https://doi.org/10.69639/arandu.v13i4.2692

Efecto de las distancias de siembra y la fertilización orgánica sobre parámetros morfoagronómicos del cultivo de garbanzo

Effects of planting distances and organic fertilization on the morphoagronomic parameters of chickpea

Cristhian Josué Solórzano Ocaña
csolorzan2@utmachala.edu.ec
https://orcid.org/0009-0005-2235-4875
Universidad Técnica de Machala
Machala – Ecuador

José Luis Jiménez Cabrera
jjimenez7@utmachala.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-4773-0145
Universidad Técnica de Machala
Machala – Ecuador

Irán Rodríguez Delgado
irodriguez@utmachala.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-6453-2108
Universidad Técnica de Machala
Machala – Ecuador

Artículo recibido: 10 agosto 2026- Aceptado para publicación:16 septiembre 2026
Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar el efecto de las distancias de siembra y la fertilización orgánica con humus de lombriz sobre variables morfoagronómicas del cultivo de garbanzo bajo condiciones de invernadero en la Granja Experimental Santa Inés de la Universidad Técnica de Machala, Ecuador. Se empleó un experimento factorial completo completamente al azar fraccionado 3×2, conformando seis combinaciones de tratamientos, los cuales fueron replicados cuatro. Se evaluaron variables vegetativas y reproductivas. Los resultados evidenciaron diferencias significativas en altura de planta, diámetro del tallo, hojas totales, ramas primarias, granos por vaina y peso de granos por planta. Por el contrario, el número de ramas secundarias, número de vainas y peso de vainas no presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos. Los mayores valores productivos se registraron en la distancia 20×40 cm con aplicación de humus de lombriz, destacándose en cantidad y peso de granos. Se concluye que la fertilización orgánica combinada con distancias de siembra adecuadas favorece el desempeño morfoagronómico del cultivo de garbanzo en condiciones similares a las evaluadas.

Palabras clave: Leguminosas de grano, densidad poblacional, rendimiento de grano, manejo nutricional, productividad agrícola

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effect of planting distances and organic fertilization with vermicompost on the morpho-agronomic variables of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under greenhouse conditions at the Santa Inés Experimental Farm of the Technical University of Machala, Ecuador. A completely randomized 3×2 fractional factorial experiment was conducted, consisting of six treatment combinations with four replications each. Vegetative and reproductive variables were evaluated. The results revealed significant differences in plant height, stem diameter, total number of leaves, primary branches, grains per pod, and grain weight per plant. In contrast, the number of secondary branches, number of pods, and pod weight showed no significant differences among treatments. The highest productive performance was recorded at a planting distance of 20×40 cm with vermicompost application, which presented the greatest number and weight of grains. It is concluded that organic fertilization combined with appropriate planting distances enhances the morpho-agronomic performance of chickpea under conditions similar to those evaluated.

Keywords: grain legumes, plant population density, grain yield, nutrient management, agricultural productivity

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Atribution 4.0 International.

INTRODUCCIÓN

El garbanzo (*Cicer arietinum* L.) constituye una de las leguminosas alimenticias de mayor importancia a nivel mundial debido a su elevado valor nutricional, alto contenido de proteínas, carbohidratos, minerales y compuestos bioactivos que contribuyen significativamente a la seguridad alimentaria de millones de personas. Además de su importancia como fuente de alimento, este cultivo desempeña un papel relevante en la sostenibilidad de los sistemas agrícolas por su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico mediante asociaciones simbióticas con bacterias del género *Rhizobium*, favoreciendo la fertilidad del suelo y disminuyendo la dependencia de fertilizantes sintéticos (Echevarría et al., 2014; Llerena Hidalgo, 2021).

La producción mundial de garbanzo se concentra principalmente en Asia, donde países como India, Pakistán, Turquía e Irán aportan la mayor proporción de la oferta global. Sin embargo, durante las últimas décadas este cultivo ha experimentado una expansión progresiva hacia otras regiones debido a su capacidad de adaptación a diversos ambientes y a su tolerancia relativa al déficit hídrico, características que lo convierten en una alternativa viable para los sistemas agrícolas afectados por el cambio climático y la escasez de agua (Llerena Hidalgo, 2021; Echevarría et al., 2014).

En América Latina, México se posiciona entre los principales productores y exportadores de garbanzo, alcanzando rendimientos superiores a 1,8 t ha^{-1} bajo condiciones favorables de manejo. No obstante, la productividad del cultivo puede verse limitada por factores relacionados con la densidad de siembra, disponibilidad de nutrientes, condiciones de humedad y manejo agronómico, evidenciando la necesidad de desarrollar estrategias que permitan optimizar el uso de los recursos disponibles y maximizar el rendimiento agrícola (Apáez-Barrios et al., 2016).

Desde el punto de vista agronómico, el rendimiento del garbanzo es el resultado de la interacción entre las características genéticas de los cultivares y las prácticas de manejo implementadas durante su ciclo de crecimiento. Entre estas prácticas, la distancia de siembra constituye uno de los factores más influyentes debido a su efecto sobre la densidad poblacional, la captura de radiación solar, la absorción de agua y nutrientes, la ventilación del cultivo y la competencia entre plantas. Diversos estudios han demostrado que modificaciones en el arreglo espacial pueden generar cambios significativos en la producción de biomasa, el desarrollo vegetativo y los componentes del rendimiento (Apáez-Barrios et al., 2016).

Investigaciones realizadas en México reportaron que la reducción de la distancia entre hileras incrementó significativamente la biomasa total, la eficiencia en el uso del agua, el número de vainas y la producción de grano bajo condiciones de humedad residual, evidenciando la importancia de una adecuada distribución espacial de las plantas para optimizar el aprovechamiento de los recursos ambientales (Apáez-Barrios et al., 2016).

En Ecuador se estableció que determinados distanciamientos de siembra favorecieron variables como altura de planta, número de flores, peso de cien semillas y rendimiento agrícola, demostrando que el manejo de la densidad poblacional constituye una herramienta fundamental para mejorar la productividad del cultivo en ambientes tropicales (Llerena, 2021).

Asimismo, diferentes investigaciones relacionadas con la evaluación de cultivares de garbanzo han evidenciado que variables morfoagronómicas como altura de planta, número de ramas, número de vainas, peso de cien semillas y rendimiento agrícola presentan una marcada sensibilidad a las condiciones ambientales y al manejo agronómico. En este sentido, la adaptación del cultivo a condiciones específicas de suelo y clima representa un elemento determinante para alcanzar niveles adecuados de productividad (Echevarría et al., 2014; Pérez e Infante, 2021; Ronda et al., 2025).

Paralelamente, la fertilización orgánica ha adquirido una importancia creciente dentro de los sistemas agrícolas sostenibles debido a sus efectos positivos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Entre las alternativas de mayor utilización se encuentra el humus de lombriz o vermicompost, producto obtenido mediante la transformación biológica de residuos orgánicos por acción de lombrices y microorganismos, el cual aporta nutrientes disponibles, incrementa la materia orgánica del suelo y favorece la actividad biológica de la rizosfera (Kaur et al., 2023; Srivastava et al., 2024).

La aplicación de vermicompost ha mostrado resultados favorables en distintos cultivos debido a su capacidad para mejorar la disponibilidad de nutrientes, estimular el crecimiento radicular y aumentar la eficiencia en la absorción de agua. Estudios recientes desarrollados en garbanzo evidenciaron incrementos significativos en la altura de planta, acumulación de biomasa, número de nódulos, número de vainas, peso de semillas y rendimiento de grano cuando se incorporó humus de lombriz al sistema de producción, lo que demuestra su potencial como herramienta para fortalecer la productividad agrícola bajo esquemas de manejo sostenible (Srivastava et al., 2024; Kaur et al., 2023).

Adicionalmente, la incorporación de enmiendas orgánicas constituye una estrategia clave para la agricultura sostenible, ya que contribuye al incremento de la materia orgánica, favorece el reciclaje de nutrientes, estimula la actividad microbiana y mejora la estructura del suelo. Estas mejoras permiten fortalecer la resiliencia de los cultivos frente a condiciones de estrés ambiental y contribuyen a procesos de conservación del suelo y secuestro de carbono, aspectos cada vez más relevantes dentro de los sistemas productivos modernos (Papp, 2026; Oyebiyi et al., 2026).

A pesar de la existencia de investigaciones relacionadas con la distancia de siembra y otras enfocadas en el uso de fertilizantes orgánicos, son limitados los estudios que evalúan simultáneamente la interacción entre ambos factores en el cultivo de garbanzo bajo condiciones tropicales del Ecuador. Esta limitación genera la necesidad de desarrollar investigaciones que permitan identificar combinaciones de manejo capaces de optimizar el comportamiento

morfoagronómico del cultivo y aportar información científica para fortalecer sistemas de producción más sostenibles y eficientes (Llerena, 2021; Ronda et al., 2025).

La elección de los factores de estudio en la presente investigación se fundamenta en trabajos previos realizados en México y Ecuador, donde se evidenció que el arreglo topológico y la fertilización influyen directamente en la biomasa, el rendimiento y la eficiencia en el uso del agua en el cultivo de garbanzo. Por ejemplo, Apáez-Barrios et al. (2016) reportaron que la distancia de 40 cm entre hileras combinada con 100 kg de N ha^{-1} incrementó significativamente la biomasa total y la eficiencia en el uso del agua, mientras que Llerena (2021) encontró que un distanciamiento de 0,2 × 0,5 m mejoró la altura de planta, número de flores y rendimiento agrícola en condiciones edafoclimáticas de Ecuador. Estos antecedentes respaldan la pertinencia de evaluar la interacción entre distancias de siembra y fertilización orgánica en el presente experimento, con el fin de identificar combinaciones que optimicen parámetros morfoagronómicos en garbanzo.

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de las distancias de siembra y la fertilización orgánica con humus de lombriz sobre variables morfoagronómicas del cultivo de garbanzo bajo condiciones de invernadero en la Granja Experimental Santa Inés de la Universidad Técnica de Machala, Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

El estudio se llevó a cabo en el invernadero ubicado dentro de La Granja Santa Inés, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, ubicada en el km 5,5 parroquia El Cambio, Cantón Machala, 79° 54’51,06” de longitud oeste y 03°17’31,06” de latitud sur, a 5 msnm, con una humedad relativa de 80% (Figura 1).

Figura 1

Mapa de ubicación espacial del área experimental



Fuente: Elaboración propia.

Las condiciones ambientales predominantes de la zona corresponden a un clima tropical seco, caracterizado por temperaturas medias anuales entre 24 y 27 °C, precipitaciones concentradas entre los meses de enero y abril, elevada radiación solar durante la mayor parte del año, condiciones que favorecen el desarrollo de especies leguminosas de ciclo corto.

Diseño experimental

Se empleó un experimento factorial completo completamente al azar fraccionado 3×2, conformándose seis combinaciones de tratamientos; tres distancias de siembra entre hileras y entre plantas (20×40 cm, 25×40 cm y 30×40 cm) y la fertilización orgánica (con y sin aplicación de humus de lombriz), replicados cuatro veces, formándose 24 unidades experimentales (parcelas de 1,50 m de largo x 1,25 m de ancho y una altura de la cama de 30 cm), separadas por pasillos interiores de 50 cm y ubicadas en el invernadero de la Granja Santa Ines. Las combinaciones de tratamientos fueron distribuidas de forma completamente al azar en las unidades experimentales a nivel de todo el experimento con la utilización de la tabla de números aleatorios. Las unidades de muestreo estuvieron constituidas por las plantas de garbanzo distribuidas en los tres surcos establecidos en cada unidad experimental y su cantidad se determinó por las distancias entre plantas definidas en el estudio (Tabla 1).

Tabla 1

Caracterización de los tratamientos objeto de estudio

Tratamientos	Identificación	Características
T_1	20×40 cm/con HL	Distancia de siembra de 20 cm entre hileras × 40 cm entre plantas con aplicación de humus de lombriz (30 t ha^{-1}). 160 000 plantas/ha.
T_2	20×40 cm/sin HL	Distancia de siembra de 20 cm entre hileras × 40 cm entre plantas sin aplicación de humus de lombriz. 160 000 plantas/ha.
T_3	25×40 cm/con HL	Distancia de siembra de 25 cm entre hileras × 40 cm entre plantas con aplicación de humus de lombriz (30 t ha^{-1}). 128 000 plantas/ha.
T_4	25×40 cm/sin HL	Distancia de siembra de 25 cm entre hileras × 40 cm entre plantas sin aplicación de humus de lombriz. 128 000 plantas/ha.
T_5	30×40 cm/con HL	Distancia de siembra de 30 cm entre hileras × 40 cm entre plantas con aplicación de humus de lombriz (30 t ha^{-1}). 96 000 plantas/ha.
T_6	30×40 cm/sin HL	Distancia de siembra de 30 cm entre hileras × 40 cm entre plantas sin aplicación de humus de lombriz. 96 000 plantas/ha.

Fuente: Elaboración propia.

Manejo del ensayo

La preparación del área experimental se realizó dentro del invernadero de la Granja Experimental Santa Inés mediante labores de limpieza, remoción y nivelación del suelo, con la finalidad de proporcionar condiciones homogéneas para el establecimiento y desarrollo del cultivo. Estas actividades permitieron favorecer la aireación, infiltración y retención de humedad del suelo, factores que influyen directamente sobre el crecimiento y desarrollo del garbanzo (Apáez-Barrios et al., 2016; Llerena Hidalgo, 2021).

La siembra se efectuó manualmente utilizando semillas de garbanzo previamente seleccionadas por uniformidad física y estado fitosanitario. Las semillas fueron distribuidas de acuerdo con las distancias de siembra establecidas para cada tratamiento. La evaluación de

diferentes arreglos espaciales se fundamentó en que la densidad de siembra influye directamente sobre la interceptación de la radiación solar, la circulación del aire dentro del cultivo y la competencia por agua y nutrientes, factores que determinan el crecimiento vegetativo y la formación de estructuras reproductivas (Apáez-Barrios et al., 2016; Echevarría et al., 2014).

Diversos estudios han reportado que la modificación de la distancia entre plantas puede generar cambios significativos en variables morfológicas y productivas del garbanzo, tales como altura de planta, número de ramas, producción de vainas y rendimiento de grano. Asimismo, se ha señalado que distancias adecuadas favorecen un uso más eficiente de los recursos disponibles, contribuyendo a mejorar el desempeño agronómico del cultivo bajo diferentes condiciones ambientales (Llerena Hidalgo, 2021; Ronda Hernández et al., 2025).

La fertilización orgánica consistió en la aplicación de 5,6 kg de humus de lombriz por parcela en los tratamientos correspondientes. El humus fue incorporado al suelo antes de la siembra con el propósito de incrementar la disponibilidad de nutrientes, mejorar las propiedades físicas y biológicas del suelo y favorecer el desarrollo radicular de las plantas. Investigaciones recientes han demostrado que la aplicación de vermicompost incrementa la biomasa vegetal, la nodulación, el número de vainas y el rendimiento de grano en cultivos leguminosos, debido a su aporte de nutrientes y microorganismos beneficiosos (Kaur et al., 2023; Srivastava et al., 2024).

Durante el desarrollo del cultivo se realizaron riegos periódicos para mantener niveles adecuados de humedad en el suelo y evitar condiciones de estrés hídrico que pudieran afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas. El cultivo fue monitoreado permanentemente para mantener condiciones favorables durante las etapas vegetativas y reproductivas, considerando que la disponibilidad de agua constituye un factor determinante en la formación de flores, vainas y granos (Apáez-Barrios et al., 2016; Ronda Hernández et al., 2025).

Las labores culturales incluyeron control manual de malezas, observaciones fitosanitarias periódicas y eliminación de plantas con daños mecánicos o síntomas severos de enfermedades. Estas actividades permitieron minimizar fuentes de variabilidad no asociadas a los tratamientos evaluados y garantizar el adecuado desarrollo del ensayo (Llerena Hidalgo, 2021).

La cosecha se realizó cuando las plantas alcanzaron la madurez fisiológica, identificada por la senescencia natural del follaje y el secado progresivo de las vainas. Posteriormente se efectuaron las evaluaciones relacionadas con la producción, incluyendo número de vainas, número de granos, peso de vainas y peso de granos, variables consideradas componentes fundamentales del rendimiento en el cultivo de garbanzo (Echevarría et al., 2014; Pérez Zaldívar & Infante Ortiz, 2021).

Variables a medir

Las evaluaciones se realizaron durante las diferentes etapas fenológicas del cultivo con el objetivo de determinar la respuesta morfoagronómica del garbanzo a las combinaciones de tratamientos estudiados. Las variables seleccionadas corresponden a caracteres de crecimiento y

componentes del rendimiento ampliamente utilizados en investigaciones agronómicas, debido a que permiten explicar las variaciones en productividad y adaptación de los cultivares a diferentes condiciones de manejo. Estudios recientes han demostrado que variables como altura de planta, número de ramas, número de vainas y producción de granos presentan una estrecha relación con el rendimiento y constituyen criterios fundamentales para la evaluación agronómica del cultivo (Abou et al., 2024; Choi et al., 2024; Giménez et al., 2025).

La altura de planta se determinó mediante la medición de la distancia comprendida entre la superficie del suelo y el ápice de crecimiento utilizando una cinta métrica graduada. Los resultados fueron expresados en centímetros (cm). Esta variable constituye uno de los principales indicadores del crecimiento vegetativo y de la adaptación del cultivo a las condiciones ambientales, siendo frecuentemente utilizada en estudios de caracterización agronómica y evaluación productiva del garbanzo (Abou et al., 2024; Dubey et al., 2024; Echevarría et al., 2014).

El diámetro del tallo fue medido en la base de la planta mediante un calibrador digital y expresado en milímetros (mm). Esta variable se relaciona con la fortaleza estructural de la planta, el vigor vegetativo y la capacidad de sostener órganos reproductivos durante las etapas avanzadas de desarrollo. Adicionalmente, se considera un indicador relacionado con la acumulación de biomasa y la eficiencia en el uso de nutrientes (Srivastava et al., 2024; Ronda et al., 2025).

El número de hojas activas se obtuvo mediante conteo directo de aquellas que se encuentran completamente desarrolladas en cada planta al momento de la evaluación. El desarrollo foliar está asociado con la capacidad fotosintética del cultivo y con la producción de foto asimilados necesarios para el crecimiento vegetativo y reproductivo de la planta (Kaur et al., 2023; Dubey et al., 2024).

El número de ramas primarias se determinó mediante el conteo directo de las ramas emitidas desde el tallo principal. El número de ramas constituye un carácter agronómico relevante debido a su influencia sobre la formación de flores, vainas y rendimiento final. Diversos autores han reportado una asociación positiva entre el número de ramas y la productividad del cultivo (Qulmamatova, 2023; Waseem et al., 2026).

El número de ramas secundarias se registró mediante el conteo de las ramas originadas a partir de las ramas primarias desarrolladas por cada planta. Estas estructuras incrementan la superficie productiva de la planta y favorecen la formación de flores, vainas y granos, especialmente cuando el cultivo dispone de condiciones adecuadas de crecimiento (Waseem et al., 2026; Nabizadeh et al., 2025).

El número de vainas se cuantificó mediante conteo manual del total de vainas producidas por planta al momento de la cosecha. Esta variable constituye uno de los principales componentes del rendimiento y permite estimar la capacidad reproductiva alcanzada por las plantas bajo las

diferentes condiciones evaluadas (Choi et al., 2024; Basha et al., 2020; Apáez-Barrios et al., 2016).

El número de granos se determinó contabilizando el número total de granos producidos por planta después de la cosecha. Esta variable refleja la eficiencia reproductiva del cultivo y mantiene una alta correlación con el rendimiento final de grano (Choi et al., 2024; Gimenez et al., 2025).

El peso de vainas se determinó mediante una balanza digital de precisión de 0,01 g y fue expresado en gramos. Esta variable permite cuantificar la acumulación de biomasa reproductiva y constituye un indicador complementario para evaluar el comportamiento productivo de los tratamientos estudiados (Qulmamatova, 2023; Nabizadeh et al., 2025).

El peso de granos se obtuvo mediante el pesaje de los granos cosechados por planta utilizando una balanza digital con precisión de 0,01 g. Esta variable es considerada uno de los indicadores más importantes de productividad debido a que integra el efecto del crecimiento vegetativo, la formación de vainas y el llenado de los granos (Abou et al., 2024; Choi et al., 2024; Srivastava et al., 2024).

Recolección de datos

La recolección de datos se realizó de manera periódica durante el ciclo de desarrollo del cultivo, desde la etapa vegetativa hasta la madurez fisiológica. Las evaluaciones se efectuaron sobre plantas seleccionadas aleatoriamente dentro de cada unidad experimental, procurando mantener la representatividad de cada tratamiento y reducir posibles sesgos asociados al muestreo.

Las variables de crecimiento vegetativo, comprendidas por altura de planta, diámetro del tallo, número de hojas, número de ramas primarias y número de ramas secundarias, fueron registradas durante diferentes momentos del desarrollo del cultivo. Para ello se efectuaron evaluaciones sucesivas a lo largo del ensayo, permitiendo monitorear la dinámica de crecimiento de las plantas bajo las diferentes condiciones de distancia de siembra y fertilización orgánica.

Las mediciones se realizaron los días 30 de marzo, 14 y 28 de abril, así como el 11 y 25 de mayo, y el 8 y 22 de junio de 2026. Estas evaluaciones permitieron registrar la evolución de las variables morfológicas durante las distintas fases fenológicas del cultivo.

Las variables relacionadas con el rendimiento, correspondientes al número de vainas, número de granos, peso de vainas y peso de granos, fueron determinadas al momento de la cosecha una vez que las plantas alcanzaron la madurez fisiológica. Para ello se cosecharon las plantas seleccionadas dentro de cada unidad experimental y posteriormente se realizaron los conteos y pesajes respectivos.

La altura de planta fue medida utilizando una cinta métrica graduada, mientras que el diámetro del tallo fue determinado mediante un calibrador digital. Los pesos de vainas y granos se obtuvieron mediante una balanza digital con precisión de 0,01 g. Los datos obtenidos fueron registrados en hojas de campo diseñadas para cada variable y posteriormente organizados en matrices electrónicas para su procesamiento estadístico.

Toda la información recopilada fue revisada previamente a su análisis con el propósito de verificar la consistencia de los registros y minimizar posibles errores de digitación o transcripción.

Procedimiento estadístico

Los datos obtenidos fueron organizados en una matriz de datos y sometidos a un análisis estadístico previo para verificar su calidad, consistencia y detectar posibles valores atípicos. Posteriormente, se comprobó el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente.

Las variables altura de planta, diámetro del tallo, número de hojas, número de ramas primarias, número de ramas secundarias, número de vainas, número de granos, peso de vainas y peso de granos fueron sometidas a un análisis de varianza de un factor intergrupos para determinar la existencia de diferencias estadísticas entre tratamientos. Cuando se detectaron diferencias significativas entre medias (p-valor≤0,05), se procedió a realizar la comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad de error.

Los resultados fueron expresados mediante medias aritméticas, desviación estándar y significancia estadística establecidos por la prueba de Tukey. Para facilitar la interpretación de los resultados, las medias aritméticas y las desviaciones estándar se presentaron en tablas acompañadas de letras de comparación, donde medias con letras iguales no presentaron diferencias significativas entre sí.

El procesamiento estadístico de la información se realizó utilizando el software IBM SPSS Statistics versión 29, empleando un nivel de confianza del 95 % y un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de planta

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en todas los momentos de medición (p-valor ≤ 0,05) en función de la altura de las plantas, excepto el 11 de mayo de 2026 (p-valor=0,257). De forma general la altura de plantas aumentó progresivamente durante todo el período experimental en los seis tratamientos evaluados (Tabla 2).

Tabla 2

Resultados del ANOVA para la comparación de las combinaciones de tratamientos en función de la altura de planta en cada fecha de evaluación

Fecha de medición	F	p-valor
30-03-2026	2,437	0,037
14-04-2026	2,904	0,016
28-04-2026	3,909	0,002
11-05-2026	1,324	0,257
25-05-2026	3,958	0,002
08-06-2026	3,669	0,004
22-06-2026	3,134	0,011

Al finalizar el período de medición, el tratamiento de 30×40 cm/sin HL alcanzó la mayor altura promedio (55,7 cm), seguida por 25×40 cm/sin HL (54,0 cm) y 25×40 cm/con HL (50,7 cm). Por el contrario, el tratamiento de 20×40 cm/con HL presentó el menor valor final (36,6 cm) (Tabla 3). El comportamiento observado indica que las mayores distancias de siembra favorecieron la altura de plantas, posiblemente debido a una menor competencia por recursos esenciales como radiación solar, agua y nutrientes. Asimismo, el espaciamiento más amplio permitió un mejor desarrollo de la arquitectura aérea del cultivo, favoreciendo la acumulación de biomasa vegetativa. En contraste, las plantas establecidas a menores distancias estuvieron sometidas a una competencia más intensa, lo que pudo restringir su crecimiento longitudinal.

Tabla 3

Comparación de las combinaciones de tratamientos en función de las medias de altura de planta (cm) en cada fecha de medición

Fecha de medición	20×40 cm/con HL	25×40 cm/con HL	30×40 cm/con HL	20×40 cm/sin HL	25×40 cm/sin HL	30×40 cm/sin HL
30-03-26	13,9±6,8a	17,7±6,4a	14,2±6,4a	13,3±5,6a	13,4±5,8a	17,0±7,7a
14-04-26	23,1±7,9a	28,9±6,7a	25,7±10,4a	23,3±8,7a	24,8±10,8a	30,1±8,5a
28-04-26	29,3±9,3b	37,7±9,9ab	32,4±13,2ab	30,1±11,6b	33,4±13,6ab	41,1±11,0a
11-05-26	31,2±14,8a	38,5±17,5a	36,2±19,7a	34,4±14,9a	39,0±17,0a	41,7±22,5a
25-05-26	35,0±13,6b	42,6±21,3ab	38,5±22,2b	30,2±20,0c	50,0±21,4a	50,4±20,1a
08-06-26	38,0±15,8b	50,9±22,1ab	44,4±21,7ab	40,6±18,4b	54,3±16,7ab	55,9±17,5a
22-06-26	36,6±17,7b	50,7±23,6ab	43,3±24,3ab	40,9±20,0b	54,0±19,4ab	55,7±19,0a

*Letras diferentes entre las combinaciones de tratamientos, dentro de cada fecha de medición, indican diferencias estadísticas significativas para un p-valor≤0,05 (según prueba de Tukey).

La altura de planta mostró una tendencia creciente durante todo el período de evaluación, evidenciando que las combinaciones de las distancias de siembra y fertilización orgánica influyeron sobre el desarrollo vegetativo del cultivo. Los mayores valores registrados en los tratamientos establecidos a distancias de 25×40 cm y 30×40 cm sugieren que una menor competencia entre plantas favoreció la altura de plantas, especialmente en las etapas avanzadas del ciclo.

Los resultados coinciden con los reportados por Apáez-Barrios et al. (2016), quienes señalaron que la distribución espacial de las plantas puede modificar significativamente el crecimiento vegetativo del garbanzo debido a cambios en la disponibilidad de recursos como luz, agua y nutrientes. De igual forma, Llerena Hidalgo (2021) observó que espaciamientos adecuados favorecen el crecimiento de las plantas y permiten un mejor aprovechamiento del ambiente de cultivo.

La ausencia de diferencias significativas durante la evaluación del 11 de mayo podría asociarse a una etapa de crecimiento relativamente homogénea entre tratamientos, donde las plantas aún no habían expresado completamente las diferencias derivadas del manejo agronómico aplicado. Sin embargo, en las evaluaciones posteriores las diferencias volvieron a manifestarse, reflejando el efecto acumulativo de los tratamientos sobre el crecimiento.

Desde el punto de vista agronómico, una mayor altura de planta constituye un indicador de vigor vegetativo y capacidad de interceptación de radiación solar, factores que contribuyen al

desarrollo y productividad del cultivo. Por ello, los tratamientos que registraron mayores alturas podrían presentar mejores condiciones para sostener la formación de estructuras reproductivas durante las fases posteriores del ciclo del garbanzo.

Diámetro del tallo

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre las combinaciones de tratamientos para el diámetro del tallo en todas las fechas evaluadas. Los resultados evidencian que la combinación de distancia de siembra y fertilización orgánica influyó de manera consistente sobre el engrosamiento del tallo durante todo el ciclo de desarrollo del cultivo (Tabla 4).

Tabla 4

Resultados del ANOVA para la comparación de las combinaciones de tratamientos en función del diámetro del tallo en cada fecha de evaluación

Fecha de medición	F	p-valor
30-03-2026	5,231	< 0,001
14-04-2026	4,758	< 0,001
28-04-2026	6,278	< 0,001
11-05-2026	3,471	0,005
25-05-2026	5,833	< 0,001
08-06-2026	5,566	< 0,001
22-06-2026	4,209	0,001

El diámetro del tallo aumentó progresivamente desde la primera evaluación hasta el final del período experimental en todos los tratamientos. Los mayores valores se registraron de forma recurrente en el tratamiento de 30 × 40 cm sin humus de lombriz, alcanzando un diámetro final de 3,86 mm, seguido por los tratamientos de 25 × 40 cm con humus de lombriz (3,54 mm) y 30 × 40 cm con humus de lombriz (3,50 mm). Por otra parte, los menores diámetros finales se observaron en los tratamientos de 20 × 40 cm con y sin humus de lombriz, con valores de 2,93 y 2,92 mm, respectivamente (Tabla 5).

El incremento en el diámetro del tallo observado en los tratamientos con mayor espaciamiento sugiere una reducción de la competencia entre plantas por recursos disponibles, permitiendo una mayor acumulación de fotoasimilados y biomasa estructural. Un tallo de mayor grosor generalmente está asociado con plantas de mayor vigor, mejor capacidad de transporte de agua y nutrientes, así como una mayor resistencia mecánica para sostener estructuras reproductivas durante las fases avanzadas del cultivo. En contraste, las menores distancias de siembra pudieron favorecer una competencia más intensa, limitando el desarrollo radial del tallo.

Tabla 5

Comparación de las combinaciones de tratamientos en función de las medias de diámetro del tallo (mm) en cada fecha de medición

Fecha de medición	20×40 cm/con HL	25×40 cm/con HL	30×40 cm/con HL	20×40 cm/sin HL	25×40 cm/sin HL	30×40 cm/sin HL
30-03-26	1,5±0,3b	1,8±0,4a	1,5±0,2b	1,5±0,3b	1,6±0,3ab	1,8±0,8a
14-04-26	1,9±0,4b	2,2±0,4ab	2,1±0,4ab	1,8±0,4b	2,0±0,4ab	2,3±0,4a
28-04-26	2,3±0,7b	2,8±0,6a	2,6±0,5ab	2,2±0,5b	2,6±0,8ab	2,8±0,6a
11-05-26	2,7±0,8a	3,2±0,7a	3,1±0,8a	2,6±0,7a	2,9±0,8a	3,2±0,7a
25-05-26	2,7±0,7b	3,4±0,8ab	3,2±0,8ab	2,6±0,8b	3,3±1,0ab	3,7±0,9a
08-06-26	2,8±0,8b	3,4±0,9ab	3,3±0,8ab	2,7±0,7b	3,4±0,9ab	3,9±0,9a
22-06-26	2,9±0,9b	3,5±01,0ab	3,5±1,0ab	2,9±0,8b	3,4±0,9ab	3,9±0,9a

*Letras diferentes entre las combinaciones de tratamientos, dentro de cada fecha de medición, indican diferencias estadísticas significativas para un p-valor≤0,05 (según prueba de Tukey).

Los resultados obtenidos indican que la distancia de siembra tuvo una influencia importante sobre el desarrollo del diámetro del tallo del garbanzo. Los tratamientos con espaciamientos de 25 × 40 cm y 30 × 40 cm mostraron los mayores valores durante gran parte del período de evaluación, lo que sugiere que una menor competencia por recursos favoreció el fortalecimiento estructural de las plantas.

Estos resultados coinciden con los reportados por Apáez-Barrios et al. (2016), quienes señalaron que la reducción de la competencia entre plantas favorece el crecimiento vegetativo y el desarrollo de estructuras de soporte en el cultivo de garbanzo. De manera similar, Srivastava et al. (2024) indicaron que una adecuada disponibilidad de nutrientes contribuye al desarrollo vigoroso de las plantas y al incremento de variables relacionadas con el crecimiento.

Desde el punto de vista agronómico, un mayor diámetro del tallo representa una ventaja para el cultivo, ya que incrementa la estabilidad mecánica de las plantas y mejora la capacidad de conducción de agua y fotoasimilados. Por ello, los tratamientos que promovieron mayores diámetros podrían presentar una mejor capacidad para sostener el desarrollo reproductivo y el rendimiento durante las etapas finales del ciclo del garbanzo.

Número de hojas

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos para el número de hojas en seis de las siete fechas evaluadas ($p \leq 0,05$). Las diferencias se observaron desde la primera evaluación realizada el 30 de marzo hasta la evaluación del 8 de junio. Sin embargo, en la última fecha de medición (22 de junio) no se detectaron diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados (p-valor= 0,176), indicando una tendencia a la homogenización de este carácter al final del ciclo de crecimiento (Tabla 6).

Tabla 6

Resultados del ANOVA para la comparación de las combinaciones de tratamientos en función del número de hojas en cada fecha de evaluación

Fecha de medición	F	p-valor
30-03-2026	2,284	0,049
14-04-2026	3,092	0,011
28-04-2026	4,026	0,002
11-05-2026	2,364	0,042
25-05-2026	3,127	0,011
08-06-2026	5,858	< 0,001
22-06-2026	1,561	0,176

El número de hojas aumentó progresivamente en todos los tratamientos a medida que avanzó el desarrollo del cultivo. Los mayores valores finales se registraron en los tratamientos de 30 × 40 cm sin humus de lombriz (82,82 hojas), 30 × 40 cm con humus de lombriz (80,33 hojas)

y 25 × 40 cm sin humus de lombriz (77,56 hojas). Por el contrario, los menores promedios finales se observaron en los tratamientos de 20 × 40 cm sin humus de lombriz (46,68 hojas) y 20 × 40 cm con humus de lombriz (51,48 hojas). En general, los tratamientos con mayores espaciamientos promovieron una mayor producción foliar durante la mayor parte del período de evaluación (Tabla 7).

Tabla 7

Comparación de las combinaciones de tratamientos en función de las medias del número de hojas totales en cada fecha de medición

Fecha de medición	20×40 cm/con HL	25×40 cm/con HL	30×40 cm/con HL	20×40 cm/sin HL	25×40 cm/sin HL	30×40 cm/sin HL
30-03-26	6,2±2,6ab	7,1±3,4ab	6,8±2,8ab	6,2±2,0ab	5,6±3,4b	7,9±2,7a
14-04-26	15,2±9,0a	20,8±8,3a	20,5±12,3a	14,2±5,4a	16,5±10,3a	20,9±11,1a
28-04-26	25,6±19,7b	38,1±18,6ab	40,2±27,5ab	23,5±10,6b	34,5±28,4ab	41,7±22,3a
11-05-26	35,7±30,2a	55,9±39,2a	48,5±41,5a	35,0±19,8a	55,5±36,2a	51,5±36,8a
25-05-26	47,4± 44,4a	78,7±49,6a	62,8±54,5a	41,0±27,4a	72,1±51,2a	80,0±53,9a
08-06-26	41,4± 45,8b	98,5±88,3a	59,5±55,4ab	35,7±32,4b	96,8±50,3a	84,4±56,8ab
22-06-26	51,5±51,5a	73,0±74,8a	80,3±71,2a	46,7±33,9a	77,6±55,4a	82,8±66,7a

*Letras diferentes entre las combinaciones de tratamientos, dentro de cada fecha de medición, indican diferencias estadísticas significativas para un p-valor≤0,05 (según prueba de Tukey).

La emisión de hojas constituye uno de los principales indicadores del desarrollo vegetativo del cultivo, debido a su relación directa con la capacidad fotosintética de la planta. Los resultados sugieren que los espaciamientos más amplios favorecieron la formación de nuevas hojas al reducir la competencia entre plantas por recursos esenciales como luz, agua y nutrientes. Asimismo, una mayor superficie foliar puede contribuir a una mayor acumulación de fotoasimilados, incrementando el potencial de crecimiento y producción del cultivo.

El número de hojas presentó un incremento continuo durante todo el período experimental, reflejando el desarrollo progresivo del área foliar de las plantas de garbanzo. Los mayores valores alcanzados en los tratamientos establecidos a mayores distancias de siembra sugieren que una menor competencia entre individuos favoreció la expansión vegetativa y la formación de estructuras fotosintéticamente activas.

Los resultados coinciden con lo reportado por Llerena Hidalgo (2021), quien observó que el espaciamiento entre plantas influye directamente sobre el crecimiento vegetativo y la capacidad de emisión foliar del garbanzo. De igual forma, Kaur et al. (2023) señalaron que la disponibilidad adecuada de nutrientes provenientes de fuentes orgánicas favorece la formación de biomasa y el desarrollo foliar en cultivos leguminosos.

Desde el punto de vista agronómico, una mayor cantidad de hojas incrementa la capacidad de interceptación de radiación y la producción de fotoasimilados, elementos esenciales para sostener el desarrollo vegetativo y reproductivo del cultivo. Por ello, los tratamientos que

promovieron una mayor producción foliar podrían disponer de una ventaja fisiológica para apoyar la formación posterior de vainas y granos.

Número de ramas primarias

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos en cinco de las siete fechas evaluadas. Las diferencias estadísticas se observaron el 14 y 28 de abril, así como el 11 y 25 de mayo y el 8 de junio (p-valor ≤ 0,05). En contraste, las evaluaciones realizadas el 30 de marzo y el 22 de junio no presentaron diferencias significativas entre tratamientos (p-valor>0,05). Estos resultados indican que el efecto de los tratamientos sobre la formación de ramas primarias fue más evidente durante las etapas intermedias del crecimiento vegetativo (Tabla 8).

Tabla 8

Resultados del ANOVA para la comparación de las combinaciones de tratamientos en función del número de ramas primarias en cada fecha de evaluación

Fecha de medición	F	p-valor
30-03-2026	0,720	0,621
14-04-2026	5,309	< 0,001
28-04-2026	3,278	0,009
11-05-2026	2,384	0,044
25-05-2026	2,623	0,028
08-06-2026	2,927	0,016
22-06-2026	1,642	0,155

El número de ramas primarias aumentó gradualmente durante el desarrollo del cultivo en todos los tratamientos evaluados. Los mayores valores se registraron de forma recurrente en el tratamiento de 30 × 40 cm con humus de lombriz, alcanzando 6,69 ramas en la evaluación del 8 de junio y 6,50 ramas en la evaluación final. Por otra parte, los menores valores generalmente correspondieron al tratamiento de 20 × 40 cm sin humus de lombriz, con promedios inferiores a cuatro ramas durante gran parte del período evaluado. En términos generales, los tratamientos con mayores espaciamientos y aplicación de humus tendieron a promover una mayor emisión de ramas primarias.

La mayor emisión de ramas primarias observada en el tratamiento de 30 × 40 cm con humus de lombriz sugiere que la combinación de una menor competencia entre plantas y una mayor disponibilidad de nutrientes favoreció la formación de estructuras vegetativas laterales. El desarrollo de ramas primarias constituye un componente importante del crecimiento del garbanzo, ya que estas estructuras incrementan la superficie potencial para la formación de flores y vainas. Por el contrario, las menores distancias de siembra pudieron restringir la ramificación debido a la competencia por recursos ambientales dentro del cultivo (Tabla 9).

Tabla 9

Comparación de las combinaciones de tratamientos en función de las medias de número de ramas primarias en cada fecha de medición

Fecha de medición	20×40 cm/con HL	25×40 cm/con HL	30×40 cm/con HL	20×40 cm/sin HL	25×40 cm/sin HL	30×40 cm/sin HL
30-03-26	1,3±0,6a	1,3±0,6a	2,0±1,0a	1,7±0,6a	1,0±0,1a	1,5±0,6a
14-04-26	3,1±0,6ab	2,0±1,4bc	3,4±1,2a	1,6±0,5c	1,8±0,8c	2,2±1,0bc
28-04-26	3,3±1,8ab	2,9±1,4b	4,4±1,8a	2,4±1,1b	3,8±1,7ab	3,2±1,6ab
11-05-26	5,2±2,8a	4,0±1,6a	5,8±2,8a	3,5±1,8a	3,8±1,9a	4,4±2,3a
25-05-26	3,8±3,2b	4,7±2,1ab	5,9±2,7a	3,4±1,8b	3,5±1,7b	4,1±2,3ab
08-06-26	4,9±3,8ab	5,5±2,4ab	6,7±2,7a	3,6±2,0b	4,4±2,6ab	4,1±2,3ab
22-06-26	5,5±3,7a	4,9±2,7a	6,5±2,8a	3,9±2,2a	4,9±3,2a	4,6±2,7a

*Letras diferentes entre las combinaciones de tratamientos, dentro de cada fecha de medición, indican diferencias estadísticas significativas para un p-valor≤0,05 (según prueba de Tukey).

Los resultados obtenidos evidencian que el manejo agronómico aplicado influyó sobre la emisión de ramas primarias, especialmente durante las etapas de crecimiento vegetativo activo. El tratamiento de 30 × 40 cm con humus de lombriz mostró los mayores valores durante la mayor parte de las evaluaciones, lo que sugiere que la combinación de un espaciamiento amplio y una adecuada disponibilidad de nutrientes favoreció el crecimiento lateral de las plantas.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Echevarría Hernández et al. (2014), quienes señalaron que la ramificación es una de las características morfológicas más sensibles a las condiciones de crecimiento y disponibilidad de recursos. Asimismo, Srivastava et al. (2024) indicaron que la aplicación de abonos orgánicos favorece el desarrollo vegetativo de las leguminosas al mejorar la disponibilidad de nutrientes y la actividad biológica del suelo.

Desde el punto de vista agronómico, un mayor número de ramas primarias representa una ventaja para el cultivo, debido a que incrementa el número potencial de puntos de producción de flores y vainas. Por ello, los tratamientos que promovieron una mayor ramificación podrían contribuir indirectamente a mejorar los componentes del rendimiento del garbanzo en condiciones de cultivo similares a las evaluadas.

Número de ramas secundarias

El análisis de varianza indicó que no existieron diferencias significativas entre tratamientos para el número de ramas secundarias en ninguna de las fechas evaluadas (p-valor>0,05), evidenciándose que la combinación de las distancias de siembra con la fertilización orgánica en las condiciones del experimento no influye en el número de ramas secundarias (Tabla 10).

Tabla 10

Resultados del ANOVA para la comparación de las combinaciones de tratamientos en función del número de ramas secundarias en cada fecha de evaluación

Fecha de medición	F	p-valor
14-04-2026	0,173	0,908
28-04-2026	2,268	0,077
11-05-2026	0,883	0,501
25-05-2026	1,057	0,394
08-06-2026	0,484	0,787
22-06-2026	0,990	0,430

Los resultados evidencian que las distintas combinaciones de distancia de siembra y fertilización orgánica no ejercieron un efecto estadísticamente detectable sobre esta variable durante el período de estudio.

Aunque no se observaron diferencias estadísticas, el número de ramas secundarias presentó una tendencia creciente conforme avanzó el ciclo del cultivo. Los mayores valores finales se registraron en los tratamientos de 25 × 40 cm sin humus de lombriz (4,92 ramas) y 30 × 40 cm sin humus de lombriz (4,46 ramas), mientras que el menor valor correspondió al tratamiento de 20 × 40 cm sin humus de lombriz (2,75 ramas). Sin embargo, estas diferencias numéricas no fueron suficientes para establecer grupos estadísticamente distintos entre tratamientos (Tabla 11).

El desarrollo de ramas secundarias constituye una característica morfológica relacionada con la capacidad de crecimiento y ramificación de las plantas. Aunque no se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos durante el período de evaluación, se observaron variaciones numéricas en los valores promedio obtenidos. Estas diferencias podrían estar asociadas a la disponibilidad de recursos y a la competencia entre plantas; sin embargo, bajo las condiciones experimentales del presente estudio no fueron suficientes para generar una respuesta significativa. Asimismo, el incremento progresivo del número de ramas secundarias a lo largo del ciclo refleja el crecimiento natural del cultivo y su potencial para desarrollar estructuras que posteriormente pueden contribuir a la formación de flores y vainas.

Tabla 11

Comparación de las combinaciones de tratamientos en función de las medias del número de ramas secundarias en cada fecha de medición

Fecha de medición	20×40 cm/con HL	25×40 cm/con HL	30×40 cm/con HL	20×40 cm/sin HL	25×40 cm/sin HL	30×40 cm/sin HL
14-04-26	1,0±0,0a	-	1,0±0,0a	-	1,7±1,2a	1,5±0,7a
28-04-26	2,8±1,7a	1,8±0,8a	1,2±0,4a	2,0±0,0a	2,8±1,0a	1,8±0,7a
11-05-26	2,7±1,4a	2,2±1,2a	3,3±2,0a	1,7±1,2a	3,0±1,7a	2,8±1,3a
25-05-26	3,2±1,5a	2,9±1,9a	3,3±1,9a	2,0±1,0a	4,7±4,4a	2,9±1,3a
08-06-26	4,0±2,5a	3,2±2,1a	3,8±2,0a	2,6±1,8a	4,3±4,3a	4,0±2,0a
22-06-26	3,6±2,6a	3,5±2,2a	4,2±2,2a	2,8±1,6a	4,9±4,1a	4,5±1,9a

*Letras diferentes entre las combinaciones de tratamientos, dentro de cada fecha de medición, indican diferencias estadísticas significativas para un p-valor≤0,05 (según prueba de Tukey).

El número de ramas secundarias presentó una evolución gradual a lo largo del ciclo del cultivo, alcanzando mayores valores en las últimas fechas de evaluación. Sin embargo, la ausencia de diferencias significativas indica que las prácticas de manejo evaluadas no modificaron sustancialmente este componente del crecimiento vegetativo.

Resultados similares han sido reportados por Pérez Zaldívar e Infante Ortiz (2021), quienes observaron que ciertos caracteres morfológicos del garbanzo pueden presentar una respuesta limitada a las variaciones de manejo agronómico, dependiendo de las condiciones edafoclimáticas y del material genético utilizado. De igual forma, Echevarría Hernández et al. (2014) señalaron que no todas las variables vegetativas responden con la misma intensidad a los cambios en densidad de siembra o disponibilidad de recursos.

Desde el punto de vista agronómico, aunque las ramas secundarias contribuyen a incrementar el área vegetativa y el número potencial de estructuras reproductivas, los resultados obtenidos sugieren que este carácter presentó una estabilidad relativa bajo las condiciones experimentales del presente estudio, manteniendo valores similares entre tratamientos durante la mayor parte del ciclo de crecimiento.

Número de vainas

El análisis de varianza no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos para la variable número de vainas (p-valor = 0,151), indicando que las distintas combinaciones de distancia de siembra y fertilización orgánica no ejercieron un efecto estadísticamente significativo sobre la producción de vainas en las plantas de garbanzo (Tabla 10).

Tabla 12

Análisis de varianza para la variable número de vainas en función de los tratamientos evaluados

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	16,713	5	3,343	1,628	0,151
Error	784,099	382	2,053		
Total	**800,812**	**387**			

Aunque estadísticamente no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, se observaron variaciones numéricas en los valores promedio. El tratamiento de 25 × 40 cm sin humus de lombriz presentó el mayor número de vainas por planta (2,90), seguido por el tratamiento 25 × 40 cm con humus de lombriz (2,82). Por otra parte, el menor valor fue registrado en el tratamiento 20 × 40 cm sin humus de lombriz (2,32). Sin embargo, la prueba de Tukey agrupó todas las medias dentro de un mismo conjunto estadístico, confirmando la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos.

La similitud observada entre tratamientos sugiere que la producción de vainas estuvo más relacionada con las características fisiológicas propias del cultivo y las condiciones ambientales del ensayo que con las variaciones en la distancia de siembra o la aplicación de humus de lombriz. Esto indica que, bajo las condiciones experimentales evaluadas, las plantas lograron mantener una capacidad reproductiva relativamente estable independientemente del manejo aplicado, permitiendo una formación similar de vainas entre tratamientos (Tabla 13).

Tabla 13

Comparación de medias del número de vainas entre los tratamientos evaluados.

Combinaciones de tratamientos	n	Número de vainas
20×40 cm/sin HL	76	2,32 ± 1,10 a
30×40 cm/sin HL	53	2,45 ± 1,23 a
30×40 cm/con HL	51	2,55 ± 1,40 a
20×40 cm/con HL	94	2,73 ± 1,32 a
25×40 cm/con HL	62	2,82 ± 1,57 a
25×40 cm/sin HL	52	2,90 ± 1,99 a

*Letras diferentes entre las combinaciones de tratamientos indican diferencias estadísticas significativas para un p-valor≤0,05 (según prueba de Tukey).

El número de vainas es considerado uno de los componentes más importantes del rendimiento en el cultivo de garbanzo, debido a que determina en gran medida la cantidad potencial de granos que puede producir cada planta. No obstante, en la presente investigación las diferencias observadas entre tratamientos no fueron suficientes para generar una respuesta estadísticamente significativa, lo que sugiere una estabilidad de este carácter frente a las variaciones de espaciamiento y fertilización evaluadas.

Resultados semejantes han sido reportados en estudios donde el número de vainas presentó una menor sensibilidad a determinadas prácticas de manejo agronómico, especialmente cuando las condiciones ambientales favorecieron un desarrollo uniforme del cultivo. Echevarría et al. (2014) señalaron que la formación de vainas depende no solo del manejo agronómico, sino también de factores fisiológicos y genéticos asociados al cultivar utilizado.

Por otra parte, Apáez-Barrios et al. (2016) indicaron que los cambios en el arreglo espacial pueden influir sobre algunos componentes del rendimiento; sin embargo, la magnitud de dicha respuesta puede variar según las condiciones ambientales, disponibilidad hídrica y características propias del cultivo. De forma similar, Ronda Hernández et al. (2025) reportaron que determinados caracteres reproductivos presentan una respuesta menos consistente frente a modificaciones de manejo que las variables vegetativas.

Desde el punto de vista agronómico, la ausencia de diferencias significativas en el número de vainas podría indicar que las plantas compensaron las condiciones de competencia o disponibilidad de recursos mediante mecanismos fisiológicos que permitieron mantener una capacidad reproductiva similar entre tratamientos. Este comportamiento refleja una cierta estabilidad en la formación de vainas bajo las condiciones de evaluación del presente estudio.

Número de granos

El análisis de varianza evidenció diferencias significativas entre los tratamientos para la variable número de granos ($p = 0,004$), indicando que las combinaciones de distancia de siembra y fertilización orgánica influyeron sobre la capacidad productiva del cultivo de garbanzo.

La comparación de medias mediante la prueba de Tukey mostró que el tratamiento de 20 × 40 cm con humus de lombriz presentó el mayor número promedio de granos por planta (4,00), seguido por el tratamiento de 30 × 40 cm sin humus de lombriz (3,83). En contraste, el tratamiento

de 25 × 40 cm sin humus de lombriz registró el menor valor promedio (2,25 granos por planta). Los restantes tratamientos mostraron valores intermedios comprendidos entre 2,89 y 3,21 granos por planta (Tabla 14).

Tabla 14

Análisis de varianza para la variable número de granos en función de los tratamientos evaluados

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	43,036	5	8,607	3,725	0,004
Error	291,146	126	2,311		
Total	**334,182**	**131**			

Los resultados obtenidos sugieren que determinadas combinaciones entre espaciamiento y fertilización orgánica favorecieron la formación y desarrollo de los granos. La mayor producción observada en el tratamiento de 20 × 40 cm con humus de lombriz podría estar asociada a una mayor disponibilidad de nutrientes proporcionados por el vermicompost durante las etapas reproductivas del cultivo. Asimismo, la producción de granos refleja la eficiencia con la que las plantas transforman los fotoasimilados y los recursos absorbidos en estructuras cosechables, constituyendo uno de los componentes más importantes del rendimiento final (Tabla 15).

Tabla 15

Comparación de medias del número de granos entre los tratamientos evaluados.

Combinaciones de tratamientos	n	Número de granos/vaina
25×40 cm/sin HL	16	2,25 ± 2,21 b
20×40 cm/sin HL	28	2,89 ± 0,74 ab
25×40 cm/con HL	21	3,10 ± 1,87 ab
30×40 cm/con HL	19	3,21 ± 1,65 ab
30×40 cm/sin HL	18	3,83 ± 1,76 a
20×40 cm/con HL	30	4,00 ± 1,05 a

*Letras diferentes entre las combinaciones de tratamientos indican diferencias estadísticas significativas para un p-valor≤0,05 (según prueba de Tukey).

El número de granos constituye uno de los componentes fundamentales del rendimiento en el cultivo de garbanzo, debido a que determina directamente la producción potencial de grano por planta. Los resultados obtenidos evidenciaron que las combinaciones de manejo evaluadas influyeron significativamente sobre esta variable, destacándose el tratamiento de 20 × 40 cm con humus de lombriz, el cual registró la mayor producción de granos.

Estos resultados coinciden con lo señalado por Pérez Zaldívar e Infante Ortiz (2021), quienes reportaron que la producción de granos se encuentra estrechamente relacionada con el desarrollo vegetativo previo y con la capacidad de las plantas para sostener un mayor número de estructuras reproductivas durante el llenado de grano. De manera similar, Ronda Hernández et al. (2025) encontraron que los componentes reproductivos responden significativamente a las condiciones de manejo agronómico y disponibilidad de recursos durante el ciclo del cultivo.

La respuesta favorable observada en los tratamientos fertilizados puede estar asociada al efecto del humus de lombriz sobre la disponibilidad de nutrientes y el mejoramiento de las condiciones biológicas del suelo. Kaur et al. (2023) y Srivastava et al. (2024) reportaron que la

aplicación de vermicompost favorece la absorción de nutrientes, la actividad microbiana y la eficiencia fisiológica de las plantas, contribuyendo al incremento de los componentes del rendimiento en cultivos leguminosos.

Desde el punto de vista agronómico, un mayor número de granos representa una ventaja productiva importante debido a que incrementa el rendimiento potencial del cultivo. Por ello, los tratamientos que promovieron una mayor producción de granos evidencian una mejor eficiencia en la utilización de los recursos disponibles y una mayor capacidad para transformar el crecimiento vegetativo en producción económica.

Peso de vainas

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre los tratamientos para la variable peso de vainas (p = 0,085), indicando que las distintas combinaciones de distancia de siembra y fertilización orgánica no generaron cambios estadísticamente significativos en la biomasa acumulada en las vainas de las plantas de garbanzo (Tabla 16).

Tabla 16

Análisis de varianza para la variable peso de vainas en función de los tratamientos evaluados

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	15,645	5	3,129	1,984	0,085
Error	198,676	126	1,577		
Total	**214,321**	**131**			

Aunque no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, se observaron variaciones numéricas en los valores promedio. El tratamiento de 20 × 40 cm con humus de lombriz registró el mayor peso promedio de vainas (2,52 g), seguido por 25 × 40 cm con humus de lombriz (2,33 g) y 30 × 40 cm con humus de lombriz (2,18 g). Por su parte, el menor valor correspondió al tratamiento de 25 × 40 cm sin humus de lombriz (1,57 g). No obstante, la prueba de Tukey agrupó todas las medias dentro de un mismo grupo estadístico, confirmando la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 17).

Los resultados sugieren que la acumulación de biomasa en las vainas presentó un comportamiento relativamente estable entre los tratamientos estudiados. A pesar de que algunos tratamientos fertilizados mostraron valores numéricamente superiores, dichas diferencias no fueron suficientes para generar una respuesta estadística significativa. Esto podría indicar que el peso de las vainas estuvo influenciado principalmente por la capacidad fisiológica de las plantas para distribuir fotoasimilados durante la fase reproductiva, más que por las variaciones de espaciamiento o fertilización aplicadas durante el ensayo.

Tabla 17

Comparación de medias del peso de vainas entre los tratamientos evaluados

Combinaciones de tratamientos	n	Número de granos
25×40 cm/sin HL	16	1,57 ± 1,85 a
20×40 cm/sin HL	28	1,70 ± 0,41 a
30×40 cm/sin HL	18	2,06 ± 1,09 a
30×40 cm/con HL	19	2,18 ± 1,41 a
25×40 cm/con HL	21	2,33 ± 1,78 a
20×40 cm/con HL	30	2,52 ± 0,90 a

*Letras diferentes entre las combinaciones de tratamientos indican diferencias estadísticas significativas para un p-valor≤0,05 (según prueba de Tukey).

El peso de vainas constituye un componente importante de la biomasa reproductiva del cultivo, ya que refleja la capacidad de las plantas para acumular materia seca durante la fase de llenado. Sin embargo, en la presente investigación esta variable no presentó diferencias significativas entre tratamientos, lo que indica que las combinaciones de distancia de siembra y fertilización orgánica evaluadas tuvieron un efecto limitado sobre este carácter productivo.

Resultados similares han sido reportados en investigaciones donde algunos componentes reproductivos del garbanzo mostraron menor sensibilidad a las modificaciones del manejo agronómico que las variables vegetativas. Echevarría et al. (2014) señalaron que ciertos caracteres asociados al rendimiento pueden mantenerse relativamente estables cuando las condiciones ambientales permiten un desarrollo uniforme del cultivo.

Asimismo, Ronda Hernández et al. (2025) reportaron que la respuesta de los componentes productivos puede variar dependiendo de la interacción entre las condiciones ambientales, la disponibilidad de recursos y las características propias del material vegetal utilizado. En este sentido, las diferencias observadas entre tratamientos podrían representar únicamente tendencias biológicas que no alcanzaron significancia estadística.

Desde una perspectiva agronómica, la ausencia de diferencias significativas en el peso de vainas sugiere que las plantas lograron mantener una distribución relativamente homogénea de biomasa hacia las estructuras reproductivas, independientemente de las prácticas de manejo evaluadas. Este comportamiento evidencia una cierta estabilidad fisiológica del cultivo bajo las condiciones experimentales del presente estudio.

Peso de granos por planta

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los tratamientos para la variable peso de granos por planta (p-valor = 0,026), indicando que las combinaciones de distancia de siembra y fertilización orgánica influyeron sobre la acumulación de materia seca en los granos de garbanzo (Tabla 18).

Tabla 18

Comparación de medias del peso de granos entre los tratamientos evaluados

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	15,064	5	3,013	2,650	0,026
Error	143,247	126	1,137		
Total	**158,311**	**131**			

La comparación de medias del peso de granos por planta mostró que el tratamiento de 20×40 cm/con HL presentó el mayor peso promedio de granos (2,12 g), seguido por los tratamientos de 25×40 cm/con HL (1,97 g) y 30×40 cm/con HL (1,85 g). Por el contrario, el menor valor fue registrado en el tratamiento de 25×40 cm/sin HL (1,17 g). En términos generales, los tratamientos con fertilización orgánica tendieron a presentar mayores valores de peso de grano que aquellos sin aplicación de humus de lombriz (Tabla 19).

El mayor peso de granos observado en los tratamientos fertilizados indica que la disponibilidad adicional de nutrientes proporcionada por el humus de lombriz favoreció el llenado de grano durante la fase reproductiva del cultivo. Esta respuesta sugiere una mayor eficiencia en la movilización y acumulación de fotoasimilados hacia los órganos de cosecha. En contraste, los tratamientos sin fertilización orgánica presentaron menores valores promedio, lo que podría atribuirse a una menor disponibilidad nutricional durante las etapas críticas de formación y llenado de grano.

Tabla 19

Comparación de medias para el peso de granos entre los tratamientos evaluados

Combinaciones de tratamientos	n	Número de granos
25×40 cm/sin HL	16	1,17 ± 1,53 a
20×40 cm/sin HL	28	1,38 ± 0,31 a
30×40 cm/sin HL	18	1,56 ± 0,79 a
30×40 cm/con HL	19	1,85 ± 1,20 a
25×40 cm/con HL	21	1,97 ± 1,63 a
20×40 cm/con HL	30	2,12 ± 0,75 a

*Letras diferentes entre las combinaciones de tratamientos indican diferencias estadísticas significativas para un p-valor≤0,05 (según prueba de Tukey).

El peso de granos constituye uno de los componentes más importantes del rendimiento, debido a que expresa la capacidad del cultivo para acumular materia seca en el producto cosechable. En la presente investigación se observaron diferencias significativas entre tratamientos, destacándose el tratamiento de 20×40 cm/con HL, el cual registró el mayor valor promedio de peso de grano.

Estos resultados son consistentes con lo reportado por Srivastava et al. (2024), quienes observaron incrementos en el peso de semillas y rendimiento del garbanzo como resultado de la aplicación de vermicompost, atribuyendo este comportamiento a una mejora en la disponibilidad de nutrientes y en la eficiencia fisiológica de las plantas. De manera similar, Kaur et al. (2023) señalaron que la incorporación de fertilizantes orgánicos favorece la absorción de nutrientes esenciales y mejora la productividad de los cultivos leguminosos.

Asimismo, Echevarría et al. (2014) indicaron que el peso de los granos depende de la eficiencia del llenado durante la fase reproductiva, proceso estrechamente asociado con la disponibilidad de agua, nutrientes y fotoasimilados. En este sentido, la respuesta positiva observada en los tratamientos fertilizados podría estar relacionada con una mayor disponibilidad nutricional durante las etapas finales del desarrollo del cultivo.

Desde el punto de vista agronómico, un mayor peso de grano representa una ventaja productiva importante, ya que contribuye directamente al rendimiento final. Los resultados obtenidos sugieren que la fertilización orgánica mediante humus de lombriz favoreció el llenado de los granos y mejoró la eficiencia productiva de las plantas, particularmente cuando se combinó con arreglos espaciales que permitieron una adecuada utilización de los recursos disponibles.

CONCLUSIONES

La combinación de distancias de siembra y fertilización orgánica influyó significativamente en la altura de planta, diámetro del tallo, número de hojas y número de ramas primarias, mientras que el número de ramas secundarias no presentó diferencias estadísticas entre tratamientos.

Las variables reproductivas mostraron una respuesta diferenciada al manejo agronómico aplicado. Bajo las condiciones de invernadero de la Granja Experimental Santa Inés, la aplicación de humus de lombriz en combinación con arreglos espaciales adecuados favoreció el desempeño morfoagronómico del cultivo de garbanzo. En términos productivos, el tratamiento de 20×40 cm con humus de lombriz mostró el comportamiento más favorable para las variables directamente relacionadas con la producción de grano, constituyéndose en una alternativa de manejo agronómico viable para mejorar la productividad del cultivo en condiciones similares a las evaluadas.

REFERENCIAS

Abou Chehade, L., Tavarini, S., Bozzini, M. F., Koskey, G., Caturegli, L., Antichi, D., & Angelini, L. G. (2024). *Agronomic and phytochemical characterization of chickpea local genetic resources for the agroecological transition and sustainable food systems*. *Agronomy, 14*(10), 2229. https://doi.org/10.3390/agronomy14102229

Apáez-Barrios, P., Martínez-Gamiño, M. A., Salinas-González, H., & Ruiz-Torres, N. A. (2016). Distancia entre hileras, nitrógeno y producción de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) bajo humedad residual. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7*(6), 1361-1373. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000200223

Basha, S. J., Jayalakshmi, V., Ahammed, S. K., & Kamakshi, N. (2020). Studies on growth and yield characters of chickpea (*Cicer arietinum* L.) varieties suitable for mechanical harvesting. *Tropical Plant Research, 7*(3), 634-637. https://doi.org/10.22271/tpr.2020.v7.i3.079

Choi, Y. M., Yoon, H., Shin, M. J., Lee, S., Yi, J., Wang, X., & Desta, K. T. (2024). Diversity of major yield traits and nutritional components among greenhouse-grown chickpea (*Cicer arietinum* L.) breeding lines, landraces, and cultivars of different origins. *Plants, 13*(21), 3078. https://doi.org/10.3390/plants13213078

Dubey, A. K., Rawat, A. K., Mishra, P., & Tiwari, A. (2024). Assessment of growth, yield attributes and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under varying environments. *Biological Forum: An International Journal, 16*(1), 315-318. https://www.researchtrend.net/bfij/assessment-of-growth-yield-attributes-and-yield-of-chickpea-cicer-arietinum-l-cultivars-under-varying-environments-8304

Echevarría Hernández, A., Cruz Triana, A., Rivero González, D., Cárdenas, R. M., & Martínez Coca, B. (2014). Comportamiento agronómico de cultivares de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) en condiciones del municipio Los Palacios, Pinar del Río. *Cultivos Tropicales, 35*(3), 101-106. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193232155012

Gimenez, R., Lake, L., Cossani, C. M., Ortega Martínez, R., Hayes, J. E., Dreccer, M. F., French, R., Weller, J. L., & Sadras, V. O. (2025). Linking phenology, harvest index, and genetics to improve chickpea grain yield. *Journal of Experimental Botany, 76*(6), 1658-1677. https://doi.org/10.1093/jxb/erae487

Kaur, G., Vats, A. K., Singh, R., Behl, R. K., & Singh, A. (2023). Effect of vermicompost, biofertilizers and inorganic fertilizers on nutrient uptake and physico-chemical properties of soil: A case study of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Environment and Climate Change, 13*(10), 4519-4525. https://journalijecc.com/index.php/IJECC/article/view/3130

Llerena Hidalgo, J. A. (2021). *Comportamiento agronómico del garbanzo (Cicer arietinum* L.*) en el sector El Limoncito, Ecuador*. Rev. Mex. Cienc. Agríc vol.12 no.6 Texcoco ago./sep. https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2775

Nabizadeh, E., Yazdan Seta, S., Sarkhosh, R., & Ahmadi, K. (2025). Study of morphological traits, yield, and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under rainfed conditions and different sowing dates. *Journal of Agroecology, 17*(3), 421-438. https://www.researchgate.net/publication/401818148_Study_of_Morphological_Traits_Yield_and_Yield_Components_of_Chickpea_Cicer_arietinum_L_Cultivars_under_Rainfed_Conditions_and_Different_Sowing_Dates

Oyebiyi, O. O., Laezza, A., Hoque, M. M., Thammavongsa, S., Li, M., Tsipas, S., Scopa, A., & Drosos, M. (2026). Organic amendments for sustainable agriculture: Effects on soil function, crop productivity and carbon sequestration under variable contexts. *C, 12*(1), 7. https://doi.org/10.3390/c12010007

Papp, R. R. (2026). *Organic soil amendments in sustainable and organic agriculture: Implications for soil health, carbon sequestration, environmental sustainability and future perspectives*. *AAB Bioflux: Advances in Agriculture and Botanics, 18*(1), 68-81. https://agron.bio/uploads/article_6a4facce6be62.pdf

Pérez Zaldívar, J. C., & Infante Ortiz, L. M. (2021). *Evaluación agroproductiva de cultivares de garbanzo (Cicer arietinum* L.*) en la CCS José Manuel Rodríguez del municipio Jesús Menéndez*. Universidad de Las Tunas, Cuba. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9177432.pdf

Qulmamatova, D. E. (2023). Chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes evaluation for high yield through multivariate analysis. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics, 55*(1), 107-114. https://doi.org/10.54910/sabrao2023.55.1.10

Ronda Hernández, R., García Rodríguez, R., Betancourt Piñero, W. D., & Ramírez Hernández, L. (2025). Comportamiento morfoagroproductivo del cultivo de garbanzo en condiciones edafoclimáticas del municipio Primero de Enero. *Universidad & Ciencia, 14*(1), 73-87. https://doi.org/10.5281/zenodo.14714783

Srivastava, N., Shagun, S., Suman, M., & Chandra, G. (2024). Chickpea (*Cicer arietinum* L.) growth and yield in response to organic manures and biofertilizers. *Ecology, Environment and Conservation, 30*(2), 726-730. https://www.researchgate.net/publication/382199056_Chickpea_Cicer_arietinum_L_growth_and_yield_in_response_to_organic_manures_and_biofertilizers

Waseem, M., Yadav, A., Quatadah, S. M., Kumar, R., Pal, R., Kumar, J., Silas, V. J., Praween, N., & Singh, S. K. (2026). Genetic variability and character association studies in chickpea genotypes for yield and its attributing traits. *International Journal of Advanced Biochemistry Research, 10*(2), 864-868. https://www.biochemjournal.com/special-issue/2026.v10.i2S.K.7745/genetic-variability-and-character-association-studies-in-chickpea-genotypes-for-yield-and-its-attributing-traits