienen calcio, complejos de Ca y materia orgánica del suelo, y Ca retenido por intercambio catiónico en la arcilla y coloides orgánicos (Weil y Brady, 2017).

El mayor contenido de Fe en la parcela A se asoció a la aplicación constante de abonos orgánicos. La aplicación de compost y otros abonos orgánicos puede mejorar la disponibilidad de hierro al quelar el Fe y aumentar su disponibilidad (Yang *et al.*, 2024).

La concentración y remoción nutrimental de grano difirió entre las parcelas (Cuadro 2). En el presente estudio el orden de remoción de nutrientes del grano en la parcela A fue N> K> P> Mg> Ca> Zn> Fe y en la parcela B fue: N> K> P> Mg> Ca> Fe> Zn.

Para el grano de maíz, Martínez-Gutiérrez *et al.* (2022) reportan datos de remoción de N (14.3 kg Mg⁻¹), K (2.9 kg Mg⁻¹), P (2.3 kg Mg⁻¹), Mg (1 kg Mg⁻¹), Ca (0.1 kg Mg⁻¹) y Zn (16.5 g Mg⁻¹). De acuerdo con Fornari *et al.* (2020), N y K son los nutrientes que las plantas de maíz requieren en mayor cantidad.

Cuadro 2. Concentración y remoción de nutrientes en grano de maíz de temporal (11 t ha⁻¹) en Loma de San Pablo, Villa de Allende, Estado de México.

Elemento	Parcela A		Parcela B	
	Concentración (%)	Remoción (kg Mg ⁻¹)	Concentración (%)	Remoción (kg Mg ⁻¹)
N	1.7	17	1.27	12.7
P	0.88	8.8	0.68	6.8
K	0.94	9.4	0.69	6.9
Ca	0.07	0.7	0.07	0.7
Mg	0.16	1.6	0.1	1
Fe	0.0056	0.056	0.0067	0.067
Zn	0.0061	0.061	0.004	0.04

En el rastrojo también fue evidente la alta demanda de N, K y Ca (Cuadro 3). La parcela A, donde se aplicó compost, la remoción de estos elementos fue mayor.

Cuadro 3. Concentración y remoción de nutrientes en rastrojo de maíz de temporal (10 t ha⁻¹) en Loma de San Pablo, Villa de Allende, Estado de México.

Elemento	Parcela A		Parcela B	
	Concentración (%)	Remoción (kg Mg ⁻¹)	Concentración (%)	Remoción (kg Mg ⁻¹)
N	0.99	9.9	0.65	6.5
P	0.08	0.8	0.07	0.7
K	0.92	9.2	0.73	7.3
Ca	1.02	10	0.73	7.3
Mg	0.13	1.3	0.14	1.4
Fe	0.19	1.9	0.18	1.8
Zn	0.0019	0.019	0.0018	0.018

Dosis de fertilización y costo de fertilizantes

La demanda nutrimental se calculó para un rendimiento meta de 11.5 Mg ha⁻¹ de grano y 10 Mg ha⁻¹ de rastrojo. En la Parcela A, la demanda (kg ha⁻¹) fue: N (294.5), P (109.2), K (200.1), Ca (110),

Mg (31.4), Fe (19.6) y Zn (0.89). En la Parcela B la demanda fue (kg ha^{-1}): N (208.8), P (85.2), K (152.4), Ca (81), Mg (25.5), Fe (18.8) y Zn (0.7).

El diagnóstico de fertilidad del suelo se utilizó para definir la cantidad por aplicar de cada nutriente. En la Parcela A la necesidad (kg ha^{-1}) fue; N (353.4), Fe (19.6) y Zn (0.89). En la Parcela B se requirió; N (250.6), P (85.2), K (152.4), Ca (81), Mg (30.6), Fe (18.8) y Zn (0.84). Con esta información se eligieron las fuentes fertilizantes y cantidad a utilizar en cada parcela (Cuadro 4).

Cuadro 4. Fuente y dosis estimada de fertilizante mineral para maíz de temporal en Loma de San Pablo, Villa de Allende, Estado de México.

Fertilizante	Parcela A (kg ha^{-1})	Parcela B (kg ha^{-1})
Urea	768	139
Triple 18	0	847
Nitrato de Calcio	0	221.2
Sulfato de magnesio	0	191.25
Sulfato de Hierro	122.5	117.5
Sulfato de Zinc	2.5	2.3

El costo de fertilización por hectárea fue de \$22 884.50 en la parcela A y \$44 166.10 en la parcela B. En la primera, la urea representó el 80% del costo total, mientras que en la segunda, el triple 18 (N-P-K) aportó el 54%.

Las diferencias reflejan la variación en la fertilidad inicial del suelo y la remoción nutrimental por la cosecha, lo que coincide con Havlin *et al.* (2016), quienes destacan que un manejo eficiente debe considerar ambos factores. Asimismo, Fageria (2009) y Fornari *et al.* (2020) señalan que N y K son los nutrientes más limitantes en el maíz, por lo que su suministro debe garantizarse.

Desde una perspectiva económica y ambiental, el manejo con estiércol en la parcela A representó una ventaja porque se redujo 40% el costo total de fertilización respecto a la parcela B. Lo anterior es consistente con Yang *et al.* (2024), quienes documentan cómo las enmiendas orgánicas mejoran la fertilidad edáfica y reducen la dependencia de insumos sintéticos, además de mejorar la disponibilidad de micronutrientes como el Fe y Zn mediante procesos de quelación.

La fertilización constituye el principal componente del costo de producción de maíz en el Estado de México (63% en paquetes de alto potencial), lo que resalta la necesidad de optimizar su aplicación mediante diagnósticos de fertilidad y manejo eficiente de nutrientes (Amaya-Pérez *et al.*, 2025).

Los paquetes tecnológicos del INIFAP, al establecer proporciones estándar (105N-92P-90K), pueden provocar excesos o deficiencias nutrimentales al no considerar la variabilidad del suelo. Para mejorar la adopción de tecnologías, se requiere apoyo financiero e incentivos económicos que faciliten el acceso a fertilizantes minerales y aumenten la productividad de los pequeños productores, ya que un incremento del 10% en los apoyos gubernamentales podría elevar la producción nacional de maíz (Guerrero *et al.*, 2023; Ayllon-Benítez y Cardoso-Jiménez, 2025).

Conclusiones

La aplicación de fertilizante orgánico en la parcela A generó una mejor condición de fertilidad del suelo particularmente en el contenido de P, K, Ca, Mg, Fe y Zn. Tanto con la aplicación de estiércol como de fertilizante mineral, los nutrientes que se removieron en mayor cantidad, en el grano como en el rastrojo, fueron N y K.

La parcela A, donde se aplicó estiércol bovino, no requirió la aplicación de P, K, Ca y Mg, esta situación representó una reducción de 43% en el costo de fertilizantes; sin embargo, demandó 41% de N adicional, comparado con la parcela donde se aplicó fertilizante mineral.

Para garantizar la sostenibilidad económica y ambiental del cultivo, es crucial transitar hacia estrategias específicas de fertilización, con base en el análisis de suelos y prácticas adaptadas a las condiciones locales de la región, particularmente en parcelas de pequeños productores donde los estudios son escasos.

Bibliografía

- 1 Amaya-Pérez, F. S.; Martínez-Damián, M. A. y Sangerman-Jarquín, D. M. 2025. Análisis de paquetes tecnológicos para la producción de maíz en el Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 16(4):1-9. Doi: 10.29312/remexca.v16i4.3583.
- 2 Ayllon-Benítez, J. C. y Cardoso-Jiménez, D. 2025. Análisis económico actual del maíz en México, periodo 1981-2022. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 16(4):1-11. Doi: 10.29312/remexca.v16i4.3701.
- 3 Benton, J. J. 2012. *Plant nutrition and soil fertility manual*. 2nd Ed. CRC press: Florida, USA. 273 p.
- 4 Burns, I. G. and Hutsby, W. 1986. Critical comparison of the vanadomolybdate and the molybdenum blue methods for the analysis of phosphate in plant sap. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 17(8):839-852.
- 5 Cadet-Díaz, S. and Guerrero-Escobar, S. 2018. Factores que determinan los rendimientos de la producción de maíz en México: evidencia del censo agropecuario 2007. *Agricultura, sociedad y desarrollo*. 15(3):311-337. Doi: 10.22231/asyd.v15i3.848.
- 6 Conde-Delgado, L. M.; Alía-Tejacal, I.; Valdez-Aguilar, L. A.; Ariza-Flores, R.; Juárez-López, P.; Pérez-Arias, G. A.; Pelayo-Saldivar, C.; León-Sánchez, F. D. y Martínez-Morales, A. 2018. La dosis de fertilización afecta el rendimiento y calidad en limón Persa (*Citrus latifolia* Tan.). *Acta Agrícola y Pecuaria*. 4(1):1-9. Doi: <https://doi.org/10.30973/aap/2018.4.1/1>.
- 7 Damián-Huato, M. A.; Romero-Arenas, O.; Sangerman-Jarquín, D. M.; Reyes-Muro, L.; Parraguirre-Lezama, C. y Orozco-Cirilo, S. 2016. Maíz, potencial productivo y seguridad alimentaria: el caso de San Nicolás de Los Ranchos, Puebla-México. *Nova Scientia*. 8(16):352-370. <https://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v8n16/2007-0705-ns-8-16-00352.pdf>.
- 8 Fageria, N. K. 2009. *The use of nutrient in crop plants*. CRC Press: Florida, USA. 31-163 pp. doi.org/10.1201/9781420075113.
- 9 FAOSTAT. 2023. FAOSTAT-Statistical Databases. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>.
- 10 Fernández-Escobar, R.; Sánchez-Zamora, M. A.; García-Novelo, J. M. y Molina-Soria, C. 2015. Nutrient removal from olive trees by fruit yield and pruning. *HortScience*. 50(3):474-478. Doi: 10.21273/HORTSCI.50.3.474.
- 11 Flores-Sánchez, D.; Navarro-Garza, H. y Pérez-Olvera, M. A. 2019. Balance de nutrientes en sistemas de cultivo de maíz y retos para la sustentabilidad. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*. 11(2):97-109. Doi: 10.5154/r.inagbi.2017.11.017.
- 12 Fornari, A. J.; Caires, E. F.; Bini, A. R.; Haliski, A.; Tzaskos, L. and Joris, H. A. W. 2020. Nitrogen fertilization and potassium requirement for cereal crops under a continuous no-till system. *Pedosphere*. 30(6):747-758. Doi: 10.1016/S1002-0160(20)60035-2.
- 13 García-Martínez, R.; Cortés-Flores, J. I.; López-Jiménez, A.; Etchevers-Barra, J. D.; Carrillo-Salazar, J. A. y Saucedo-Veloz, C. 2021. Rendimiento, calidad y comportamiento poscosecha de frutos de aguacate 'Hass' de huertos con diferente fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 12(2):205-2018. Doi: 10.29312/remexca.v12i2.2232.
- 14 García-Martínez, R.; Hernández-Soto, F. N.; Emeterio-Moreno, J. y Colín-Velázquez, M. K. 2024. Diferencias en la fertilidad del suelo en cuatro plantaciones forestales comerciales de pino en Amanalco, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 15(85):150-170. Doi: 10.29298/rmcf.v15i85.1462.

- 15 Garizurieta-Bernabe, J. y García-Sánchez, E. 2024. Tecnificación del cultivo de maíz como estrategia para el desarrollo regional de Veracruz. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 21(3):348-368. Doi: 10.22231/asyd.v21i3.1609.
- 16 Guarçoni, M. A.; Álvarez, V. V. H. y Moreira, S. F. 2017. Fundamentação teórica dos sistemas de amostragem de solo de acordo com a variabilidade de características químicas. *Terra Latinoamericana*. 35(4):343-352. <https://doi.org/10.28940/terra.v35i4.172>.
- 17 Guerrero, P. L.; Leos, J. A.; Palacio, V. H. y Ocampo, J. G. 2023. Precios de garantía y sus efectos sobre las pequeñas explotaciones agrícolas de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 20(2):248-265. Doi: 10.22231/asyd.v20i2.1565.
- 18 Havlin, J. L.; Tisdale, S. L.; Nelson, W. L. and Beaton, J. D. 2016. *Soil fertility and fertilizers*. 8th Ed. Pearson. Noida, Uttar Pradesh, India. 528 p.
- 19 INEGI. 2023. Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 752 p.
- 20 Kasifah, K.; Bilad, M. R. and Baja, S. 2025. Application of rice straw and corn straw compost for enhancing phosphorus availability in ultisol and corn plants. *Cleaner Waste Systems*. 10(100213):1-8. Doi: 10.1016/j.clwas.2025.100213.
- 21 López-Hernández, N. A.; Martínez-Sifuentes, A. R.; Halecki, W.; Trucíos-Caciano, R. and Rodríguez-Moreno, V. M. 2025. An assessment of the impact of climate change on maize production in Northern Mexico. *Atmosphere*. 16(4):1-21. <https://doi.org/10.3390/atmos16040455>.
- 22 Martínez-Gutiérrez, A.; Zamudio-González, B.; Cardoso-Galvão, J. C.; Espinosa-Calderón, A.; Tadeo-Robledo, M.; Vázquez-Alarcón, A. and Villegas-Aparicio. 2022. Efecto de aminoácidos foliares en la extracción y remoción de nutrientes en maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 45(2):173-181. Doi: 10.35196/rfm.2022.2.173.
- 23 Olsen, S. R.; Cole, C. V; Watanabe, F. S. and Dean, L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular 939*. Washington, United States of America. 19 p.
- 24 Osman, K. T. 2013. *Soils. Principles, properties and management*. Springer. London, LND, England. 271 p.
- 25 Pacheco-Sangerman, F.; Prado-Hernández, V.; Maldonado-Torres, R. y Robledo-Santoyo, E. 2022. Diagnóstico nutrimental del suelo y foliar en el cultivo de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 13(6):1079-1090. Doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i6.2691>.
- 26 Porta, C. J.; López-Acevedo, M. y Poch, R. M. 2019. *Edafología. Uso y protección de suelos*. 4ª Ed. Madrid, MD, España. 619 p.
- 27 Rocco, C.; Duro, I.; Rosa, S.; Fagnano, M.; Fiorentino, N.; Vetromile, A. and Adamo, P. 2016. Composite vs. discrete soil sampling in assessing soil pollution of agricultural sites affected by solid waste disposal. *Journal of Geochemical Exploration*. 170:30-38. doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.004.
- 28 Sáez-Plaza, P.; Navas, M. J.; Wybraniec, S.; Michalowski, T. and García-Asuero, A. G. 2013. An overview of the Kjeldahl method of nitrogen determination. Part II. Sample preparation, Working Scale. Instrumental Finish and Quality Medio Control. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 43(4):224-272. Doi: 10.1080/10408347.2012.751787.
- 29 Sanders, Z. P. and White, C. M. 2023. Can nitrogen recommendations for corn production be improved through spatially explicit crediting of cover crops and soil organic matter? *Smart Agricultural Technology*. 6:100336. Doi: 10.1016/j.atech.2023.100336.
- 30 SEMARNAT. 2002. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000), que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial*

- de la Federación. 113-185 pp. <https://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>.
- 31 SIAP. 2025. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Maíz Grano. <https://nube.agricultura.gob.mx/cierre-agricola/>.
 - 32 Sleutel, S.; Neve, S.; Singier, B. and Hofman, G. 2007. Quantification of organic carbon in soils: a comparison of methodologies and assessment of the carbon content of organic matter. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 38(19-20):2647-2657. Doi: 10.1080/00103620701662877.
 - 33 Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M. and Murphy, A. S. 2015. *Plant physiology and development*. New York, United States of America. 756 p.
 - 34 Tan, K. 1996. *Soil sampling, preparation, and analysis*. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. 407 p.
 - 35 Vega-Álvarez, I.; Flores-Sánchez, D.; Escalona-Maurice, M. J.; Castillo-González, F. y Jiménez-Velázquez, M. A. 2022. Tlaxcala, investigación en maíz nativo y mejorado: problemática, campos del conocimiento y nuevos retos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 13(3):539-551. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v13n3/2007-0934-remexca-13-03-539.pdf>.
 - 36 Weil, R. R. and Brady, N. C. 2017. *The nature and properties of soils*. 15ta Ed. Pearson. Harlow, Essex, England. 1 104 p.
 - 37 Yang, F.; He, B.; Dong, B. and Zhang, G. 2024. Film mulched ridge-furrow tillage improves the quality and fertility of dryland agricultural soil by enhancing soil organic carbon and nutrient stratification. *Agricultural Water Management*. 292(108686):1-9. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108686>.
 - 38 Zhang, Y.; Gao, W.; Luan, H.; Tang, J.; Li, R.; Li, M.; Zhang, H. and Huang, S. 2021. Long-term organic substitution management affects soil phosphorus speciation and reduces leaching in greenhouse vegetable production. *Journal of Cleaner Production*. 327(4):1-12. Doi: 10.1016/j.jclepro.2021.129464.



Fertilización óptima en maíz de temporal respecto a remoción de nutrientes y diagnóstico edáfico en pequeñas parcelas

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
ISSN (electronic): 2007-9934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 February 2026
Date accepted: 01 April 2026
Publication date: 01 May 2026
Publication date: May-Jun 2026
Volume: 17
Issue: 3
Electronic Location Identifier: e4075
DOI: 10.29312/remexca.v17i3.4075

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

costos de fertilización

fertilidad de suelos

nutrición del maíz

producción de maíz

Zea mays

Counts

Figures: 0

Tables: 4

Equations: 0

References: 38