

Artículo Original
Original Article

PRODUCCIÓN HORTÍCOLA SOSTENIBLE EN APOYO A PEQUEÑOS PRODUCTORES DE GENERAL ARTIGAS, ITAPÚA – 2025

SUSTAINABLE HORTICULTURAL PRODUCTION IN SUPPORT OF SMALL PRODUCERS IN GENERAL ARTIGAS, ITAPÚA – 2025

Lidia Quintana

Universidad Nacional de Itapúa, Dirección de Extensión e Investigación, Grupo de Investigación. Encarnación, Paraguay
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8889-0970>

Manuela Arriola

Universidad Nacional de Itapúa, Dirección de Extensión e Investigación, Grupo de Investigación. Encarnación, Paraguay
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3566-6593>

Rocío Duarte

Universidad Nacional de Itapúa, Dirección de Extensión e Investigación, Grupo de Investigación. Encarnación, Paraguay
Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-1869-1852>

Felipe Viedma Romero

Universidad Nacional de Itapúa, Dirección de Extensión e Investigación, Grupo de Investigación. Encarnación, Paraguay
Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-7606-9992>

Ariel Morel

Universidad Nacional de Itapúa, Dirección de Extensión e Investigación, Grupo de Investigación. Encarnación, Paraguay
Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-3854-7363>

Gloria Resquín-Romero

Universidad Nacional de Asunción. Dirección de Extensión e Investigación, Grupo de Investigación. Asunción, Paraguay
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3220-078X>

Gustavo Cardozo

Universidad Nacional de Itapúa, Dirección de Extensión e Investigación, Grupo de Investigación. Encarnación, Paraguay
Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-4345-3774>

Autor corresponsal: Rocío Duarte: rocionatd@gmail.com

Cómo citar este artículo:

Quintana L, Arriola M, Duarte R, Viedma Romero F, Morel A, Resquín-Romero G, Cardozo G. Producción hortícola sostenible en apoyo a pequeños productores de General Artigas, Itapúa – 2025. Rev. Soc. cient. Parag. 2026;31:e3120.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de cuatro niveles de aplicación de enmiendas de origen animal y vegetal sobre el crecimiento y la productividad de morrón, cebolla, zanahoria y lechuga, en pequeñas fincas del distrito de General Artigas, Itapúa, Paraguay. Se implementó un diseño experimental de bloques completos al azar, con arreglo factorial 4×4 , considerando como factor A cuatro niveles de enmienda (0, 20.000, 30.000 y 40.000 kg·ha⁻¹) y como factor B cuatro especies hortícolas (morrón, cebolla, zanahoria y lechuga), con tres repeticiones, totalizando 48 unidades experimentales. Se evaluaron caracteres específicos para cada especie, como altura de planta, número de hojas, diámetro y peso de bulbo, raíz o frutos, y rendimiento. Los resultados mostraron que la aplicación de la enmienda orgánica favoreció el crecimiento y la productividad de los cultivos de cebolla y lechuga, observándose los mayores efectos con los niveles de 30.000 y 40.000 kg·ha⁻¹. En zanahoria, el nivel de 30.000 kg·ha⁻¹ promovió una mayor altura de planta y rendimiento, mientras que las variables morfológicas de la raíz no evidenciaron efecto de los niveles de enmienda. En el cultivo de morrón, los niveles evaluados no ejercieron un efecto significativo sobre las variables analizadas. En conjunto, los resultados evidencian que la mezcla de estiércol bovino y mantillo de bosque, aplicada como enmienda orgánica, constituye una alternativa para mejorar el desempeño agronómico de los cultivos hortícolas, con potencial para contribuir a la sostenibilidad de los sistemas de producción familiar y a la seguridad alimentaria.

Palabras clave: enmienda; crecimiento; productividad; seguridad alimentaria.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of four application levels of soil amendments of animal and plant origin on the growth and productivity of bell peppers, onions, carrots, and lettuce on small farms in the General Artigas district of Itapúa, Paraguay. A randomized complete block design with a 4×4 factorial arrangements was implemented, considering four amendment levels (0, 20,000, 30,000, and 40,000 kg·ha⁻¹) as Factor A and four horticultural species (bell pepper, onion, carrot, and lettuce) as Factor B, with three replications, totaling 48 experimental units. Specific traits for each species were evaluated, such as plant height, number of leaves, bulb, root, or fruit diameter and weight, and yield. The results showed that the application of the organic amendment promoted the growth and productivity of onion and lettuce crops, with the greatest effects observed at levels of 30,000 and 40,000 kg·ha⁻¹. For carrots, the 30,000 kg·ha⁻¹ level promoted greater plant height and yield, whereas root morphological variables showed no effect from the amendment levels. In the case of bell peppers, the levels evaluated did not have a significant effect on the variables analyzed. Overall, the results demonstrate that a mixture of cattle manure and forest mulch, applied as an organic amendment, offers an alternative for improving the agronomic performance of horticultural crops, with the potential to contribute to the sustainability of family farming systems and to food security.

Keywords: fertilizer; growth; productivity; food security.

INTRODUCCIÓN

La producción hortícola constituye una actividad fundamental para la seguridad alimentaria, el desarrollo económico local y la sostenibilidad de las comunidades rurales en Paraguay, especialmente en el Departamento de Itapúa, donde predomina la agricultura familiar. Según el Censo Agropecuario Nacional realizado en 2022, el 56% de las fincas del departamento corresponden a pequeños productores, de los cuales el 32% poseen una superficie igual o inferior a cinco hectáreas⁽¹⁾. Esta situación evidencia la necesidad de fortalecer sistemas productivos sostenibles que permitan mejorar la productividad, optimizar el uso de los recursos naturales y garantizar ingresos estables para las familias rurales⁽²⁾.

En el ámbito nacional, rubros hortícolas como el morrón, la cebolla, zanahoria y lechuga presentan una elevada demanda de consumo. El morrón ocupa una superficie superior a 650 hectáreas, con un consumo estimado de 60 toneladas diarias⁽³⁾, por su parte, la demanda de cebolla en el mercado local supera las 100 toneladas, no obstante, la producción nacional continúa siendo limitada y de carácter estacional, concentrándose la cosecha y la comercialización entre los meses de octubre y diciembre⁽⁴⁾. La producción de zanahoria se concentra en un 91 % en el distrito de Tomás Romero Pereira, en Itapúa⁽⁵⁾. Mientras que la lechuga constituye uno de los principales cultivos hortícolas de las pequeñas fincas familiares, representando una importante alternativa económica debido a su ciclo de producción corto, que permite realizar varias siembras y cosechas a lo largo del año⁽⁶⁾. Estos datos reflejan la necesidad de incrementar y diversificar la producción hortícola mediante prácticas sostenibles y accesibles para los pequeños productores.

Diversas investigaciones han abordado la importancia de la sostenibilidad en la producción hortícola, como el de⁽⁷⁾, que destaca que la incorporación de prácticas sostenibles fortalece el desarrollo rural y la conservación de los recursos naturales⁽⁸⁾. Mientras que⁽⁹⁾ señalan que la limitada adopción de tecnologías apropiadas incide en la productividad del cultivo de cebolla. Asimismo,⁽¹⁰⁾ indican que el manejo agronómico y la selección del material vegetal influyen en el crecimiento y rendimiento del morrón.

En este contexto, la agricultura orgánica se define como un sistema de producción que sustituye el uso de fertilizantes sintéticos por insumos orgánicos debidamente inspeccionados y certificados para proporcionar los nutrientes necesarios a los cultivos⁽¹¹⁾. Este sistema enfrenta desafíos como el incremento de los rendimientos, la reducción de la contaminación ambiental y la mejora del manejo de nutrientes, promoviendo además la equidad social en el ámbito rural⁽¹²⁾.

En base a lo expuesto, la presente investigación tuvo como objetivo general evaluar el efecto de cuatro niveles de aplicación de enmiendas de origen animal y vegetal sobre el crecimiento y la productividad de morrón, cebolla, zanahoria y lechuga en pequeñas fincas del distrito de General Artigas, Itapúa, Paraguay con el fin de posibilitar la generación de conocimientos científicos sobre producción hortícola sostenible en el ciclo del cultivo 2025 orientada a pequeños productores.

METODOLOGÍA

El estudio se llevó a cabo en la finca experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad Nacional de Itapúa, sede General Artigas (26°50'30,50" S y 56°12'70" O), departamento de Itapúa, Paraguay, en el ciclo de cultivo 2025. La composición química del suelo se obtuvo mediante análisis químicos, procedente de una muestra de suelo de 0,20 m de profundidad, arrojando como resultado: MO: <3% (muy bajo), P: 10,51 mg/kg¹ (medio), K: 0,12 cmol/kg¹ (medio), Ca: 3,57 cmol/kg¹ (medio), Mg: 0,96 cmol/kg¹ (medio); Al: 0,10 cmol/kg¹ (muy bajo); S: 5,88 mg/kg¹ (bajo); Fe: 37,43 mg/kg¹ (medio); Cu: 0,58 mg/kg¹ (medio); Zn: 0,26 mg/kg¹ (medio); B: 0,37 mg/kg¹ (medio); Mn: 5,98 mg/kg¹ (alto) y pH: 5,49 (bajo); mientras que el análisis físico del suelo arrojó 32% de arcilla. Dos meses antes de la siembra de los cultivos se realizó la aplicación de cal agrícola, lo cual se distribuyó en forma uniforme sobre toda la superficie de la parcela y luego se incorporó con motocultor, la dosis fue de 1500 kg·ha⁻¹ de la cal dolomítica PRNT 60%, posteriormente se realizó la delimitación de cada unidad experimental por tratamiento y repetición.

La investigación se desarrolló bajo un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA), con arreglo factorial, considerando como factor A niveles de enmienda en kg·ha⁻¹: A1) 0; A2) 20.000; A3) 30.000 y A4) 40.000; y cuatro especies hortícolas como el factor B, siendo éstos: B1) Morrón; B2) Cebolla; B3) Zanahoria y B4) Lechuga. La combinación de los factores dio un total de 16 tratamientos. Se tuvo 3 repeticiones, totalizando 48 unidades experimentales (4x4x3).

La muestra estuvo conformada por parcelas experimentales de 4 m², en las cuales se establecieron los tratamientos de aplicación con la mezcla en partes iguales (1:1) de estiércol bovino previamente estabilizado y mantillo de bosque como fuente de abono vegetal. El estiércol se sometió a un proceso de compostaje durante 30 días, mientras que el mantillo se tamizó para eliminar fragmentos grandes y asegurar una aplicación homogénea. La aplicación de los diferentes niveles de enmienda se realizó manualmente al voleo sobre la superficie de cada parcela, de acuerdo con la dosis establecida para cada tratamiento. Posteriormente, el material fue incorporado al suelo mediante el uso de una pala para lograr una mezcla homogénea y, finalmente, se conformaron los tabloncillos destinados al establecimiento de las especies hortícolas a una altura de 0,20 cm.

Sobre los tabloncillos ya establecidos, se instalaron cintas de riego por goteo en el centro de cada hilera de cultivo, ajustando la cantidad según la densidad de siembra de cada especie, con un caudal de 1,5 L h⁻¹. Posteriormente, los tabloncillos fueron cubiertos con *mulching* bicolor, colocando la cara negra en contacto con el suelo y la cara blanca hacia arriba, con el fin de favorecer la conservación de la humedad y la regulación de la temperatura del suelo. Luego, sobre las unidades experimentales se instaló una estructura metálica de 3 m de altura, sobre la cual se colocó una malla media sombra blanca con un 35% de sombreo.

Las especies hortícolas evaluadas fueron: morrón, cebolla, zanahoria y lechuga. Las mudas se produjeron en bandejas de polietileno expandido, cada una con 128 celdas, llenas con sustrato comercial CarolinaSoil®. La siembra en almácigo se realizó el 15 de abril para todas las especies, depositando en cada celda. Las bandejas se ubicaron sobre mesadas y bajo una cubierta de malla media sombra de 3 x 3 metros y el riego fue realizado por aspersión. El trasplante a las parcelas se efectuó el 13 de mayo para lechuga y cebolla, y el 16 de mayo para morrón y zanahoria, siendo esta última sembrada directamente en el lugar definitivo. La densidad de siembra se ajustó en campo iniciando desde los bordes de la parcela, lo que permitió un mayor número de plantas por unidad de superficie respecto a la densidad teórica. Las densidades de siembra de las diferentes variedades fueron: morrón 0,50 m entre plantas x 0,70/0,60 entre hileras (20 plantas/4 m²), cebolla 0,15 m entre plantas x 0,33 entre hileras (98 plantas/4 m²), zanahoria 0,15 m entre plantas x 0,20 entre hileras (154 plantas/4 m²) y lechuga 0,15 m entre plantas x 0,33 entre hileras (98 plantas/4 m²).

El riego en las unidades experimentales se realizó mediante un sistema de goteo, aplicándose dos veces al día: el primer riego a las 07:00 h y el segundo a las 18:00 h. Cada evento de riego tuvo una duración de 40 minutos, lo que permitió aplicar una lámina de riego aproximada de 5,53 mm por evento, totalizando 11,06 mm/día. En los días con

precipitaciones no se efectuó el riego; dependiendo de la intensidad de la lluvia, este se suspendía entre 24 y 48 horas antes de reanudar el programa habitual.

Durante la ejecución del experimento no se realizaron aplicaciones fitosanitarias dentro de las parcelas experimentales, debido a la ausencia de ataques de plagas y enfermedades en los cultivos. Sin embargo, de manera preventiva, se efectuó el control de hormigas cortadoras en el perímetro del área experimental con Fipronil a una dosis de 30 ml/ha, con el fin de evitar posibles daños al cultivo.

Las variables evaluadas incluyeron:

1. Morrón:

- Altura de planta (cm). Se determinó en las 5 plantas seleccionadas del área útil de cada unidad experimental, midiendo con una regla centimetrada, desde el nivel del suelo hasta el ápice de cada planta. Se evaluó a los 85 días después del trasplante (DDT) y se expresó en centímetros.
- Longitud media de los frutos (cm). Se determinó el día de la cosecha, tomando al azar 5 frutos cosechados del área útil, midiendo con una cinta métrica metálica desde la base del fruto hasta su ápice. La cosecha dependió de las características del material y se realizó cuando los frutos alcanzaron la madurez fisiológica en la planta, evidenciada por una coloración verde oscuro y brillante, la cual se presentó a partir de los 137 DDT, realizándose la evaluación.
- Diámetro de frutos (cm). Se evaluó en las mismas muestras utilizadas para longitud media de los frutos. Se midió con un calibrador vernier o forcípula el ancho del fruto en la parte media del mismo.
- Peso promedio de frutos (g). Se seleccionaron al azar 5 frutos representativos del área útil. Estos se pesaron individualmente en una balanza de precisión y el valor total se dividió entre 5, obteniéndose así el peso promedio por fruto, expresado en gramos.
- Rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Para esta variable se cosechó la hilera central del área útil de cada unidad experimental, que abarcó 2,8 m^2 , correspondiente a 10 plantas. Posteriormente, se procedió a pesar todos los frutos de las plantas cosechadas dentro de dicha área para obtener el rendimiento total durante el ciclo productivo (dos cosechas), expresado en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. El rendimiento se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento } (\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}) = \frac{\text{Peso de campo (kg)} \times 10.000 \text{ m}^2}{\text{Unidad experimental (2,8 m}^2\text{)}}$$

2. Cebolla

- Diámetro de pseudotallo (cm). Se midió con un calibrador vernier o forcípula el diámetro del cuello de la planta a nivel del suelo. La evaluación se realizó al momento de la cosecha a los 162 días después del trasplante (DDT).
- Peso de bulbo (g). Después del proceso de curado, se seleccionó una muestra representativa de 5 bulbos del área útil, los cuales fueron pesados con una balanza de precisión; el valor obtenido se dividió entre cinco para determinar el peso promedio por bulbo, expresado en gramos. La evaluación se realizó a los 5 días después de la cosecha.
- Rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Se determinó el peso total de la producción de bulbos en tres hileras centrales del área útil, que abarcó 1,98 m^2 , correspondiente a 42 plantas. La misma se efectuó a los 5 días después de la cosecha, una vez finalizado el proceso de curado, y se expresó en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. El rendimiento se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento } (\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}) = \frac{\text{Peso de campo (kg)} \times 10.000 \text{ m}^2}{\text{Unidad experimental (1,98 m}^2\text{)}}$$

3. Zanahoria

- Altura de planta (cm). Se midió desde la superficie del suelo hasta la parte superior de la planta, a los 137 días después de la siembra. La unidad muestral fue de 10 plantas elegidas al azar del área útil, de los valores obtenidos se realizó un promedio general. La medición se realizó utilizando una cinta métrica.
- Largo de raíz (cm). Se evaluó utilizando una regla graduada, midiendo desde 0,5 cm por debajo de la inserción de las hojas hasta la parte inferior (apical) de la raíz. Se consideró una unidad muestral de 10 plantas (raíces) elegidas al azar del área útil, de los valores obtenidos se realizó un promedio general.
- Diámetro de raíz (cm). Se midió en las mismas muestras utilizadas para evaluar el largo de la raíz. El diámetro se determinó a nivel del hombro de la raíz, utilizando un calibrador vernier o forcípula.
- Peso fresco de raíz (g). Se evaluó su peso utilizando una balanza de precisión, considerando la raíz. La unidad muestral fue de 10 plantas (raíces) elegidas al azar, cuyos valores fueron promediados y expresados en gramos/raíz.
- Rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Se cosechó tres hileras centrales del área útil de cada unidad experimental, que abarcó 1,2 m^2 , correspondiente a 42 plantas. Posteriormente se procedió a pesar y obtener el rendimiento en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento (kg}\cdot\text{ha}^{-1}) = \frac{\text{Peso de campo (kg)} \times 10.000 \text{ m}^2}{\text{Unidad experimental (1,2 m}^2\text{)}}$$

4. Lechuga

- Altura de planta (cm): Al momento de la cosecha se determinó en 10 plantas seleccionadas del área útil de cada unidad experimental, midiendo con una cinta métrica, desde el nivel del suelo hasta la parte alta de la hoja. Se evaluó el día de la cosecha a los 70 días después del trasplante (DDT) y los datos obtenidos fueron promediados.
- Número de hojas por planta (unidad). Se determinó en la misma muestra de 10 plantas usadas para medir la altura de planta. Se realizó un conteo manual de las hojas mediante el deshoje completo de cada planta y los datos obtenidos fueron promediados para estimar el número medio de hojas por planta.
- Ancho de lámina foliar (cm). Al momento de la cosecha se seleccionaron cinco hojas representativas de las plantas dentro del área útil de cada unidad experimental. La medición del ancho de la lámina foliar se realizó en la parte media de cada hoja en forma horizontal, midiendo de borde a borde con una cinta métrica milimetrada. Los valores obtenidos fueron promediados.
- Peso fresco por planta (g). Se evaluó al momento de la cosecha, utilizando 10 plantas seleccionadas al azar del área útil de cada unidad experimental. Cada planta fue pesada individualmente en una balanza de precisión, y los valores obtenidos fueron promediados para determinar el peso medio por planta, expresado en g.
- Rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). El peso promedio por planta se obtuvo a partir de las plantas cosechadas en las dos hileras centrales de cada unidad experimental, eliminando dos plantas en cada cabecera para evitar efectos de borde. Con este valor se calculó el rendimiento, considerando la densidad de plantas determinada por el espaciamiento ($0,15 \times 0,33 \text{ m} = 24,5 \text{ pl/m}^2$). El cálculo se realizó mediante la fórmula:

$$\text{Rendimiento (kg}\cdot\text{ha}^{-1}) = \frac{\text{Peso por planta (g/pl)} \times \text{densidad (pl/m}^2\text{)} \times 10.000 \text{ m}^2}{1.000}$$

La recolección de datos se realizó en fechas específicas de cosecha: lechuga el 21 de julio; zanahoria y morrón el 29 de septiembre y cebolla el 21 de octubre.

El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) ajustado al diseño experimental utilizado, empleando el programa estadístico InfoStat® versión 2020 ⁽¹³⁾. Debido a que cada especie presentó variables de respuesta específicas, los análisis estadísticos se realizaron de forma independiente para cada especie, considerando los cuatro niveles de enmienda como tratamientos dentro de un diseño de bloques completos al azar. Para aquellas

variables que presentaron diferencias significativas se aplicó la prueba de separación de medias de Tukey al 5% de probabilidad de error, con el fin de identificar los tratamientos que generaron efectos relevantes sobre las variables evaluadas.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para las variables altura de planta, longitud, diámetro y peso de frutos, así como el rendimiento del morrón. El análisis estadístico indica que no se encontraron diferencias estadísticas significativas en todas las variables evaluadas bajo los distintos niveles de enmienda. No obstante, se observaron tendencias de incremento en la altura de planta y el peso promedio de frutos en los tratamientos con los niveles más elevados, mientras que el diámetro y la longitud presentaron variaciones leves sin un patrón definido. En cuanto al rendimiento, el cultivo alcanzó un promedio de 2.573 kg·ha⁻¹, con los valores más altos asociados a las aplicaciones más elevadas de enmienda.

Estos resultados coinciden parcialmente con lo reportado por ⁽¹⁰⁾, quienes también encontraron una estabilidad en el crecimiento y rendimiento del cultivo de morrón ante la aplicación de enmiendas de origen animal, sin diferencias estadísticas significativas. En ambos casos, se evidencia que el cultivo mantiene un comportamiento productivo relativamente estable frente a distintas dosis de fertilización orgánica. Sin embargo, no concuerdan con lo reportado por ⁽¹⁴⁾, quien encontró que la aplicación de enmiendas de origen animal (estiércol bovino) con mantillo influyó negativamente en la emergencia y el rendimiento de cultivos hortícolas. Esta discrepancia podría atribuirse a diferencias en las condiciones edafoclimáticas, el número de cosechas realizadas, el manejo agronómico o la variedad cultivada.

Tabla 1. Promedios de caracteres morfológicos y productivos del ensayo con el cultivo de morrón bajo cuatro niveles de aplicación de enmiendas orgánicas. General Artigas, Itapúa, Paraguay, 2025.

Evaluación de enmiendas orgánicas: Compost, Paja y Fertilizante, 2020.											
Nº	Nivel de enmienda (kg·ha ⁻¹)	Altura de planta (cm)		Longitud de frutos (cm)		Diámetro de frutos (cm)		Peso de frutos (g)		Rendimiento (kg·ha ⁻¹)	
T1	20.000	40,6		11,8		4,0		67,3		2529	
T2	30.000	37,5		10,0		4,2		90,0		2614	
T3	40.000	43,1		11,5		4,4		107,7		2781	
T4	Testigo	37,2		12,2		4,4		81,7		2366	
Promedio		39,6		11,4		4,2		86,7		2573	
F-calculada		3,57	ns	3,56	ns	2,13	ns	2,27	ns	1,95	ns
CV (%)		6,5		7,64		4,84		22,33		8,34	

Nota: (ns) No Significativo al 5% de probabilidad de error, respectivamente. (CV) Coeficiente de variación.

La Tabla 2 presenta los resultados del análisis de varianza de las variables productivas de cebolla como diámetro de bulbo (cm), peso por bulbo (g) y rendimiento (kg·ha⁻¹) evaluadas bajo distintos niveles de enmienda. Los resultados obtenidos evidenciaron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) en todas las variables evaluadas, lo que indica una respuesta clara del cultivo a las distintas dosis de abono orgánico. Se observó que los tratamientos con enmienda orgánica superaron significativamente al testigo, registrándose incrementos en el diámetro y peso de los bulbos, así como en el rendimiento por hectárea. Además, el peso por bulbo fue superior con los tratamientos T2 y T3 fueron estadísticamente similares entre sí y diferentes a los demás tratamientos, mientras que el rendimiento fue superior con el T3, siendo estadísticamente diferente a los demás tratamientos, en ambas variables se verificó una tendencia creciente conforme aumentó la dosis aplicada, lo que evidencia un efecto positivo del abono sobre la productividad del cultivo de cebolla. Estos resultados coinciden con lo reportado por ⁽⁹⁾, quienes destacan que un adecuado manejo agronómico y la selección del cultivar influyen significativamente en el desarrollo del bulbo de cebolla. En este sentido, la aplicación de enmienda puede considerarse una práctica de manejo clave que contribuye al aumento de la productividad.

Tabla 2. Promedios de caracteres productivos del ensayo con el cultivo de cebolla bajo cuatro niveles de aplicación de enmiendas orgánicas. General Artigas, Itapúa, Paraguay, 2025.

N°	Nivel de enmienda (kg·ha ⁻¹)	Diámetro (cm)		Peso por bulbo (gr)		Rendimiento (kg·ha ⁻¹)	
T1	20.000	2,64	a	53,53	b	8759	c
T2	30.000	2,62	a	60,87	a	8991	b
T3	40.000	2,77	a	61,23	a	9222	a
T4	Testigo	1,87	b	45,53	c	8550	d
	Promedio	2,475		55,29		8880	
	F-calculada	22,01	**	121,03	**	248,36	**
	CV (%)	6,09		2,11		0,36	

Nota: ** Significativo al 1% de probabilidad de error, respectivamente. (CV) Coeficiente de variación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$) por la prueba de Tukey.

En la Tabla 3 se presentan los resultados de la evaluación de los caracteres morfológicos y productivos de la zanahoria, evidenciándose que la aplicación de diferentes niveles de enmienda tuvo un efecto diferencial sobre las variables evaluadas. Se registraron diferencias estadísticas significativas en la altura de planta y el rendimiento, mientras que las características morfológicas de la raíz (largo, diámetro y peso) no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. La altura de planta mostró una tendencia creciente con el incremento del nivel de enmienda, alcanzando su valor máximo en el tratamiento T3 (40.000 kg·ha⁻¹), el cual fue estadísticamente similar al T2 y superior a los tratamientos T1 y T4. En cuanto al rendimiento, el tratamiento T2 presentó el mayor valor, siendo estadísticamente superior al T3, mientras que los tratamientos T1 y T4 no mostraron diferencias significativas entre sí ni con los demás tratamientos. Este comportamiento sugiere la existencia de un nivel óptimo de enmienda para maximizar la productividad del cultivo de zanahoria, lo cual podría explicarse por una respuesta fisiológica diferencial del cultivo, donde incrementos adicionales de enmienda favorecen el crecimiento vegetativo, pero no necesariamente la acumulación de biomasa comercial, evidenciando una eficiencia decreciente en el uso de los nutrientes a dosis elevadas.

Estos resultados coinciden con lo reportado por ⁽¹⁵⁾, quienes señalaron que la fertilización orgánica influye principalmente en el desarrollo vegetativo y el rendimiento del cultivo de zanahoria, mientras que las características de la raíz tienden a mantenerse estables. En ambos estudios se evidencia que la respuesta de las raíces a la enmienda es limitada, lo cual podría estar asociado a factores genéticos del cultivo y a la capacidad del suelo para regular la disponibilidad de nutrientes. Asimismo, los resultados también coinciden con ⁽¹⁶⁾, quienes reportaron que la aplicación de estiércol bovino mejora la disponibilidad de nutrientes en el suelo, favoreciendo el crecimiento y rendimiento de cultivos hortícolas como la zanahoria. En este sentido, la aplicación de enmienda contribuye a mejorar las condiciones edáficas, promoviendo un equilibrio productivo sostenible sin afectar negativamente las características morfológicas del cultivo.

Tabla 3. Promedios de caracteres morfológicos y productivos del ensayo con el cultivo de zanahoria bajo cuatro niveles de aplicación de enmiendas orgánicas. General Artigas, Itapúa, Paraguay, 2025.

N°	Nivel de enmienda (kg·ha ⁻¹)	Altura de planta (cm)		Largo de raíz (cm)		Diámetro raíz (cm)		Peso de raíz (g)		Rendimiento (kg·ha ⁻¹)	
T1	20.000	32,4	bc	15,5		3,5		201		12721	ab
T2	30.000	37,1	ab	17,6		3,8		148		14359	a
T3	40.000	37,7	a	16,9		3,5		144		12308	b
T4	Testigo	29,1	c	13,1		3,2		154		12912	ab
	Promedio	34,1		15,8		3,5		162		13075	
	F-calculada	14,33	**	2,9	ns	3,53	ns	0,95	ns	6,07	*
	CV (%)	5,5		12,68		7,16		28,76		4,8	

Nota: **, * Significativo al 1 y 5% de probabilidad de error, respectivamente. ns No significativo al 5% de probabilidad del error. (CV) Coeficiente de variación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$) por la prueba de Tukey.

La evaluación de los caracteres productivos de lechuga mostró que todas las variables medidas presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0,01$) en respuesta a los niveles de enmienda aplicados, lo que confirma la buena respuesta de este cultivo a la fertilización (Tabla 4). La altura de planta registró los mayores valores en T2 ($30.000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), el cual fue estadísticamente superior a los tratamientos T1, T3 y T4, lo que indica una respuesta moderada a la aplicación intermedia de enmienda. En cuanto al número de hojas por planta, T2 presentó el mayor valor, diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos, lo que refleja una mayor estimulación del crecimiento vegetativo bajo esta dosis. El ancho de lámina foliar evidenció variaciones significativas entre tratamientos, con valores más altos en T3, diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos, aunque sin un patrón lineal respecto al incremento de la enmienda. El peso por planta y el rendimiento por hectárea alcanzaron sus valores más elevados en T2 (250 g/pl y $18990 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, respectivamente), el cual fue estadísticamente superior a los demás tratamientos, confirmando que esta dosis favorece de manera más eficiente la producción del cultivo.

El incremento observado en las variables morfológicas y productivas de la lechuga puede atribuirse al aporte de materia orgánica y nutrientes esenciales provenientes de la enmienda aplicada, especialmente nitrógeno, fósforo y potasio, elementos clave para el crecimiento vegetal. En este sentido, ⁽¹⁷⁾ señalan que, aunque la enmienda orgánica aporta diversos nutrientes, estos no siempre se encuentran en proporciones balanceadas, destacándose un orden de disponibilidad de macronutrientes $\text{N} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$ y de micronutrientes $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu}$. Esta condición influye directamente en la respuesta del cultivo, ya que el nitrógeno favorece el desarrollo vegetativo, mientras que el fósforo y el potasio participan en procesos de crecimiento, formación de tejidos y acumulación de biomasa. Asimismo, la materia orgánica mejora la estructura del suelo y la capacidad de retención de agua, además de estimular la actividad biológica, lo que facilita la mineralización de nutrientes y su posterior absorción por la planta, explicando así las mejoras observadas en el crecimiento y rendimiento de la lechuga.

Estos resultados coinciden con lo reportado por ⁽¹⁸⁾, quienes observaron que dosis elevadas de fertilización pueden incrementar ciertos parámetros morfológicos sin generar mejoras proporcionales en el rendimiento. En ambos estudios se evidencia la importancia de identificar dosis óptimas de abono que permitan maximizar la eficiencia productiva del cultivo. También concuerda con lo reportado por ⁽¹⁹⁾, quienes, al evaluar tres cultivares de lechuga arropollada sobre diferentes tipos de cobertura de suelo y aplicando $12.000 \text{ kg ha}^{-1}$ de estiércol vacuno bien descompuesto complementado con fertilización base NPK, observaron que el plástico bicolor plateado/negro favoreció el mayor peso fresco por planta ($322,92 \text{ g}$). Aunque dicho estudio tuvo como objetivo principal evaluar el efecto de la cobertura del suelo, los resultados respaldan que un adecuado manejo agronómico, asociado al aporte de nutrientes mediante enmiendas orgánicas, contribuye a incrementar la producción de biomasa y el rendimiento del cultivo de lechuga.

Tabla 4. Promedios de caracteres morfológicos y productivos del ensayo con el cultivo de lechuga bajo cuatro niveles de aplicación de enmiendas orgánicas. General Artigas, Itapúa, Paraguay, 2025.

Evaluación de Enmiendas Orgánicas: General (Frijol, Nopal y Pimiento) 2020											
N°	Nivel de enmienda (kg·ha ⁻¹)	Altura de planta (cm)		N° de hojas/pl	Ancho de lámina foliar (cm)		Peso/pl (g)		Rendimiento (kg·ha ⁻¹)		
T1	20.000	19,5	c	22	b	18,0	b	140	d	10550	c
T2	30.000	21,5	a	31	a	15,3	c	250	a	18990	a
T3	40.000	20,6	b	23	b	19,0	a	215	b	15550	b
T4	Testigo	20,0	bc	24	b	15,8	c	165	c	10000	c
Promedio		20,4		25		17,0		193		13773	
F-calculada		35,52	**	46,15	**	138,19	**	29300	**	350,98	**
CV (%)		1,23		4,16		1,53		0,26		2,87	

Nota: **Significativo al 1% de probabilidad de error. (CV) Coeficiente de variación. (CV) Coeficiente de variación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) por la prueba de Tukey.

CONCLUSIONES

La aplicación de la enmienda influyó en el comportamiento agronómico de las especies hortícolas evaluadas, evidenciándose que su efecto dependió del cultivo y de la variable analizada.

Los niveles de 30.000 y 40.000 kg·ha⁻¹ ejercieron los mayores efectos sobre el crecimiento y la productividad de cebolla y lechuga, mientras que en zanahoria el nivel de 30.000 kg·ha⁻¹ presentó la mejor respuesta productiva. En el cultivo de morrón, los niveles de enmienda evaluados no ejercieron un efecto significativo sobre las variables analizadas.

La aplicación de la enmienda orgánica compuesta por una mezcla en partes iguales de estiércol bovino y mantillo de bosque constituye una alternativa viable para mejorar el desempeño agronómico de los cultivos hortícolas, permitiendo optimizar su crecimiento y productividad mediante niveles adecuados de aplicación, sin que dosis superiores impliquen necesariamente una mayor respuesta productiva.

Declaración de financiamiento:	La presente investigación se llevó a cabo con financiación del Rectorado de la Universidad Nacional de Itapúa (UNI).
Declaración de conflicto de intereses:	Los autores declaran no tener conflictos de interés.
Declaración de autores:	Los autores aprueban la versión final del artículo.
Contribución de autores:	Conceptualización: LQ, Curación de datos: LQ, Análisis formal: LQ, RD, Adquisición de fondos: LQ, Investigación: RD, Metodología: AM, Administración del proyecto: LQ, Recursos: FVR, GRR, GC, Software: RD, Supervisión: MA, FVR, RD, Validación: LQ, Redacción - borrador original: LQ, RD, GRR, Redacción - revisión y edición: RD.
Agradecimientos:	A la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales (FaCAF) de la Universidad Nacional de Itapúa, por facilitar el predio y las condiciones necesarias para la ejecución del ensayo, contribuyendo de manera significativa al desarrollo de la investigación.
Revisión por pares:	Este artículo fue evaluado mediante un proceso de revisión por pares anónimos, conforme al procedimiento de transparencia editorial de la revista. Las observaciones y sugerencias de los revisores fueron consideradas por los autores hasta alcanzar la versión final publicada, garantizando la integridad científica del trabajo y la confidencialidad de los evaluadores.
Disponibilidad de datos:	Los datos están disponibles previa solicitud al autor correspondiente.

REFERENCIAS

- Unión de Gremios de Producción. Agricultura familiar: el 56% de la producción se da en fincas de hasta cinco hectáreas; 2024. Disponible en: <https://www.ugp.org.py/2024/01/05/agricultura-familiar-el-56-de-la-produccion-se-da-en-fincas-de-hasta-cinco-hectareas/>
- Bender I, Edesi L, Hiiesalu I, Ingver A. Organic carrot (*Daucus carota* L.) production has an advantage over conventional in quantity as well as in quality. *Agronomy*. 2020;10(9). Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/9/1420>
- Frutos L. Verde que te quiero verde: crece producción de locote (pero demanda aún supera a oferta). *Infonegocios*. 2023.
- Enciso-Garay CP, Vera Ojeda PA, Santacruz Toledo AR, González Villalba JD. Guía técnica cultivo de cebolla San Lorenzo; 2019.
- Genit D, Lima P, Parra C, Ríos M, Vuyk C, Closs A. Alternativas sostenibles y eficientes para potenciar a la capital de la Zanahoria; 2024. Disponible en: <https://www.undp.org/es/paraguay/blog/alternativas-sostenibles-y-eficientes-para-potenciar-la-capital-de-la-zanahoria>
- Enciso Garay CR, Santacruz Oviedo VR, Godoy N, Caballero CA. Agronomic behavior of American lettuce cultivars in the Central department of Paraguay. *Horticultura Argentina*. 2019;38(97). Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/338171338_Agronomic_behavior_of_American_lettuce_cultivars_in_the_Central_department_of_Paraguay Comportamiento agronomico de cultivares de lechuga americana en el departamento Central de Paraguay

7. Zubillaga Acosta SB. Desarrollo sostenible del sistema productivo hortícola del Departamento Central, Paraguay: Estudio de caso del Comité de Agricultores de la Compañía Costa Fleitas de Itauguá [Tesis de postgrado]. San Lorenzo: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción; 2017.
8. Rasche Alvarez, JW, González Mereles A, Ferreira Gómez A, Ruiz Samudio FP, Fatecha Fois DA. Fertilización mineral y orgánica en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el Distrito de Caazapá. Revista de Investigación Científica y Tecnológica. 2025;9(1). Disponible en: <https://revista.serrana.edu.py/riict/article/view/738>
9. Pintos Morínigo MG, Ortiz Brítez JA. Efecto del método de siembra sobre dos cultivares de cebolla (*Allium cepa* L.) en un suelo arenoso [Tesis de grado]. General Artigas: Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Nacional de Itapúa; 2019.
10. Mieres JF, Casco Benitez JI. Productividad de cultivares de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en campo abierto en el distrito de Coronel Bogado [Tesis de Grado]. General Artigas: Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Nacional de Itapúa; 2025.
11. Muller, A., Schader, C, El-Hage Scialabba, N, Brüggemann, J, Isensee, A, Erb, K, Smith, P, Klocke, P, Leiber, F, Stolze, M, Niggli, U. Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. Nature Communications. 2017;8(1):1290. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29138387/>
12. Tuomisto HL, Hodge ID, Riordan P, Macdonald DW. Does organic farming reduce environmental impacts? -A meta-analysis of European research. Journal of Environmental Management. 2012;112:309-320. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479712004264>
13. Di Rienzo JA, Balzarini M, Gonzalez L, Casanoves F, Tablada M, Robledo, CW. InfoStat versión 2020. Córdoba: FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Grupo InfoStat; 2020.
14. Larkin RP. Effects of selected soil amendments and mulch type on soil properties and productivity in organic vegetable production. Agronomy. 2020;10(6). Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/6/795>
15. López Villalba MG, Duarte Chávez FG. Eficacia de herbicidas post-emergentes en el control de malezas en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) variedad "brasilia" [Tesis de grado]. General Artigas: Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Nacional de Itapúa; 2023.
16. Aina OE, Mugivhisa LL, Olowoyo JO, Obi LC. Evaluation of mineral contents of lettuce and carrot harvested from soil treated with organic and inorganic fertilizers. Agriculture. 2025;15(6). Disponible en: <https://www.mdpi.com/2077-0472/15/6/656>
17. Da Costa Ferreira, DA, Da Silva Dias, N, Da Costa Ferreira, AK, Lima Vasconcelos, CB, De Sousa Junior, FS, Nasciiento Porto, VC, Dos Santos Fernandez, C, Navarro Vásquez, MA. Effect of organic residue compost made from household waste, plant residues and manure on the growth of lettuce. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 2018;12(2):464-467. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-21732018000200464
18. Amarilla JI, Florentin Gimenez AN. Evaluación de cuatro densidades poblacionales de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. *isabela*) en suelo arenoso de General Artigas [Tesis de grado]. General Artigas: Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Nacional de Itapúa; 2025.
19. Batte, HD, Enciso-Garay, CP, Santacruz Oviedo, VR. Producción de cultivares de lechuga arrepollada con diferentes tipos de cobertura de suelo en invierno –primavera. Rev. Soc. cient. Parag. 2024;29(1):01-21. Disponible en: https://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2617-47312024000100001&lng=en&nrm=iso&tlng=es