

Uso de lombricomposta para reducir fertilizantes sintéticos en el cultivo de chile jalapeño

Using vermicompost to reduce synthetic fertilizers in jalapeño pepper cultivation

Felipe Ayala-Tafoya¹ , José Carlos Valdez-Islas¹ , José Vladimir Rosales-Avitia¹ , Juan Martín Parra-Delgado¹ , Marino Valenzuela-López¹ , Moisés Gilberto Yáñez-Juárez^{1*} 

¹Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa. Carretera Culiacán-Eldorado km 17.5, Apartado Postal 25, CP 80000. Culiacán Rosales, Sinaloa. México.

*Autor de correspondencia: moisesyj@uas.edu.mx

Artículo científico

Recibido: 21 de septiembre 2024

Aceptado: 13 de junio 2025

RESUMEN. En la agricultura contemporánea, el paradigma emergente es reducir o eliminar el uso de fertilizantes sintéticos que impactan de manera adversa en el ambiente. El uso de compostas constituye una estrategia para mejorar la eficiencia en la nutrición con cantidades reducidas de fertilizantes sintéticos. El objetivo de la investigación fue conocer la capacidad que posee una lombricomposta para reducir la fertilización sintética utilizada en el cultivo de chile jalapeño. Se utilizó un diseño de bloques al azar con seis tratamientos y seis repeticiones. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, diámetro de tallo, índice de verdor foliar, índice de área foliar, producción de biomasa seca por planta y rendimiento de frutos. Los tratamientos que combinaron la aplicación de 10 t ha⁻¹ de lombricomposta con 25 (T4), 50 (T3) y 75% de fertilizantes sintéticos (T2) indujeron efectos de altura de planta, diámetro de tallo, verdor foliar e índice de área foliar, similares a los obtenidos con el tratamiento testigo, con 100% de fertilización sintética (T1). No obstante, el efecto promedio de T2, T3 y T4 fue incrementar el peso seco por planta en 113.6%, el número de frutos por planta en 72.1%, el rendimiento total en 100.6% y el rendimiento de frutos de tamaño grande en 21.3%, comparado con el efecto del tratamiento testigo (T1). La aplicación al suelo de 10 t ha⁻¹ de lombricomposta viabiliza la reducción de fertilizantes sintéticos, desde 25 hasta 75%, en chile jalapeño cultivado bajo condiciones de casa sombra.

Palabras clave: *Capsicum annuum* L., lombricomposta, fertilización sintética, crecimiento vegetal, rendimiento de frutos.

ABSTRACT. In contemporary agriculture, the emerging paradigm is to reduce or eliminate the use of synthetic fertilizers that adversely impact the environment. The use of composts constitutes a strategy to improve the efficiency of nutrition with reduced amounts of synthetic fertilizers. The objective of the research was to determine the capacity of vermicompost to reduce synthetic fertilization used in jalapeño pepper cultivation. A randomized block design with six treatments and six repetitions was used. The variables evaluated were plant height, stem diameter, leaf greenness index, leaf area index, dry biomass production per plant and fruit yield. The treatments that combined the application of 10 t ha⁻¹ of vermicompost with 25 (T4), 50 (T3) and 75% of synthetic fertilizers (T2) induced effects on plant height, stem diameter, leaf greenness and leaf area index, like those obtained with the control treatment, with 100% synthetic fertilization (T1). However, the average effect of T2, T3 and T4 was to increase the dry weight per plant by 113.6%, the number of fruits per plant by 72.1%, the total yield by 100.6% and the yield of large-sized fruits by 21.3%, compared to the effect of the control treatment (T1). The application of 10 t ha⁻¹ of vermicompost to the soil enables the reduction of synthetic fertilizers, from 25 to 75%, in jalapeño pepper grown under shade house conditions.

Key words: *Capsicum annuum* L., fruit yield, plant growth, synthetic fertilization, vermicompost.

Como citar: Ayala-Tafoya F, Valdez-Islas JC, Rosales-Avitia JV, Parra-Delgado JM, Valenzuela-López M, Yáñez-Juárez MG (2025) Uso de lombricomposta para reducir fertilizantes sintéticos en el cultivo de chile jalapeño. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(2): e4328 DOI: 10.19136/era.a12n2.4328.

INTRODUCCIÓN

México es reconocido como centro de origen, domesticación y diversificación de cultivos agrícolas de importancia mundial. Entre estas especies destaca el chile (*Capsicum annuum* L.), particularmente el tipo Jalapeño uno de los más sembrados en el país debido a su amplia diversidad de usos que tiene y su importancia como saborizante en la cocina mundial (Espinosa-Palomeque *et al.* 2020, Uzcanga *et al.* 2020). En 2023, la superficie total cultivada de chile verde fue de 173 869 hectáreas, con una producción de 3.68 millones de toneladas y un rendimiento promedio de 21.26 t ha⁻¹. Los estados de Chihuahua, Sinaloa, Zacatecas y San Luis Potosí fueron los principales estados productores, de esta superficie, 3 648 ha correspondieron a siembras bajo malla sombra, con producción de 317 208 t, y un rendimiento promedio de 86.96 t ha⁻¹ (SIAP 2025).

El uso de fertilizantes sintéticos ha sido fundamental para responder a la creciente demanda de alimentos. No obstante, su uso excesivo y recurrente ha generado impactos negativos en la calidad de los suelos, los ecosistemas y de la salud humana (Castellanos *et al.* 2017). Ante este panorama, se ha impulsado el uso sustentable de los recursos, entre los que destaca la aplicación de lombricomposta como una alternativa viable (Encines-Chaidez *et al.* 2022).

La lombricomposta se genera mediante la degradación de residuos orgánicos facilitada por las lombrices de tierra (Manzoor *et al.* 2024). Su aplicación ha demostrado beneficios al incrementar los rendimientos en condiciones climáticas variables, favorecer la resistencia al estrés abiótico, y reducir la incidencia de plagas y enfermedades (Vambe *et al.* 2023). Además, contribuye a restituir la materia orgánica en los suelos y mejora sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Islam *et al.* 2017, Zhao *et al.* 2017). Este abono orgánico es fuente de nutrientes solubles, enzimas, bacterias beneficiosas, ácidos húmicos y fúlvicos, así como fitohormonas que estimulan el crecimiento y rendimiento de los cultivos agrícolas (Zhang *et al.* 2014, Aremu *et al.* 2015, Beltrán-Morales *et al.* 2019, Saha *et al.* 2019, Wong *et al.* 2020, Salma *et al.* 2022).

El uso de lombricomposta representa una alternativa prometedora para la recuperación de la fertilidad del suelo y sugiere beneficios en esquemas de fertilización integral en combinación con fertilizantes sintéticos (Chatterjee *et al.* 2021, Díaz-José *et al.* 2023, Zhu *et al.* 2024). Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la capacidad de una lombricomposta para reducir el uso de fertilizantes sintéticos en el cultivo de chile jalapeño.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

La investigación se realizó durante el otoño-invierno de los ciclos agrícolas 2019-2020 y 2020-2021, bajo condiciones de casa sombra en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, en las coordenadas 24° 37' 30" LN, 107° 26' 30" LO y una altitud de 38.54 m. El suelo del área experimental es de textura arcillosa, contenido pobre de materia orgánica y pH alcalino (Tabla 1). La radiación solar (ceptómetro LP-80, Decagon) promedió 23.7 mol m⁻² d⁻¹, 38% menos con respecto a la integral de luz diaria exterior. Las medias de temperatura (21.9 °C) y humedad relativa (69.5%) registradas durante los dos ciclos de cultivo, mediante termohigrómetros (DT171,

Twilight), estuvieron dentro de los intervalos óptimos (20 a 25 °C y 60 a 70%) para el cultivo de chile (SIAP 2025).

Tabla 1. Características fisicoquímicas y microbiológicas del suelo y la lombricomposta utilizados en el experimento.

Parámetro		Suelo ¹	Lombricomposta ²
Porcentaje de saturación (PS)	(%)	79.00 ^{§§}	96.00 ^{§§}
Potencial de hidrógeno (pH)		7.86 ^{§§}	5.97
Conductividad eléctrica (CE)	(dS m ⁻¹)	0.58 [§]	5.98 ^{§§}
Relación de absorción de sodio (RAS)		1.77	0.17
Porcentaje se sodio intercambiable (PSI)		1.33	-1.02
Densidad aparente (DA)	(g cm ⁻³)	-	0.56
Humedad	(%)	-	37.26
Cenizas	(%)	-	73.51
Relación carbono/nitrógeno (C/N)		-	10.20
Materia orgánica (MO)	(%)	1.21 [§]	26.49
Nitrógeno total (NT)	(%)	-	1.67
Arena	(%)	21.00	77.00
Limo	(%)	20.00	16.00
Arcilla	(%)	59.00	7.00
Sodio (Na ⁺)	(mmol L ⁻¹)	2.20	0.91
Potasio (K ⁺)	(mmol L ⁻¹)	0.22 [§]	2.11 ^{§§}
Calcio (Ca ²⁺)	(mmol L ⁻¹)	2.32 [§]	43.16 ^{§§}
Magnesio (Mg ²⁺)	(mmol L ⁻¹)	0.78 [§]	13.57 ^{§§}
Suma de cationes		5.52	59.75
Nitratos (NO ₃ ⁻)	(mmol L ⁻¹)	0.97 [§]	3.40
Fosfatos (PO ₄ ⁻)	(mmol L ⁻¹)	0.06 [§]	0.29
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	(mmol L ⁻¹)	0.12 [§]	50.43 ^{§§}
Cloruros (Cl ⁻)	(mmol L ⁻¹)	2.20	3.60
Carbonatos (CO ₃ ²⁻)	(mmol L ⁻¹)	0.00	0.00
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	(mmol L ⁻¹)	2.76	2.16
Suma de aniones		6.11	59.88
Bacterias aeróbicas (ufc g ⁻¹)	(ufc g ⁻¹)	266 667.00	3 400 000.00
Bacterias anaeróbicas (ufc g ⁻¹)	(ufc g ⁻¹)	116 667.00	913 333.00
Bacillus sp. (ufc g ⁻¹)	(ufc g ⁻¹)	243 333.00	1 666 667.00
Actinomicetos (propágulos g ⁻¹)	(propágulos g ⁻¹)	100 000.00	233 333.00

Según las normas oficiales mexicanas: ¹NOM-021-RECNAT-2000 y ²NMX-FF-109 SCFI-2008, que establecen las especificaciones y métodos de prueba de suelo y lombricomposta, respectivamente. Resultados por debajo (§) y por encima (§§) de los respectivos niveles de referencia.

Manejo agronómico

La preparación del suelo consistió en barbecho, rastreo y formación de camas hortícolas con 1.8 m de separación, las cuales se cubrieron con acolchado de polietileno coextruido blanco sobre negro. La producción de plántula (Baluarte, Marseed) se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero, en charolas de 200 cavidades con turba como sustrato. El trasplante se realizó el 15 de octubre, en

ambos ciclos de cultivo, con una separación entre plantas de 0.4 m, a hilera doble, para una densidad de 27 778 plantas por hectárea.

La lombricomposta, obtenida con lombriz *Eisenia fetida* Sav. a partir de estiércol vacuno compostado, fue incorporada al suelo humedecido a razón de 10 t ha⁻¹, 40 días antes del trasplante. Las características fisicoquímicas y microbiológicas del suelo y lombricomposta fueron analizadas de acuerdo con NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT 2000) y NMX-FF-109-SCFI-2008 (SE 2008), respectivamente, cuyos resultados se presentan en la Tabla 1.

La fertilización sintética, mediante fosfonitrato 33-03-00, fosfato monoamónico 12-61-00, nitrato de potasio 12-00-46, nitrato de calcio 15.5-00-00-19 Ca, y sulfato de magnesio 00-00-00-16.3 Mg-12.9 S, fue dosificada mediante un sistema de riego por goteo. La aplicación de la solución nutritiva o solo agua se realizó cuando los tensiómetros (2725ARL, Soilmoisture Equipment), colocados a 30 cm de profundidad del suelo, indicaron tensión de humedad de 20 a 25 kPa. La fertilización con 100% de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre fue de 298.2, 63.4, 216.2, 100.8, 28.7 y 26.8 kg ha⁻¹, respectivamente.

El manejo fitosanitario consistió en la aplicación periódica de compuestos biorracionales, tales como extracto de *Azadirachta indica*, 0.75 L ha⁻¹ (Bleem 30, Ecoprotecto); extracto de *Cinnamomum zeylanicum*, 3.0 L ha⁻¹ (Agri-Cinna, Ecoprotecto); sales potásicas de ácidos grasos, 2.0 L ha⁻¹ (Ultralux S, PIT), para el control de mosca blanca (*Bemisia tabaci*). Para el control de la cenicilla (*Leveillula taurica*), se utilizaron fosfito de potasio, 2.0 L ha⁻¹ (Fosfimax, Adama); bicarbonato de potasio, 1.5 kg ha⁻¹ (Mil Stop plus, PHC); y extracto de *Larrea tridentata*, 2.0 L ha⁻¹ (Fubagro, Ecoprotecto).

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con seis tratamientos y seis repeticiones. Los tratamientos: T1 (TESP) = testigo positivo con 100% de fertilización sintética; T2 (75FS+10LC) = 75% de fertilización sintética + 10 t ha⁻¹ de lombricomposta; T3 (50FS+10LC) = 50% de fertilización sintética + 10 t ha⁻¹ de lombricomposta; T4 (25FS+10LC) = 25% de fertilización sintética + 10 t ha⁻¹ de lombricomposta; T5 (10LC) = 10 t ha⁻¹ de lombricomposta, sin fertilización sintética; y T6 = testigo negativo (TESN), sin fertilización sintética u orgánica, se establecieron en 400 m² de área experimental. Como parcela útil se tuvo una cama de cultivo de 5 m de largo (9 m²) e intervalos de 1 m de largo en cada extremo para evitar el efecto borde.

Variables evaluadas

A los 105 días después del trasplante (ddt) de cada ciclo de cultivo se midió, en cuatro plantas por repetición, la altura de planta (cinta métrica), diámetro de tallo (calibrador vernier 6MP, Truper) e índice de verdor foliar (medidor de clorofila SPAD 502, Konica Minolta). También se obtuvo el índice de área foliar (ceptómetro LP-80, Decagon) y la producción de biomasa seca por planta: hoja, tallo y raíz, al final de ambos ciclos de cultivo (120 ddt). El material vegetal se secó a 70 °C (horno FE-292, Felisa), hasta peso seco constante (balanza analítica V12140, Ohaus®).

Para determinar el rendimiento de chile jalapeño se consideró la longitud (cm), diámetro (cm) y peso (g) de los frutos (balanza CP622, Sartorius), los cuales fueron clasificados en los tamaños: chico (3 a 4.9 cm, 2.5 a 2.9 cm, < 15 g), mediano (5 a 7.5 cm, 3 a 4.5 cm, 15.1 a 24.9 g), grande (7.6 a 9 cm, 3

a 4.5 cm, 25 a 35 g) y extragrande (> 9 cm, 3 a 4.5 cm, > 35 g), de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-FF-025-SCFI-2014 (SE 2015).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de cada variable, promedio de dos ciclos de cultivo, fueron sometidos al análisis de varianza y la prueba de comparaciones múltiples de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) con el software para análisis estadístico STATISTICA versión 7.

RESULTADOS

Crecimiento de plantas

Las variables analizadas fueron influidas de forma significativa por los tratamientos (Tabla 2). El promedio de la altura de planta obtenida con los tratamientos 25FS+10LC, 50FS+10LC y 75FS+10LC superó en 17.2 y 28.4% a la alcanzada por las plantas de 10LC y TESN, respectivamente, pero sin diferencia significativa con la conseguida con TESP. Mientras que, el promedio de diámetro de tallo inducido por los tratamientos TESP, 75FS+10LC, 50FS+10LC y 25FS+10LC fue superior en 14.8% comparado con las plantas de TESN, aunque estadísticamente igual con las plantas manejadas solo con lombricomposta (10LC).

Tabla 2. Efecto de 100 (TESP), 75, 50 y 25% de fertilizantes sintéticos (FS) y 10 t ha⁻¹ de lombricomposta (LC) sobre la altura de planta, diámetro de tallo, índice de verdor e índice de área foliar de plantas de chile jalapeño.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Índice de verdor (valores spad)	Índice de área foliar
TESP	93.7 ± 3.1 ^{ab*}	12.6 ± 0.5 ^a	60.5 ± 1.3 ^{ab}	2.54 ± 0.06 ^a
75FS+10LC	97.4 ± 2.7 ^a	12.8 ± 0.3 ^a	62.4 ± 0.6 ^a	2.54 ± 0.23 ^a
50FS+10LC	96.9 ± 0.9 ^a	12.6 ± 0.3 ^a	61.0 ± 1.1 ^{ab}	2.61 ± 0.12 ^a
25FS+10LC	96.9 ± 2.4 ^a	12.5 ± 0.1 ^a	60.3 ± 0.6 ^{ab}	2.54 ± 0.21 ^a
10LC	82.8 ± 4.2 ^{bc}	12.0 ± 0.4 ^{ab}	50.8 ± 5.4 ^{bc}	1.27 ± 0.08 ^b
TESN	75.6 ± 6.8 ^c	11.0 ± 0.9 ^b	44.5 ± 2.5 ^c	1.10 ± 0.12 ^b

*Medias ± error estándar con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). TESP (testigo positivo), TESN (testigo negativo).

El índice de verdor foliar obtenido en las plantas tratadas con 75FS+10LC fue 22.8 y 40.2% más intenso que en las plantas de 10LC y TESN, respectivamente; pero sin diferencias con respecto al efecto ocasionado por los tratamientos TESP, 50FS+10LC y 25FS+10LC. Por su parte, el índice de área foliar (IAF) causado por TESP, 75FS+10LC, 50FS+10LC y 25FS+10LC fue estadísticamente igual y, en promedio, superó desde 101.4 hasta 132.5% al IAF de las plantas cultivadas con 10LC y del tratamiento TESN, respectivamente.

En general, los valores más altos de peso seco de planta entera (PSP), hojas (PSH), tallos (PST) y raíces (PSR), obtenidos al final del ciclo de cultivo (122 ddt), fueron inducidos por los tratamientos 25FS+10LC, 50FS+10LC y 75FS+10LC (Tabla 3). Estos, estadísticamente iguales entre sí, en promedio superaron a los valores de PSP, PSH, PST y PSR causados por el tratamiento TESP en 113.6, 144.1, 78.7 y 109.8%, respectivamente.

Tabla 3. Efecto de 100 (TESP), 75, 50 y 25% de fertilizantes sintéticos (FS) y 10 t ha⁻¹ de lombricomposta (LC) sobre el peso seco de planta entera, tallos, hojas y raíces de chile jalapeño.

Tratamiento	Peso seco (g)			
	Planta entera	Tallos	Hojas	Raíces
TESP	63.6 ± 3.9 ^{b*}	28.8 ± 1.0 ^b	23.9 ± 3.7 ^{bc}	10.9 ± 0.5 ^b
75FS+10LC	125.9 ± 5.9 ^a	65.8 ± 4.8 ^a	36.9 ± 4.5 ^{ab}	23.2 ± 0.3 ^a
50FS+10LC	134.2 ± 15.6 ^a	68.2 ± 9.0 ^a	43.1 ± 5.9 ^a	22.9 ± 0.9 ^a
25FS+10LC	147.5 ± 7.2 ^a	76.9 ± 3.8 ^a	48.1 ± 4.6 ^a	22.5 ± 1.7 ^a
10LC	33.5 ± 2.4 ^{bc}	18.2 ± 1.9 ^b	8.6 ± 1.0 ^{cd}	6.7 ± 0.4 ^c
TESN	24.5 ± 3.7 ^c	14.5 ± 2.5 ^b	6.7 ± 1.0 ^d	3.3 ± 0.3 ^c

*Medias ± error estándar con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). TESP (testigo positivo), TESP (testigo negativo).

Producción de frutos

Los componentes del rendimiento analizados fueron significativamente influidos por los tratamientos (Tabla 4). El peso de fruto causado con 25FS+10LC solamente superó al inducido por TESP, en 45.9%, pero sin diferencias con el efecto de los demás tratamientos. En cuanto al número de frutos producidos por planta, los tratamientos 25FS+10LC, 75FS+10LC y 50FS+10LC superaron en 82.9, 75.9 y 57.6% al generado por las plantas del TESP. El mayor peso de frutos por planta se logró con 25FS+10LC, el cual superó en 33.8 y 135% a la producción por planta ocasionada por 50FS+10LC y TESP, respectivamente, pero sin diferencias con la producción obtenida con 75FS+10LC.

Tabla 4. Efecto de 100 (TESP), 75, 50 y 25% de fertilizantes sintéticos (FS) y 10 t ha⁻¹ de lombricomposta (LC) sobre el peso medio de fruto, número y peso de frutos por planta de chile jalapeño.

Tratamiento	Peso de fruto (g)	Frutos/planta (#)	Peso de frutos/planta (g)
TESP	23.6 ± 0.9 ^{ab*}	25.7 ± 1.9 ^b	600.3 ± 31.3 ^c
75FS+10LC	27.1 ± 1.0 ^{ab}	45.2 ± 2.2 ^a	1219.2 ± 46.7 ^{ab}
50FS+10LC	25.9 ± 0.8 ^{ab}	40.5 ± 6.6 ^a	1053.8 ± 172.1 ^b
25FS+10LC	30.5 ± 1.5 ^a	47.0 ± 3.4 ^a	1410.5 ± 60.1 ^a
10LC	26.7 ± 2.6 ^{ab}	11.5 ± 1.7 ^{bc}	293.3 ± 36.8 ^{cd}
TESN	20.9 ± 2.1 ^b	8.7 ± 1.7 ^c	174.8 ± 27.0 ^d

*Medias ± error estándar con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). TESP (testigo positivo), TESP (testigo negativo).

El rendimiento total con calidad comercial obtenido con los tratamientos 25FS+10LC, 50FS+10LC y 75FS+10LC, estadísticamente iguales entre sí, superó en 121, 91.3 y 89.5% al rendimiento conseguido con TESP, respectivamente. Con las mismas combinaciones de fertilización sintética y lombricomposta se obtuvieron 67.5, 69.8 y 38.8% más jalapeño de tamaño mediano, también 181.9, 128.9 y 159% más jalapeño grande, y 511.1, 122.2 y 222.2% más jalapeño extragrande, comparados con los respectivos rendimientos obtenidos con TESP (Tabla 5).

Tabla 5. Efecto de 100 (TESP), 75, 50 y 25% de fertilizantes sintéticos (FS) y 10 t ha⁻¹ de lombricomposta (LC) sobre el rendimiento total y de tamaños comerciales de chile jalapeño.

Tratamiento	Rendimiento (t ha ⁻¹)				
	Total	Chico	Mediano	Grande	Extragrande
TESP	22.9 ± 1.4 ^{b*}	1.2 ± 0.6 ^a	12.6 ± 1.3 ^{ab}	8.3 ± 0.6 ^b	0.9 ± 0.6 ^b
75FS+10LC	43.4 ± 2.1 ^a	1.5 ± 0.5 ^a	17.5 ± 2.2 ^a	21.5 ± 1.4 ^a	2.9 ± 0.9 ^{ab}
50FS+10LC	43.8 ± 4.5 ^a	1.4 ± 0.6 ^a	21.4 ± 4.2 ^a	19.0 ± 1.8 ^a	2.0 ± 0.7 ^{ab}
25FS+10LC	50.6 ± 1.9 ^a	0.6 ± 0.3 ^a	21.1 ± 3.3 ^a	23.4 ± 1.2 ^a	5.5 ± 2.2 ^a
10LC	8.1 ± 1.3 ^c	0.4 ± 0.2 ^a	3.7 ± 1.0 ^b	3.8 ± 1.6 ^{bc}	0.2 ± 0.2 ^b
TESN	5.1 ± 0.7 ^c	1.0 ± 0.7 ^a	2.2 ± 0.6 ^b	2.0 ± 0.8 ^c	0.0 ± 0.0 ^b

*Medias ± error estándar con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). TESP (testigo positivo), TESN (testigo negativo).

DISCUSIÓN

Crecimiento de plantas

La promoción del crecimiento en altura de planta y diámetro de tallo, inducida por TESP y los tratamientos con reducción de 25 a 75% de fertilizantes sintéticos, complementados con 10 t ha⁻¹ de lombricomposta (75FS+10LC, 50FS+10LC y 25FS+10LC), sin diferencia estadística entre sí, se puede explicar por el contenido de nutrientes minerales altamente asimilables: N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, entre otros (Beltrán-Morales *et al.* 2019,) y a las propiedades microbianas de la lombricomposta (Castellanos *et al.* 2017, Islam *et al.* 2017, Encines-Chaidez *et al.* 2022). Estas propiedades proporcionan una importante capacidad para estimular el crecimiento de las plantas, atribuida a las sustancias promotoras del crecimiento vegetal (SPCV), que incluyen humus, fitohormonas (auxinas, citoquininas y giberelinas) y otras sustancias (Zhang *et al.* 2014, Aremu *et al.* 2015, Wong *et al.* 2020). Los nutrientes minerales y SPCV no solo están presentes inicialmente en la lombricomposta aplicada al suelo, sino que también continúan liberándose desde la materia orgánica sometida a la transformación microbiana (Zhao *et al.* 2020). Además, la aplicación de lombricomposta favorece un balance endógeno de citoquininas, con otras fitohormonas, lo que induce engrosamiento del tallo, ya que estas hormonas son reguladores importantes de la proliferación celular dentro del cambium vascular (Matsumoto-Kitano *et al.* 2008, Yong *et al.* 2014).

El índice de verdor foliar más alto registrado en las plantas de los tratamientos TESP, 75FS+10LC, 50FS+10LC y 25FS+10LC, sin diferencias estadísticas entre sí, lo que sugiere una mayor concentración de clorofila en las hojas y un mejor estado nutricional general (Ayala-Tafoya *et al.* 2020, Soto-Bravo y Angulo-Guillén 2024). Mientras que, el disminuido valor spad observado en plantas del tratamiento 10LC ocurrió debido a la paulatina reducción de nutrimentos en el suelo aportados desde la lombricomposta.

La equiparable promoción del índice de área foliar ejercida por los tratamientos 75FS+10LC, 50FS+10LC, 25FS+10LC y TESP, indica que, la aplicación de 10 t ha⁻¹ de lombricomposta suplió desde 25 hasta 75% de la fertilización sintética necesaria para originar cubiertas vegetales capaces

de interceptar una cantidad similar de radiación fotosintéticamente activa. Al respecto Elizondo (2017) indica que, para algunas variedades mejoradas de *Capsicum*, la altura de planta se asocia con mayor rendimiento cuando está relacionada con un incremento en el número de nudos y mejor intercepción de radiación solar. El índice de área foliar está estrechamente relacionado con la intercepción de radiación solar y por lo tanto, con la productividad. Esta varía a lo largo del ciclo de cultivo, suele ser mayor durante la plena floración y menor al final del ciclo, debido a la pérdida de hojas por senescencia y factores como el clima y el ataque de plagas o enfermedades (Mendoza-Pérez *et al.* 2017).

Los valores más altos de peso seco de planta entera, hojas, tallos y raíces fueron inducidos por los tratamientos 75FS+10LC, 50FS+10LC y 25FS+10LC, comparados con aquellos promovidos por el tratamiento TESP, lo cual concuerda con Ayala-Tafoya *et al.* (2020), quienes señalan una relación directa entre el aumento de peso seco vegetal con un mejor estado nutricional, verdor foliar y tasa fotosintética de plantas cultivadas con lombricomposta. A medida que las plantas aumentan en altura, circunferencia o grosor, incorporan más carbono. Las raíces o tallos se engrosan por la proliferación celular dentro del cambium vascular. Las células producidas en el cambium se mueven en dirección centripeta y se diferencian en xilema o en dirección centrífuga y se diferencian en tejido que contiene floema. Las plantas regulan su actividad cambial en respuesta a señales ambientales como el fotoperiodo, la temperatura, la disponibilidad de agua y nutrientes, así como, las fitohormonas (Matsumoto-Kitano *et al.* 2008). El incremento del nivel endógeno de fitohormonas en las plantas promueve un mayor contenido de nitrógeno y clorofila, además, la tasa fotosintética y conductancia estomática se incrementan. El grosor de las hojas, el diámetro de los tallos y el número de brotes laterales también aumentan notablemente (Yong *et al.* 2014).

Producción de frutos

El uso conjunto de fertilización sintética y lombricomposta incrementó la producción de frutos, como consecuencia de aumentar la eficiencia fisiológica y el crecimiento de las plantas de chile jalapeño, debido a que dispusieron de suficientes nutrientes minerales altamente asimilables (Islam *et al.* 2017, Zhao *et al.* 2017) y sustancias naturales promotoras del crecimiento en el suelo (Aremu *et al.* 2015). Con relación al reducido uso de fertilizantes sintéticos Seufert *et al.* (2012) señalan que, sin una fertilización adecuada se corre el riesgo de disminuir el potencial de rendimiento de los cultivos, pero, que tal riesgo puede evitarse con la adición de lombricomposta al suelo, cuyo aporte de microorganismos benéficos favorece el desdoblamiento y asimilación de la fertilización sintética. Asimismo, Zhu *et al.* (2024) indican que la lombricomposta, aplicada en sustitución del 25% de fertilización sintética, mejoró el crecimiento de las plantas, así como, el rendimiento y la calidad del producto. Mientras que Fritz *et al.* (2012), Ayala-Tafoya *et al.* (2020) y Encines-Chaidez *et al.* (2022) expusieron que la lombricomposta suministra nutrimentos y sustancias naturales promotoras del crecimiento vegetal que tienen efectos benéficos en el crecimiento de plantas, producción de biomasa y parámetros de calidad de los cultivos, especialmente cuando se aplican junto con fertilizantes sintéticos, por lo que su combinación constituye una práctica agronómica competitiva y amigable con el ambiente (Wu *et al.* 2020, Zhu *et al.* 2024).

CONCLUSIONES

La incorporación al suelo de 10 t ha⁻¹ de lombricomposta posibilita la reducción desde 25 hasta 75% de la fertilización sintética utilizada en el cultivo de chile jalapeño, con esta combinación de lombricomposta y fertilizantes sintéticos se tiene altura de planta, diámetro de tallo, verdor foliar e índice de área foliar similar al que tuvieron las plantas del testigo positivo, con 100% de fertilizantes sintéticos, pero, incrementó el peso seco de las plantas, la producción de frutos por planta, el rendimiento total y frutos de tamaño grande.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca de posgrado otorgada a los dos primeros coautores, estudiantes de la Maestría Interinstitucional en Agricultura Protegida de la Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Sinaloa.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Aremu AO, Stirk WA, Kulkarni MG, Tarkowská D, Turečková V, Gruz J, Šubrtová M, Pěňčík A, Novák O, Doležal K, Strnad M, van Staden J (2015) Evidence of phytohormones and phenolic acids variability in garden-waste-derived vermicompost leachate, a well-known plant growth stimulant. *Plant Growth Regulation* 75: 483-492. <https://doi.org/10.1007/s10725-014-0011-0>
- Ayala-Tafoya F, López-Urquidez GA, Parra-Delgado JM, ReTESNManjarrez JE, López-Orona CA, Yáñez-Juárez MG (2020) Vermicomposta, auxinas sintéticas y producción de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) en invernadero. *Terra Latinoamericana* 38(2): 257-265. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.620>
- Beltrán-Morales FA, Nieto-Garibay A, Murillo-Chollet JSA, Ruiz-Espinoza FH, Troyo-Dieguez E, Alcalá-Jauregui JA, Murillo-Amador B (2019) Contenido inorgánico de nitrógeno, fósforo y potasio de abonos de origen natural para su uso en agricultura orgánica. *Terra Latinoamericana* 37(4): 371-378. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.520>
- Castellanos JZ, Cano-Ríos P, García-Carrillo EM, Olalde-Portugal V, Preciado-Rangel P, Ríos-Plaza JL, García-Hernández JL (2017) Hot pepper (*Capsicum annuum* L.) growth, fruit yield, and quality using organic sources of nutrients. *Compost Science & Utilization* 25(sup1): S70-S77. <https://dx.doi.org/10.1080/1065657X.2017.1362673>
- Chatterjee D, Dutta SK, Kikon JZ, Kuotsu R, Sarkar D, Satapathy BS, Deka BC (2021) Recycling of agricultural wastes to vermicomposts: characterization and application for clean and quality production of green bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Cleaner Production* 315: 128115. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128115>

- Díaz-José J, Andrés-Meza P, González-Cuevas BM, Leyva-Ovalle OR, Cebada-Merino M (2023) Chemical and organic fertilization on the yield of serrano pepper (*Capsicum annuum* L.) in Veracruz, Mexico. *Revista Bio Ciencias* 10: e1472. <https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1472>
- Elizondo E (2017) Caracterización morfológica de 15 genotipos de pimiento (*Capsicum annuum*) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *InterSedes* 18(37): 2-27. <https://doi.org/10.15517/isucr.v18i37.28652>
- Encines-Chaidez OV, Ayala-Tafoya F, Parra-Delgado JM, Valenzuela-López M, López-Urquidez GA, Yáñez-Juárez MG (2022) Producción de chile jalapeño en mini-túnel en respuesta a la fertilización sintética, orgánica y carbónica. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 9(3): e3412. <https://doi.org/10.19136/era.a9n3.3412>
- Espinosa-Palomeque B, Cano-Ríos P, Salas-Pérez L, González-Rodríguez G, Reyes-González A, Ayala-Garay AV, Preciado-Rangel P (2020) Vermicompost en la producción y calidad nutraceutica de frutos de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Terra Latinoamericana* 38(4): 795-803. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.605>
- Fritz JI, Franke-Whittle IH, Haindl S, Insam H, Braun R (2012) Microbiological community analysis of vermicompost tea and its influence on the growth of vegetables and cereals. *Canadian Journal of Microbiology* 58(7): 836-847. <https://doi.org/10.1139/w2012-061>
- Islam MA, Islam S, Akter A, Rahman MH, Nandwani D (2017) Effect of organic and inorganic fertilizers on soil properties and the growth, yield and quality of tomato in Mymensingh, Bangladesh. *Agriculture* 7(3): 18. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture7030018>
- Manzoor A, Naveed MS, Ali RMA, Naseer MA, UL-Hussan M, Saqib M, Hussain S, Farooq M (2024) Vermicompost: a potential organic fertilizer for sustainable vegetable cultivation. *Scientia Horticulturae* 336: 113443. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113443>
- Matsumoto-Kitano M, Kusumoto T, Tarkowski P, Kinoshita-Tsujimura K, Václavíková K, Miyawaki K, Kakimoto T (2008) Cytokinins are central regulators of cambial activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105(50): 20027-20031. <https://doi.org/10.1073/pnas.0805619105>
- Mendoza-Pérez C, Ramírez-Ayala C, Ojeda-Bustamante W, Flores-Magdaleno H (2017) Estimation of leaf area index and yield of greenhouse-grown poblano pepper. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 9(1): 37-50. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2017.04.009>
- Saha K, Kabir MY, Mondal C, Mannan MA (2019) Growth and yield of tomato as affected by organic and inorganic fertilizers. *Journal of the Bangladesh Agricultural University* 17(4): 500-506. <https://doi.org/10.3329/jbau.v17i4.44618>
- Salma U, Saiful-Alam M, Khanam M, Solaiman ARM, Zakaria M, Mustafizur-Rahman GKM, Rahman MM (2022) Effect of organic manures and mineral fertilizers on soil properties and yield of sweet pepper (*Capsicum Annuum* L.). *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 8(2): 32-43. <https://doi.org/10.9734/ajsspn/2022/v8i230137>
- SE (2008) Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008. Humus de lombriz (lombricomposta) especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Economía. Dirección General de Normas. <http://economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2007/nmx-ff-109-scfi-2008.pdf>. Fecha de consulta: 28 de diciembre de 2019.
- SE (2015) Norma Mexicana NMX-FF-025-SCFI-2014. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - chile fresco (*Capsicum* spp.) – especificaciones. Secretaría de Economía. Diario Oficial de la Federación. <https://www.economia.gob.mx/platiica-normalizacion/nmx-ff-025-scfi-2014/>. Fecha de consulta: 28 de diciembre de 2019.
- SEMARNAT (2000) Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. <https://platiica.economia.gob.mx/normalizacion/wp->

- content/uploads/sites/2/PDF_Normas_Publicas/021reclnat.pdf. Fecha de consulta: 28 de diciembre de 2019.
- Seufert V, Ramankutty N, Foley JA (2012) Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature* 485: 229-231. <http://dx.doi.org/10.1038/nature11069>
- SIAP (2025) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción agrícola. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>. Fecha de consulta: 14 de mayo de 2025.
- Soto-Bravo F, Angulo-Guillén MA (2024) Concentración de nitrógeno y clorofila en hojas de chile dulce hidropónico en invernadero bajo diferentes estrategias de manejo del riego y la nutrición. *Agronomía Costarricense* 48(1): 39-56. <https://dx.doi.org/10.15517/rac.v48i1.59126>
- Uzcanga NG, Cano AJ, Veja IP (2020) Indicadores básicos para el análisis de la producción de chile jalapeño a nivel nacional y en Quintana Roo. *Revista Mexicana de Agronegocios* 47: 523-532. <http://dx.doi.org/10.22004/ag.econ.308709>.
- Vambe M, Cooposamy RM, Arthur G, Naidoo K (2023) Potential role of vermicompost and its extracts in alleviating climatic impacts on crop production. *Journal of Agriculture and Food Research* 12: 100585. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100585>
- Wong WS, Zhong HT, Cruz AT, Yong JWH (2020) Plant biostimulants in vermicomposts. Characteristics and plausible mechanisms. In: Geelen D, Xu L (eds) *The chemical biology of plant biostimulants*. John Wiley & Sons Ltd. USA. pp. 155-180. <https://doi.org/10.1002/9781119357254.ch6>.
- Wu Y, Yan SC, Fan JL, Zhang FC, Zheng J, Guo JJ, Xiang YZ (2020) Combined application of soluble organic and chemical fertilizers in drip fertigation improves nitrogen use efficiency and enhances tomato yield and quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 100(15): 5422-5433. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10593>
- Yong JW, Letham DS, Wong SC, Farquhar GD (2014) Rhizobium-induced elevation in xylem cytokinin delivery in pigeonpea induces changes in shoot development and leaf physiology. *Functional Plant Biology* 41(12): 1323-1335. <http://dx.doi.org/10.1071/FP14066>
- Zhang H, Tan SN, Wong WS, Ng CYL, Teo CH, Ge L, Chen X, Yong JWH (2014) Mass spectrometric evidence for the occurrence of plant growth promoting cytokinins in vermicompost tea. *Biology and Fertility of Soils* 50: 401-403. <https://doi.org/10.1007/s00374-013-0846-y>
- Zhao F, Zhang Y, Li Z, Shi J, Zhang G, Zhang H, Yang L (2020) Vermicompost improves microbial functions of soil with continuous tomato cropping in a greenhouse. *Journal of Soils and Sediments* 20: 380-391. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02362-y>
- Zhao H-T, Li T-P, Zhang Y, Hu J, Bai Y-C, Shan Y-H, Ke F (2017) Effects of vermicompost amendment as a basal fertilizer on soil properties and cucumber yield and quality under continuous cropping conditions in a greenhouse. *Journal of Soils and Sediments* 17: 2718-2730. <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1744-y>
- Zhu B, Whalen JK, Wu J, Yang J, Mao X, Wan B, Tian S, Hu F, Chen X, Liu M (2024) Soil food web structure coordinated by soil omnivores sustains soil multifunctionality in moderate vermicompost amended fields. *Soil Biology and Biochemistry* 192: 109391. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.109391>