

**RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD EN FUNCIÓN DEL ARREGLO TOPOLÓGICO
Y FERTILIZACIÓN EN EL AGROSISTEMA MAÍZ - FRIJOL ^a****GRAIN YIELD AND PROFITABILITY AS A FUNCTION OF TOPOLOGICAL
ARRANGEMENT AND FERTILIZATION IN THE CORN - BEAN AGROSYSTEM**

I.Y. Pérez-González ¹; C. Aguilar-Carpio ^{1*}; J.A.S. Escalante-Estrada ¹; S.L.
Quintero-Bastida¹; A. Valencia-Reyes ²

¹*Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Posgrado de Botánica. Carretera México
– Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, CP. 5664.*

²*Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero - Centro de Estudios Técnicos.*

* E-mail: aguilar.cid@colpos.mx

Fecha de envío: 01, junio, 2026

Fecha de publicación: 20, julio, 2026

Resumen

El agrosistema maíz y frijol es uno de los más representativos en México, debido a su importancia alimentaria y su capacidad para generar interacciones complementarias en el uso de luz, agua y nutrientes. Esta estrategia agronómica permite mejorar la eficiencia en el uso de los recursos y aumentar la productividad por unidad de superficie, contribuyendo a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Por ende, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto del arreglo topológico y el tipo de fertilización sobre el rendimiento y la rentabilidad del agrosistema maíz y frijol bajo condiciones de temporal en Montecillo, Texcoco, México. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo de parcelas divididas y cuatro repeticiones. Los resultados mostraron que la fertilización inorgánica incrementó significativamente la productividad. El rendimiento del agrosistema maíz–frijol estuvo significativamente influenciado por el arreglo topológico y la fertilización, destacando el tratamiento a tres hileras con fertilización inorgánica como el más eficiente productiva y económicamente.

Palabras clave: grano, productividad, producción, biomasa.

Abstract

The corn-bean agroecosystem is one of the most representative in Mexico due to its importance as a food source and its capacity to generate complementary interactions in the use of light, water, and nutrients. This agronomic strategy allows for improved resource use efficiency and increased productivity per unit area, contributing to the sustainability of agricultural systems. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of the topological arrangement and type of fertilization on the yield and profitability of the corn-bean agroecosystem under rainfed conditions in Montecillo, Texcoco, Mexico. A completely randomized block

^a Resultados de una investigación de tesis de Doctorado.

design with a split-plot arrangement and four replications was used. The results showed that inorganic fertilization significantly increased productivity. The performance of the corn-bean agrosystem was significantly influenced by the topological arrangement and fertilization, with the three-row treatment with inorganic fertilization standing out as the most efficient in terms of productivity and cost.

Keywords: grain, productivity, production, biomass.

INTRODUCCIÓN

En la urgencia por incrementar la producción de alimentos, aunado a la disminución de la superficie cultivable y crecientes preocupaciones ambientales, la agricultura regenerativa tiende a ser una opción que promueve la salud del suelo y su biodiversidad, a través de prácticas que permiten aumentar la actividad biológica del suelo, mejorar los ciclos de nutrientes y restaurar los ecosistemas (Khangura et al., 2023); además, de promover la participación social (Giller et al., 2021). En este sentido, la asociación de cultivos, particularmente entre cereales y leguminosas, es una estrategia agronómica que permite mejorar la eficiencia en el uso de los recursos y aumentar la productividad por unidad de superficie, contribuyendo a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Begam et al., 2024). En este contexto, el agrosistema maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es uno de los más representativos en México, debido a su importancia alimentaria y su capacidad para generar interacciones complementarias en el uso de luz, agua y nutrientes (Matusso et al., 2014).

El rendimiento en sistemas asociados depende de la interacción entre factores de manejo como el arreglo topológico y la disponibilidad de nutrientes. El arreglo topológico modifica la arquitectura del dosel y la intercepción de radiación, lo que influye directamente en la fotosíntesis y en la acumulación de biomasa (Aguilar et al., 2019). Por otro lado, la nutrición vegetal es un factor clave en la productividad del sistema. La fertilización inorgánica proporciona nutrientes de rápida disponibilidad que favorecen el crecimiento y la formación de grano, sin embargo, es importante la implementación de fertilizantes orgánicos que mejoren las propiedades del suelo (Jiang et al., 2024).

Además, la evaluación de la rentabilidad es fundamental para determinar la viabilidad de los sistemas agrícolas, ya que integra el efecto del manejo agronómico

sobre el rendimiento y los costos de producción (Ayvar et al., 2020). En este sentido, la combinación adecuada del arreglo topológico y fertilización puede optimizar simultáneamente la productividad y la eficiencia económica del sistema.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del arreglo topológico y el tipo de fertilización sobre el rendimiento y sus componentes, así como la rentabilidad del agrosistema maíz – frijol bajo condiciones de temporal en Montecillo, Texcoco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento del cultivo

El cultivo se estableció bajo condiciones de temporal (ciclo primavera-verano) en Montecillo, Texcoco, Estado de México (19° 29' N, 98° 54' O, 2250 msnm), con un clima templado con verano fresco y largo y poca oscilación térmica (Cb(w1) (w) (i') g) (García, 2004), con una temperatura y precipitación media anual de 15.5 °C y 554 mm, respectivamente. El suelo es de textura arcillosa, con una densidad aparente de 1.11 g cm⁻³, pH de 8.48 (alcalino), CE de 2.88 dS m⁻¹, MO de 3.54 %, P 38.1 ppm y N 62.5 ppm, datos obtenidos de la muestra enviada al Laboratorio de análisis de suelos y nutrición, Fertilidad de Suelos S. de RL.

Material vegetativo

Los genotipos utilizados fueron: maíz (*Zea mays* L.) nativo azul cv. San Miguel Tlaixpan y frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Tilantongo, Oaxaca de hábito de crecimiento indeterminado trepador. La siembra se realizó el 20 de junio del 2024 en camas de 4.50 x 1.60 m con una separación entre plantas de 0.30 m y entre hileras de 0.80 m y 0.54 m teniendo dos densidades de población de 4.16 y 6.17 plantas m⁻², respectivamente.

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos aplicados fueron camas de 2 y 3 hileras en combinación con fertilización orgánica (FO) e inorgánica (FI). La aplicación de FO fue a base de extracto de nopal a una dosis de 20 L ha⁻¹, aplicado vía foliar a los 15, 30 y 50 días después de la siembra (dds), el producto que se utilizó presentó un pH ácido (4.87) y una conductividad eléctrica de 10.8 dS m⁻¹, con un contiene 0.16 % de nitrógeno, 0.06 % de fósforo, 0.31 % de potasio, 0.04 % de calcio, 0.02 % de magnesio y 0.04



% de azufre, materia orgánica de 2 %, 1.16 % de carbono orgánico y una relación carbono/nitrógeno de 7.18. Para la FI se aplicó la fórmula de 100N-100P-00K utilizando las siguientes fuentes: DAP (18-46-00) y urea (46-00-00), aplicándose el P y el 50 % del N a los 15 dds y el resto del N al momento de la escarda (45 dds). El diseño experimental fue bloques completamente al azar con arreglo de parcelas divididas y cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de tres camas de 1.60 x 4.50 m y como parcela útil se consideró la cama central.

Manejo agronómico

El control de maleza se realizó de forma manual. En la etapa vegetativa se detectó gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en maíz y mosquita blanca en el frijol (*Bemisia tabaci*), los cuales fueron controlados mediante dos aplicaciones de bifentrina.

Variables de respuesta

A la madurez fisiológica se determinó la materia seca (MS, g m⁻²), rendimiento en grano (RG, peso de granos al 10 % de humedad, g m⁻²), peso de 100 granos (PCG, g), número de granos por m² (NG) y en frijol también se midió el número de vainas por m² (NV).

Además, se realizó un análisis económico para el rendimiento en grano del agrosistema, utilizando las siguientes relaciones: $CT = CF + CV$; donde CT = Costo total, CF = costos fijos, CV = costos variables. El ingreso total (IT) se obtuvo mediante la relación $IT = Py \times Y$; donde Py = precio por kg (maíz, \$ 8.00 y frijol, \$ 27.00), Y = rendimiento (kg ha⁻¹). El ingreso neto (IN) es el resultado de la siguiente relación $IN = IT - CT$. Y finalmente, la ganancia por peso invertido se obtuvo con la siguiente relación $GPI = IN/CT$ (Guera *et al.*, 2025).

Análisis estadístico

A las variables de estudio se les aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) mediante el programa estadístico R.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia seca (MS), rendimiento y sus componentes en maíz

En el Cuadro 1, la MS mostró diferencias entre tratamientos, registrando el mayor valor con la FI a 2 y 3 hileras, los cuales presentaron diferencias respecto a la fertilización orgánica, cabe señalar que entre el número de hileras hubo diferencias

significativas. Adicionalmente, el mejor desempeño observado en los tratamientos con fertilización inorgánica puede atribuirse a la disponibilidad inmediata de nutrientes esenciales, particularmente nitrógeno, fósforo y potasio, los cuales se encuentran en formas solubles fácilmente absorbibles por las raíces de las plantas. Esta disponibilidad de nutrientes favorece el crecimiento vegetativo, el desarrollo de la mazorca y la formación de granos durante etapas críticas del cultivo (Jiang et al., 2024).

Para el RG, PCG y NG m⁻², el tratamiento a 3 hileras con FI presentó los valores más altos respecto a los tratamientos con fertilización orgánicas y con 2 hileras (Cuadro 1). Este resultado sugiere que el incremento en el número de plantas contribuyó a aumentar el número y peso total de granos producidos por superficie, que repercutió en el rendimiento de grano. Diversos estudios han señalado que el rendimiento en grano está asociado con el número de granos por unidad de superficie y el peso individual del grano (Aguilar et al., 2019).

Cuadro 1. Materia seca (MS), rendimiento (RG) y sus componentes en maíz, en siembra asociada con frijol en función del número de hileras (2 y 3) y tipo de fertilización.

Table 1. Dry matter (DM), yield (Y) and its components in corn, in associated planting with beans as a function of the number of rows (2 and 3) and type of fertilization.

Hileras	Fertilización	PCG (g)	NG m ⁻²	RG (g m ⁻²)	MS (g m ⁻²)
2	FI	24.7bc ^z	1942c	175.9b	897.8a
2	FO	22.7c	1983c	149.9bc	672.8b
3	FI	26.6ab	3091 ^a	219.5a	891.2a
3	FO	24.3c	2823b	121.3c	634.1b
Tukey (DMS) α = 0.05		2.1	248.8	35.9	54.2
CV (%)		16.0	19.8	42.1	13.7

^zEn columnas letras distintas indican diferencias significativas (Tukey α = 0.05). DMS: diferencia mínima significativa. CV: coeficiente de variación. PCG: peso de 100 granos; NG: número de granos por m². FI = Fertilización inorgánica (100-100-0 NPK), FO = Fertilización orgánica (lixiviado de nopal, 2 L ha⁻¹).

Materia seca (MS), rendimiento y sus componentes en frijol

El NV m⁻², la MS y el RG presentaron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 2). El sistema de 3 hileras con fertilización inorgánica registró los mayores valores de materia seca, número de vainas y rendimiento de grano, mientras que 2 hileras con fertilización orgánica mostró los más bajos. Estos resultados evidencian que la fertilización inorgánica favorece la producción de frijol en asociación, posiblemente por una mayor disponibilidad de N y P que incrementa el desarrollo del dosel, la intercepción de radiación y la acumulación de biomasa (Aguilar et al., 2019). En contraste, el PCG no mostró diferencias relevantes entre tratamientos, lo que coincide con Chhetri et al. (2025), quienes señalan que el peso y grosor de la semilla poseen alta heredabilidad. Por el contrario, el número de vainas fue más sensible al manejo agronómico y se relacionó estrechamente con el rendimiento, en concordancia con Apáez-Barrios et al. (2025), quienes identificaron este componente como uno de los principales determinantes de la productividad en leguminosas.

Cuadro 2. Materia seca (MS), rendimiento (RG) y sus componentes en frijol, en siembra asociada con maíz en función del número de hileras (2 y 3) y tipo de fertilización.

Table 2. Dry matter (DM), yield (Y) and its components in beans, in associated planting with corn as a function of the number of rows (2 and 3) and type of fertilization.

Hileras	Fertilización	NV m ⁻²	PCG (g)	RG (g m ⁻²)	MS (g m ⁻²)
2	FI	69b ^z	18.2ab	96.7b	219.6c
2	FO	36c	18.3a	51.1c	134.2d
3	FI	91a	18.2a	116.1a	295.8a
3	FO	71b	17.7a	89.4b	274.6b
Tukey (DMS) $\alpha = 0.05$		8.2	0.5	7.4	16.7
CV (%)		23.9	5.0	16.3	14.1

^zEn columnas letras distintas indican diferencias significativas (Tukey $\alpha = 0.05$). DMS: diferencia mínima significativa. CV: coeficiente de variación. NV: número de vainas por m²; PCG: peso de 100 granos. FI = Fertilización inorgánica (100-100-0 NPK), FO = Fertilización orgánica (lixiviado de nopal, 2 L ha⁻¹).

Rendimiento total del agrosistema maíz-frijol

De acuerdo con los resultados mostrados en el Cuadro 3, el tratamiento a 3 hileras con FI fue el que presentó un mayor rendimiento en grano, lo cual puede explicarse por una mayor acumulación de biomasa. Por otro lado, los tratamientos con fertilización orgánica a 2 y 3 hileras presentaron menores valores de MS y RG, lo que puede atribuirse a la limitada disponibilidad de nutrientes en comparación con la fertilización inorgánica. Esta menor disponibilidad inmediata de nutrientes puede limitar la expansión foliar, por ende, disminuir la capacidad fotosintética del cultivo, afectando la acumulación de biomasa y el rendimiento (Aguilar *et al.*, 2016).

Cuadro 3. Rendimiento en grano (RG) y materia seca (MS) del agrosistema maíz - frijol en función del número de hileras (2 y 3) y tipo de fertilización.

Table 3. Grain yield (GR) and dry matter (DM) of the corn-bean agroecosystem as a function of the number of rows (2 and 3) and type of fertilization.

Hileras	Fertilización	RG g m ⁻²	MS g m ⁻²
2	FI	272.5b ^z	1117.4b
2	FO	200.9c	806.9d
3	FI	335.6a	1187.0a
3	FO	210.7c	908.6c
Tukey (DMS) $\alpha = 0.05$		37.4	62.7
CV (%)		28.7	12.2

^zEn columnas letras distintas indican diferencias significativas (Tukey $\alpha = 0.05$). DMS: diferencia mínima significativa. CV: coeficiente de variación. FI = Fertilización inorgánica (100-100-0 NP), FO = Fertilización orgánica (lixiviado de nopal, 2 L ha⁻¹).

Análisis de rentabilidad del agrosistema

En términos de rendimiento, el tratamiento a 3 hileras con FI presentó el mayor rendimiento tanto en frijol como en maíz, lo que se reflejó directamente en el mayor ingreso total. Este comportamiento confirma que un mayor número de plantas por cama combinado con fertilización inorgánica favorece la producción conjunta de ambos cultivos. En contraste, el tratamiento a 2 hileras con FO registró los rendimientos más bajos, lo que derivó en el menor ingreso total. El tratamiento a 3

hileras con FI destacó como el más rentable, con el mayor ingreso neto y la mayor ganancia por peso invertido, lo que indica que por cada peso invertido se obtuvieron 2.36 pesos de ganancia. Lo que evidencia que el arreglo en tres hileras mejora la eficiencia económica incluso bajo fertilización orgánica.

Cuadro 4. Ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV) y costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) de maíz y frijol asociados en función del número de hileras (2 y 3) y tipo de fertilización.

Table 4. Total revenue (TR), fixed costs (FC), variable costs (VC) and total costs (TC), net revenue (NR) and profit per peso invested (PPI) of associated corn and beans as a function of the number of rows (2 and 3) and type of fertilization.

Variables	2 hileras		3 hileras	
	FI	FO	FI	FO
IT (\$)	52,478.29	36,267.91	64,274.57	42,321.75
CF (\$)	5,834.50	5,834.50	6,176.75	6,176.75
CV (\$)	12,960.00	7,800.00	12,960.00	7,800.00
CT (\$)	18,794.50	13,634.50	19,136.75	13,976.75
IN (\$)	33,683.79	22,633.41	45,137.82	28,345.00
GPI (\$)	1.79	1.66	2.36	2.03

FI = Fertilización inorgánica (100-100-0 NPK), FO = Fertilización orgánica (lixiviado de nopal, 2 L ha⁻¹).

CONCLUSIÓN

El rendimiento del agrosistema maíz–frijol estuvo significativamente influenciado por el arreglo topológico y la fertilización, destacando el tratamiento a 3 hileras con fertilización inorgánica como el más eficiente productiva y económicamente.

Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca de estudios de Doctorado en el Colegio de postgraduados.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, C. C., Escalante, E. J. A. S., Aguilar, M. I., Mejía, C. J. A., Conde, M. V. F., & Trinidad, S. A. (2016). Eficiencia agronómica, rendimiento y rentabilidad de genotipos de maíz en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 34(4), 419-429.
- Aguilar, J. C. E., Galdámez, G. J., Martínez, A. F. B., Guevara, H. F., & Vázquez, S. H. (2019). Eficiencia del policultivo maíz-frijol-calabaza bajo manejo orgánico en la Frailesca, Chiapas, México. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(3), 64-72. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>.
- Apáez-Barrios, P., Raya-Montaño, Y. A., Guillén-Andrade, H., & Apáez-Barrios, M. (2025). Fechas de siembra y método de corte de vainas en la producción de frijol chino. *Ciencia e Innovación Agroalimentaria de la Universidad de Guanajuato*, 6(2), 234–245
- Ayvar S. S., Díaz N. J. F., Vargas H. M., Mena B. A., Tejeda R. M. A., & Cuevas A. M. A. (2020). Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco. *Terra Latinoamericana*, 38, 9-16. doi: 10.28940/terra.v38i1.507.
- Begam, A., Pramanick, M., Dutta, S., Paramanik, B., Dutta, G., Patra, P. S., Kundu, A., & Biswas, A. (2024). Inter-cropping patterns and nutrient management effects on maize growth, yield and quality. *Field Crops Research*, 310, 1–13. doi: 10.1016/j.fcr.2024.109363.
- Chhetri, A. B., Lal, J. P., Nair, R. M., & Singh, A. K. (2025). Genetic diversity for pod and seed traits in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Discover Plants*, 2(228), 1-9. doi: 10.1007/s44372-025-00316-y.
- García, E. (2004). Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. D.F.: Instituto de Geografía-UNAM.
- Giller, K. E., Hijbeek, R., Andersson, J. A., & Sumberg, J. (2021). Regenerative Agriculture: An agronomic perspective. *Outlook on Agriculture*, 50(1), 1-13.
- Guera, O. G. M., Villa, A. J., Núñez, P. O., Verhulst, N., & Fonteyne S. (2025). Mejor rendimiento y rentabilidad de maíz en el trópico húmedo mediante camas permanentes, residuos de cultivos y rotación con frijoles. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 28, 1-17. doi: 10.56369/tsaes.5756.
- Jiang, M., Dong, C., Bian, W., Zhang, W., & Wang, Y. (2024). Effects of different fertilization practices on maize yield, soil nutrients, soil moisture, and water use efficiency in northern China based on a meta-analysis. *Scientific Reports*, 14, 6480. doi: 10.1038/s41598-024-57031-z.
- Khangura, R., Ferris, D., Wagg, C., & Bowyer, J. (2023). Regenerative Agriculture—A Literature Review on the Practices and Mechanisms Used to Improve Soil Health. *Sustainability*, 15, 1-41. doi: 10.3390/su15032338.
- Matusso, J. M. M., Mugwe J. N., & Mucheru-Muna, M. (2014). Potential role of cereal-legume intercropping systems in integrated soil fertility management in smallholder farming systems of sub-Saharan Africa. *Research Journal of Agriculture and Environmental Management*, 3(3), 162-174.