

Fertilización química y orgánica y su efecto sobre el rendimiento de chile serrano (*Capsicum annuum* L.)

Chemical and organic fertilization on the yield of serrano pepper (*Capsicum annuum* L.) in Veracruz, Mexico

Díaz-José, J. , Andrés-Meza, P. , González-Cuevas, B.M.,
Leyva-Ovalle, O.R. , Cebada-Merino, M. 

Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias,
Universidad Veracruzana. Josefa Ortiz de
Domínguez, s/n, Peñuela. C.P 94945, Amatlán de
Los Reyes, Veracruz, México.



Please cite this article as/Como citar este artículo:

Díaz-José, J., Andrés-Meza, P., González-Cuevas, B.M., Leyva-Ovalle, O.R., 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>

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: February 23th 2023.

Accepted/Aceptado: September 06th 2023.

Available on line/Publicado: October 19th 2023.

RESUMEN

El uso de abonos orgánicos genera múltiples beneficios para la productividad agrícola, y constituye una alternativa a los problemas que ha generado el uso intensivo de fertilizantes químicos. El objetivo de este trabajo fue comparar el efecto de la fertilización química y orgánica sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del fruto fresco de chile serrano (*Capsicum annuum* L.). Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con seis tratamientos (Testigo, fertilización química, bocashi, lombricomposta, bocashi + fertilización química y lombricomposta + fertilización química) y cuatro repeticiones. Se evaluó altura de planta, diámetro de tallo, largo y ancho de hoja, unidades SPAD, floración, área foliar, número de frutos, largo de fruto, diámetro de fruto, peso promedio de fruto y rendimiento. Se aplicó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias mediante Tukey ($p \leq 0.05$). Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para todas las variables, excepto altura de la planta, principalmente atribuido al ambiente de evaluación. Los resultados indicaron que el tratamiento con bocashi promovió las mejores características de planta y fruto fresco. El uso de abonos orgánicos representa una opción sustentable con una mayor rentabilidad para la producción de chile serrano.

PALABRAS CLAVE: *Capsicum*, nutrición orgánica, fertilización química, sustentabilidad, rendimiento.

*Corresponding Author:

Pablo Andrés-Meza. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Josefa Ortiz de Domínguez, s/n, Peñuela. C.P 94945, Amatlán de Los Reyes, Veracruz, México. Teléfono: (271) 7166129. E-mail: pandres@uv.mx

ABSTRACT

The use of organic fertilizers generates multiple benefits for agricultural productivity and constitutes an alternative to the problems generated by the intensive use of chemical fertilizers. This work aimed to compare the effect of chemical and organic fertilization on the growth, development, and yield of fresh fruit of Serrano pepper (*Capsicum annum* L.). A completely randomized block experimental design was used with six treatments (control, chemical fertilization, bokashi, vermicompost, bokashi + chemical fertilization, and vermicompost + chemical fertilization) and four replications. Plant height, stem diameter, leaf length and width, SPAD units, flowering, leaf area, fruit number, fruit length, fruit diameter, average fruit weight, and yield were evaluated. An ANOVA and all pairwise comparisons were applied using Tukey ($p \leq 0.05$). Significant differences ($p \leq 0.05$) were observed for all variables except plant height, mainly attributed to the environmental conditions. The results indicated that the bokashi treatment promoted the best plant and fresh fruit characteristics. Using organic fertilizers represents a sustainable option with higher profitability for Serrano pepper production.

KEY WORDS: *Capsicum*, organic nutrition, chemical fertilization, sustainability.

Introducción

Uno de los cultivos importantes en México y el mundo es el chile (*Capsicum* spp.) cuyo uso y cultivo es significativo desde el punto de vista económico, medicinal, cultural, nutraceútico y de valor alimenticio (Momo *et al.*, 2022). México es centro de origen y diversificación del chile (Carrizo-García, 2019); varias especies silvestres y cultivadas de chile han sido reportadas (Bosland & Votava, 2000; Aguilar-Rincón *et al.*, 2010; Halikowsky, 2015; Pérez-Castañeda *et al.*, 2015), de los cuales solo *C. annum*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. frutescens* y *C. pubescens* son ampliamente cultivadas (Kraft *et al.*, 2014).

La producción de chile en México se subdivide en dos sistemas orientados por el destino de la cosecha: chile fresco y chile seco. Ambos tipos de producción tienen diferentes características sociales, económicas, agronómicas, culturales, ambientales y tecnológicas. Así, durante el año 2021 se cosecharon a nivel mundial aproximadamente 3.7 millones de ha; de los cuales, se obtuvo un volumen de producción de 40.3 millones de t, en los que se obtuvo un rendimiento de chile fresco y seco de 17,457.6 y 2,573.9 kg ha⁻¹, respectivamente (FAOSTAT, 2022). Específicamente, México aportó al total mundial con 3.3 millones de t, destacando como segundo productor de esta hortaliza; de los cuales, obtuvo un rendimiento de chile fresco y seco de 17,848.3 y 1,932.5 kg ha⁻¹, respectivamente (SIAP, 2022). Durante el ciclo agrícola 2021-2022

los estados de Chihuahua, Sinaloa y Zacatecas aportaron el 55 % de la producción total nacional de chile fresco (SIAP, 2022).

Entre las variedades que más se cultivan para la producción de chile fresco se encuentra el chile serrano (*C. annum* L.), su uso como condimento lo hace de suma importancia en la dieta del mexicano; en este sentido, su consumo anual *per cápita* asciende a más de 17.2 kg (SIAP, 2022). Por otra parte, para alcanzar grandes volúmenes de producción, la agricultura depende en su mayoría del uso de fertilizantes químicos; sin embargo, recientemente el precio de los fertilizantes ha registrado un incremento significativo, consecuencia de los efectos económicos causados por la guerra en Ucrania, así como otros aspectos relacionados con el sistema de transporte para el abasto (Granados & González, 2022), aunado a esto, el uso irracional de los fertilizantes químicos ha provocado severos daños ambientales tales como la degradación del suelo, la contaminación de los cuerpos de agua y la degradación del ambiente (Hirzel *et al.*, 2004; Mendoza-Elos *et al.*, 2020). Lo anterior ha obligado a la búsqueda y evaluación de alternativas para satisfacer la demanda nutrimental de los cultivos a menores costos.

Una alternativa que se ofrece a los productores es la sustitución parcial de fertilizantes de origen mineral por enmiendas o abonos orgánicos (Maeda *et al.*, 2011). Este último, se obtiene mediante la degradación y mineralización de materiales orgánicos como: estiércol, desechos del hogar, pastos incorporados al suelo en estado verde, entre otros (Mosquera, 2010); además, su producción es de bajo costo, ofrecen múltiples beneficios para la producción agrícola, entre los que se encuentran la mejora de la estructura del suelo, el aumento de la capacidad de retención de agua y de la fertilidad, así como la actividad microbiana (Huamaní, 2014; Restrepo, 2007). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo de investigación fue comparar el efecto de la fertilización química, orgánica y la combinación de ambas sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del fruto fresco de chile serrano, aprovechando los subproductos agrícolas que se generan en la región de estudio.

Material y Métodos

Sitio de estudio

El experimento se estableció bajo condiciones de temporal durante el ciclo primavera-verano 2022, en la comunidad de Venta Parada, municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz. El sitio se localiza geográficamente a los 18°51'15.2"N; 96° 51'10.0"W, a una altura de 619 msnm. Se caracteriza por tener un tipo de clima cálido húmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 26.2 °C y precipitación anual de 843.6 mm (García, 2004). El suelo imperante en el lugar es de textura franco-arenoso, pH de 7.2, conductividad eléctrica de 637 $\mu\text{S cm}^{-1}$, materia orgánica de 1.88 %, capacidad de intercambio catiónico 2.16 cmol (+) kg^{-1} , densidad aparente 1.75 g cm^{-3} , nitrógeno total de 0.012 %, fósforo de 96.88 mg kg^{-1} , potasio 136.5 mg kg^{-1} , calcio 817.6 mg kg^{-1} , magnesio 729.1 mg kg^{-1} . Todos los análisis se realizaron en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana.

Material vegetal

Se utilizaron semillas de chile serrano (*Capsicum annuum* cv. Serranito). La siembra se realizó el 27 de febrero de 2022 en charolas de poliestireno de 200 cavidades bajo condiciones de invernadero; posteriormente, el 12 de abril fueron trasplantadas en campo cuando alcanzaron 12 cm de altura y presentaron de 8 a 9 hojas verdaderas.

Diseño de tratamientos

Los tratamientos se establecieron bajo un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron cinco tratamientos y un testigo: Testigo (T_1), fertilización química (254 N; 102 P; 294 K) (T_2), bocashi (4 t ha⁻¹) (T_3), lombricomposta (4 t ha⁻¹) (T_4), bocashi con fertilización química (4 t ha⁻¹; 254 N; 102 P; 294 K) (T_5), y lombricomposta con fertilización química (4 t ha⁻¹; 254 N; 102 P; 294 K) (T_6). Las parcelas experimentales estuvieron constituidas por cinco plantas, sembradas cada 0.5 m entre plantas y 0.5 m entre hileras, para obtener una densidad de población de 40,000 plantas ha⁻¹.

Elaboración de los abonos orgánicos

Para la elaboración del abono orgánico tipo bocashi se combinó 60 kg de tierra negra, 60 kg de estiércol de vacuno, 60 kg de cascarilla de café, 6 kg de salvado de trigo, 6 kg de harina de rocas, 6 kg de carbón, 6 l de melaza, 0.006 kg de levadura y agua constante. Los materiales se mezclaron de manera uniforme y se mantuvo bajo sombra cubierto con un plástico negro, se monitoreó diariamente la temperatura con un termómetro digital para sustratos modelo Thermco ACC310SUP SUPRA®. Para evitar temperaturas muy altas durante el proceso de fermentación se realizaron volteos, manteniendo una temperatura entre 20 y 25 °C. Respecto a la humedad, esta se mantuvo en valores alrededor del 70 al 80 %. Los análisis químicos del bocashi mostraron la siguiente composición: pH (8.5), CE (5500 $\mu\text{S cm}^{-1}$), MO (23.5 %), CIC (36 cmol (+) kg⁻¹), Ntotal (0.2 %), Ca (561.1 mg kg⁻¹) y Mg (255.3 mg kg⁻¹).

Para la obtención de la lombricomposta, se inició con el pre-composteo de residuos orgánicos como estiércol de vacuno, desechos domésticos de origen vegetal, cascaras y tallos, respectivamente. Posteriormente, se utilizaron como pie de cría 7 kg de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para obtener aproximadamente una tonelada de lombricomposta. Las características químicas de la lombricomposta fueron las siguientes: pH (7.48), CE (11300 $\mu\text{S cm}^{-1}$), MO (36.9 %), CIC (42 cmol (+) kg⁻¹), Ntotal (0.12 %), P (302.07 mg kg⁻¹), Ca (148.2 mg kg⁻¹) y Mg (629.8 mg kg⁻¹).

Variables evaluadas

Se registraron las siguientes variables dependientes: altura de planta (cm) se midió con un flexómetro TRUPER® desde la base del tallo hasta el ápice, diámetro del tallo (mm) se midió con un vernier digital Caliper Neiko® en la parte media del tallo antes de la primera bifurcación, largo de la hoja (cm) se midió con una regla metálica desde el peciolo hasta el ápice, ancho de

hoja (cm) se midió con una regla metálica en la parte más ancha de la hoja, se obtuvo el índice de clorofila de las hojas medido como unidades SPAD, la medición se realizó en el tercio medio de la hoja más nueva desarrollada en tres puntos de la planta (baja, media y alta), días a la floración se midió el número de días desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas presentaron por lo menos una flor abierta, índice de área foliar (cm^2) se midió el largo y ancho de tres hojas verdaderas al azar, se multiplicó largo por ancho de cada hoja, el resultado se multiplicó por el factor 0.75. Posteriormente, se determinó el área de suelo ocupada por planta y finalmente el índice de área foliar se obtuvo dividiendo el área foliar de la planta entre el área de suelo ocupada por esta, se contó el número total de frutos por planta, largo de fruto (cm) se midió con una regla metálica desde la base hasta el ápice del fruto, diámetro de fruto (mm) se midió con un vernier digital en el tercio medio del fruto, peso promedio de fruto (g) se pesó cada uno de los frutos de forma individual con la ayuda de una báscula digital RHINO® y rendimiento de fruto (kg ha^{-1}) estimado a través de seis cosechas.

Índice económico beneficio-costo

Para determinar la relación beneficio/costo, se consideraron los beneficios totales netos ($\$/\text{ha}$) y se les relacionó con los costos totales por tratamiento que se efectuaron en la producción del ciclo del cultivo.

Método estadístico

Antes de realizar el análisis de varianza, se validaron los supuestos de normalidad, homocedasticidad de varianzas e independencia de los errores. Posterior a ello, todas las variables se sometieron a un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias mediante Tukey ($p \leq 0.05$). Todos los análisis se realizaron con el software SPSS® versión 25.0 (IBM Corp. Released 2017).

Resultados y Discusión

Análisis de la varianza en variables agronómicas

Se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) para todas las variables excepto en altura de la planta (Tabla 1). Los efectos derivados de los fertilizantes químicos solos o combinados con los abonos orgánicos pueden promover un crecimiento más rápido y vigoroso de las plantas, estimular el desarrollo de brotes laterales, fortalecer las raíces y aumentar la producción de flores y frutos (Abreu-Cruz *et al.*, 2018). Resultados similares fueron obtenidos por López *et al.* (2012) quienes encontraron diferencias significativas para todas las variables evaluadas en el cultivo de chile habanero. Se observó que los coeficientes de variación fluctuaron entre 9.39 a 48.9 %; aquellas variables que presentaron altos coeficientes de variación (índice de área foliar, número de frutos y rendimiento de fruto fresco), probablemente fueron provocados por la constitución genética de la variedad y su interacción con el ambiente (Balzarini *et al.*, 2008; Tlelo-Cuautle *et al.*, 2020).

Variables agronómicas y fisiológicas

Con respecto al análisis de medias, los tratamientos evaluados no causaron un efecto significativo ($p \geq 0.05$) en la variable altura de la planta (Tabla 2). No obstante, numéricamente el tratamiento lombricomposta + fertilización química (T6) provocó la mayor altura con 49.05 cm, superando al resto de los demás tratamientos. Resultados similares fueron reportados por Nieto-Garibay *et al.* (2002) al presentar un incremento en altura de planta de chile habanero (*C. chinense* L. Jacq.) con la aplicación de 50 t ha⁻¹ de vermicomposta.

Respecto al contenido de clorofila en hoja, el tratamiento con lombricomposta (T4) alcanzó valores promedio de hasta 65.94 unidades SPAD; no obstante, las plantas en las que se aplicó bocashi (T3) presentaron los valores más bajos con un promedio de 61.66 unidades SPAD (Tabla 2). Estos resultados son congruentes debido a que la lombricomposta presentó los valores más altos en sus características químicas antes mencionadas; además, al igual que el bocashi proporciona nutrientes esenciales y mejora la estructura del suelo, lo que promueve una mayor síntesis de clorofila en las hojas. De acuerdo con Novoa & Villagrán (2002), los valores obtenidos en el presente trabajo de investigación no se consideran bajos, ya que, valores de SPAD inferiores a 35.3 estarían indicando una deficiencia de N. Estos resultados se podrían atribuir al contenido de elementos nutritivos aportado por los materiales orgánicos.

Por otra parte, en las pruebas múltiples de medias se encontró un grupo significativo en el grosor de los tallos de las plantas de los tratamientos con lombricomposta (T4), bocashi + fertilización química (T5) y lombricomposta + fertilización química (T6), respectivamente, con valores de 5.61 a 6.76 mm (Cuadro 2). Estos resultados coinciden con Jayanthi *et al.* (2014) quienes mencionan que la aplicación de vermicomposta reduce en un 50 % la aplicación de fertilizante químico además mejora la calidad del suelo, rendimiento y características de calidad del chile. López-Arcos *et al.* (2012) obtuvieron 115 % mayor grosor en tallo al utilizar vermicompostas en plantas de chile habanero en el estado de Tabasco. No obstante, resultados contrastantes fueron obtenidos por Palma-López *et al.* (2020) quienes con la aplicación de vermicomposta no observaron un estímulo para la variable grosor de tallo. Por otro lado, al igual que en el presente trabajo de investigación, Gómez *et al.* (2008) sugieren la importancia de utilizar abonos orgánicos para mejorar el rendimiento en hortalizas como chile, rábano (*Raphanus sativus* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Tabla 1. Cuadrados medios y significancia estadística evaluadas en 12 variables agronómicas y fisiológicas en chile serrano (*Capsicum annuum* L.). Venta Parada, Veracruz. Ciclo invierno-primavera 2022.

Fuente de Variación		Tratamientos	Repetición	Error	Total	C.V (%)
F.V.		5	3	107	119	
Variables dependientes	Apta (cm)	365.74NS	612.85*	171.01		29.64
	Dtlo (mm)	12.17*	11.92*	4.1		37.25
	LHoj (cm)	10.02**	21.12**	2.8		20.04
	AHoj (cm)	2.19*	1.53NS	0.97		25.4
	USPAD	42.36*	101.97*	35.66		9.39
	IAf (cm ²)	4911.86*	7241.83**	1688.12		40.45
	Nfrut	2395.23**	470.9*	124.24		45.76
	Lfrut (cm)	11.25**	7.64**	0.86		12.29
	Dfrut (mm)	9.38**	0.81NS	1.08		13.9
	PPFrut (g)	8.72**	0.88NS	0.45		20.12
	Rfrut (kg ha ⁻¹)	648176829.1**	57483734.4ns	24920270.92		48.9

* $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; NS= Diferencias no significativas a $p > 0.05$; D.F = grados de libertad; C.V (%)= coeficiente de variación; Apta = altura de planta; Dtlo = diámetro de tallo; LHoj = largo de hoja; AHoj = ancho de Hoja; SPAD = unidades USPAD; IAf = índice de área foliar; Nfrut = número de frutos; Lfrut = largo de fruto; Dfrut = diámetro de fruto; PPFrut = peso promedio de fruto; Rfrut = rendimiento de fruto.

Los tratamientos con lombricomposta (T4) y lombricomposta + fertilización química (T6) provocaron los mejores valores para largo y ancho de hoja con 9.2 y 4.2 cm, respectivamente (Cuadro 2). Estos mismos tratamientos generaron los mejores valores para índice de área foliar con 117 y 118 cm², respectivamente. Resultados similares son informados por Ríos (2015) quien obtuvo mayor área foliar en plantas de chile jalapeño (*C. annuum* L.) donde se aplicó 1 t ha⁻¹ de vermicomposta en comparación con la fertilización química de 30 y 60 kg N ha⁻¹; y finalmente, Mendoza-Pérez *et al.* (2017) quienes obtuvieron valores 0.30-0.80 m² en plantas de chile Poblano. El área foliar es la medida del tejido fotosintético de una planta, las plantas con mayor área foliar y en condiciones favorables llegan a ser capaces de utilizar mejor la energía solar con una fotosíntesis más eficiente (Deaquiz *et al.*, 2008). En este sentido, la determinación del índice de área foliar (IAF) constituye un parámetro fundamental en la evaluación del desarrollo y crecimiento de los cultivos (Manjarrez-Martínez *et al.*, 1999).

Tabla 2. Efecto promedio de los tratamientos con abonos orgánicos y fertilización química sobre 12 variables agronómicas y fisiológicas en chile serrano (*Capsicum annuum* L.). Venta Parada, Veracruz. Ciclo invierno-primavera 2022.

Trat.	Apta (cm)	Dtlo (mm)	LHoj (cm)	AHoj (cm)	USPAD	IAf (cm ²)	Nfrut	Lfrut (cm)	Dfrut (mm)	PPFrut (g)	Rfrut (kg ha ⁻¹)
1	39.75a [¶]	4.51b	7.15b	3.4b	63.73ab	75.77b	7.65c	6.33d	6.22c	2.20 d	1927.80e
2	38.40a	5.04b	8.39a	3.87ab	62.99ab	100.82ab	14.60c	6.94c	7.38b	3.03c	5407.80d
3	43.80a	5.01b	8.23a	3.70ab	61.66b	96.02ab	34.40 a	8.30a	7.86ab	4.12a	17270.40a
4	47.00a	5.61ab	8.80a	4.24a	65.94a	117.17a	25.10b	7.93ab	7.46b	3.47bc	10177.20c
5	46.75a	6.76a	8.67a	3.79ab	64.40ab	101.09ab	32.35ab	8.02ab	8.24a	3.73ab	14288.40ab
6	49.05a	5.71ab	9.23a	4.28a	63.03ab	118.52a	32.05ab	7.66b	7.63ab	3.37bc	12186.00bc
Media	44.13	5.44	8.41	3.88	63.63	0.25	24.36	7.53	7.47	3.32	10209.53

[¶]Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey = 0.05; Trat. = tratamientos; 1= testigo; 2= fertilización química; 3= bocashi; 4) lombricomposta; 5) bocashi + fertilización química; 6) lombricomposta + fertilización química; Apta = altura de planta; Dtlo = diámetro de tallo; LHoj = largo de hoja; AHoj = ancho de Hoja; USPAD = unidades SPAD; IAf = índice de área foliar; Nfrut = número de frutos; Lfrut = largo de fruto; Dfrut = diámetro de fruto; PPFrut = peso promedio de fruto; Rfrut (kg ha⁻¹)= rendimiento de fruto.

En cuanto a los días a la floración, el tratamiento con fertilización química (T2) aceleró el inicio de la floración, el cual se presentó a partir de los 78 dds, esto podría atribuirse a que los fertilizantes químicos llegan a acelerar los procesos fisiológicos de las plantas (López-Arcos *et al.*, 2012). Por otro lado, los tratamientos con bocashi (T3) y bocashi + fertilización química (T5) iniciaron su floración a los 91 dds (Cuadro 2). Resultados contrastantes fueron reportados por Amador *et al.* (2014) quienes no encontraron respuestas en la floración, fructificación, fenología y rendimiento del chile mirasol en cuanto al tipo de labranza e incorporación de residuos de avena al suelo.

Componentes de rendimiento de fruto

El mayor número de frutos se obtuvo con bocashi (T3) con más de 34 frutos por planta⁻¹ superando a todos los tratamientos (Figura 1c); asimismo, promovió los mejores valores para largo de fruto y peso de fruto con 8.3 cm y 4.12 g⁻¹, respectivamente. De acuerdo con Hang *et al.* (2015) se ha demostrado que la aplicación de composta incrementa la obtención de frutos más grandes lo que influye directamente en facilitar su comercialización.

En cuanto al diámetro de fruto, el tratamiento bocashi + fertilización química (T5) (Figura 1e) promovió los mejores valores con 8.2 mm (Tabla 2). En este sentido, los abonos orgánicos ejercen un efecto positivo sobre algunas variables catalogadas como componentes del rendimiento de fruto, resultando una alternativa ecológica, económica y sustentable para el pequeño productor. Reyes-Pérez *et al.* (2016) señalan que el beneficio encontrado pudiera ser explicado por una serie de procesos fisiológicos y bioquímicos interrelacionados entre sí y activados al ser aplicados los abonos orgánicos; las giberelinas, fitohormonas que se encuentra en su composición, pueden estimular una alta floración y fructificación de las plantas. Por otro lado, este efecto pudo estar relacionado con el aporte de sustancias húmicas con diferentes metabolitos, entre ellos el potasio y otros minerales que intervienen en la nutrición de las plantas, los que al ser absorbidos por las raíces o las hojas garantizan un adecuado desarrollo. Estos elementos, al encontrarse en concentraciones apropiadas, propician una adecuada ganancia tanto en la masa de los frutos como en sus diámetros. Gómez *et al.* (2000) refieren a la influencia del potasio como elemento fundamental para el buen desarrollo de los frutos, lo que pudo haber provocado que los frutos bajo la acción de abonos orgánicos por las vías empleadas se comportaran de forma superior con respecto al control.



Figura 1. Características morfológicas y dimensiones de fruto de chile serrano (*Capsicum annuum* L.); a) testigo; b) fertilización química; c) bocashi; d) lombricomposta; e) bocashi + fertilización química; f) lombricomposta + fertilización química.

Rendimiento de fruto fresco

El mayor rendimiento de fruto fresco se obtuvo con bocashi (T3) con un valor promedio de 17,270.4 kg ha⁻¹ (Figura 1c), seguido del tratamiento bocashi + fertilización química (T5) con un valor 14,288.40 kg ha⁻¹ (Figura 1e), mientras que para los tratamientos lombricomposta, lombricomposta + fertilización química y fertilización química, se obtuvieron valores de 12,186; 10,177 y 5,407 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabla 2). El bocashi se produce mediante la fermentación de residuos orgánicos con la ayuda de microorganismos, es rico en nutrientes y mejora la calidad del suelo. La aplicación de 400 g de bocashi (T3), puede haber proporcionado una fuente adecuada de nutrientes para las plantas, promoviendo un mejor crecimiento y desarrollo de los frutos. Por el contrario, aunque la fertilización química puede proporcionar nutrientes de manera rápida y específica, es posible que la combinación de bocashi + fertilización química (T5) haya causado una competencia por nutrientes entre ambos tipos de fertilizantes. Lo que afecta la disponibilidad y absorción de nutrientes por parte de las plantas, lo que a su vez influyó en el rendimiento de fruto fresco.

La utilización de abonos orgánicos en el cultivo de Chile tiene un efecto positivo y significativo, pues los nutrientes se encuentran disponibles en el suelo cuando las plantas lo requieren, ya que su liberación es lenta y paulatina, mientras que los fertilizantes sintéticos, se requieren cada vez en mayores cantidades para la producción, lo que ocasiona la degradación de los ecosistemas. Asimismo, estas respuestas pueden ser atribuidas a la carga microbiana, principalmente de bacterias que promueven el crecimiento y desarrollo a través de diferentes mecanismos como la solubilización de fosfatos, producción de fitohormonas, fijación de nitrógeno, entre otros (Corrales-Ramírez *et al.*, 2014).

Beneficio-Costo

Se obtuvo la rentabilidad para los diferentes tratamientos de nutrición en Chile Serrano (Tabla 3), se encontró una mayor rentabilidad cuando se aplicó bocashi (T3) como fuente de fertilización, con el que se logró un beneficio costo de \$3.35, lo cual indica que, por cada peso invertido en producir Chile Serrano, se recupera \$2.35. Los tratamientos con fertilización química y testigo no generaron beneficios debido a que la relación beneficio-costo estuvo por abajo del mínimo aceptado de 1 o mayor de 1 (Mancilla *et al.*, 2020).

Tabla 3. Relación beneficio/costo de un ciclo de producción en el cultivo de chile serrano (*Capsicum annuum* L.). Venta Parada, Veracruz. Ciclo invierno-primavera 2022.

Tratamiento	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Valor (\$/kg ⁻¹)	IB (\$/ha ⁻¹)	Cost. Prod. (\$/ha ⁻¹)	Utilidad (\$/ha ⁻¹)	Relación (B/C)
Testigo	1927.8	46	-25125.2	1113804	88679	-0.22
Fertilización química	5407.8	45	2358	240993	243351	0.01
Bocashi	17270.4	45	598340.15	178827.85	777168	3.35
Lombricomposta	10177.2	45	273872	184102	457974	1.49
Bocashi + fertilización química	14288.4	45	418555	224423	642978	1.87
Lombricomposta + fertilización química	12186	45	318668	229702	548370	1.39

Valor (\$/ha)= precio por kilogramo de fruto fresco; IB (\$/ha⁻¹)= beneficio neto total; Cost. Prod. (\$/ha⁻¹)= costo de producción por tratamiento; Utilidad (\$/ha)= Utilidad neta; Relación (B/C) = relación costo-beneficio.

Aun cuando los rendimientos obtenidos son bajos (10209.53 kg ha⁻¹ en promedio), los tratamientos con nutrición orgánica son rentables, esto se debe a que la inversión es menor tanto en materia prima como en mano de obra y gastos indirectos; además, la mayor parte de los abonos orgánicos se elaboraron de manera casera y con materiales que se localizan fácilmente en la región. Los beneficios del uso de abonos orgánicos son muy amplios, ya que además de aportar materia orgánica humificada y nutrientes al suelo, se ha demostrado que pueden prevenir, controlar e influir en la severidad del ataque de patógenos del suelo (Mancilla *et al.*, 2020). Zayed *et al.* (2013) reportaron que la fertilización orgánica, solarización de suelos e inoculación con micorrizas, juntos o combinados resultaron en aumentos significativos en el rendimiento de fruto de chile, número total de frutos por parcela, longitud y diámetro de fruto. Los resultados reflejan la pertinencia de producir chile serrano de manera alternativa en la zona central del estado de Veracruz, ya que además de aplicar un manejo sustentable, ayuda a mejorar el suelo, agua y ambiente coadyuvando a la soberanía alimentaria y la salud humana.

Conclusiones

La elaboración de abonos orgánicos con base de residuos agroindustriales local genera al productor una alternativa ecológica, económica y sustentable. La aplicación simple o combinada con la fertilización química influye positivamente sobre el desarrollo fenológico y comportamiento agronómico del cultivo del chile serrano. Existe una mayor rentabilidad al producir chile serrano con abonos orgánicos, siendo una buena opción para los productores de la región y ofreciendo la

posibilidad de competir en la comercialización del producto. Con el presente trabajo se demuestra que es una buena opción de negocio, ya que la rentabilidad que se podría obtener es mayor que el costo de oportunidad. A escalas más grandes, será necesario tener en cuenta los costos de mano de obra requeridos para producir grandes cantidades de bocashi, lo que requiere realizar un análisis más extenso de estos parámetros.

Contribución de los autores

Idea original del trabajo, autor 1, autor 2, autor 3; desarrollo de la metodología, autor 2, autor 3, autor 5; manejo de software, autor 2; validación experimental, autor 3; análisis de resultados, autor 1, autor 4, autor 5; Manejo de datos, autor 2, autor 3; escritura y preparación del manuscrito, autor 1, autor 2; redacción, revisión y edición, autor 1, autor 2, autor 5; administrador de proyectos, autor 1; adquisición de fondos, autor 2, autor 3.

“Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.”

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Sra. Yolanda Cuevas López por sus facilidades en la donación del terreno experimental donde se estableció el ensayo. Asimismo, desean expresar las gracias al M.H.T. Luis E. Aquino Solís por aportar sus conocimientos en la preparación de los abonos.

Conflicto de interés

“Los autores declaran no tener conflicto de interés”.

Referencias

- Abreu-Cruz, E., Araujo-Camacho, E., Rodríguez-Jiménez, S. L., Valdivia-Ávila, A. L., Fuentes-Alfonso, L., & Pérez-Hernández, Y. (2018). Efecto de la aplicación combinada de fertilizante químico y humus de lombriz en *Capsicum annuum*. *Centro Agrícola*, 45(1), 52-61.
- Aguilar-Rincón, V., Corona-Torres, P., López-López, P., Latournerie-Moreno, L., Ramírez-Meraz, M., Villalón-Mendoza, H., & Aguilar-Castillo, J.A. (2010). *Los chiles de México y su distribución*. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UNAL y UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 114 p. https://www.researchgate.net/profile/Luis-Latournerie/publication/235657255_Los_chiles_de_Mexico_y_su_distribucion/links/553c39f70cf2c415bb0b2c2b/Los-chiles-de-Mexico-y-su-distribucion.pdf
- Amador, M. D. R., Velásquez-Valle, R., Sánchez-Toledano, B., & Acosta-Díaz, E. (2014). Floración y fructificación de Chile mirasol (*Capsicum annuum* L.) con labranza reducida,

- labranza convencional o incorporación de avena al suelo. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(6), 1001-1013. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014000600008&script=sci_arttext
- Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J. A., & Robledo, C. W. (2008). Manual del usuario InfoStat. Editorial Brujas, Córdoba, Argentina, 336 p. https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Casanoves/publication/319875343_Manual_del_usuario/links/5e2ee26992851c9af7280cfa/Manual-del-usuario.pdf
- Bosland, P. W., & Votava, E. J. (2000). Peppers: Vegetable and Spice Capsicums. *Crop Production Science in Horticulture* 12. CAB International Publishing, Wallingford, England, UK. 204 p.
- Carrizo-García, C. (2019). Breve historia evolutiva del género *Capsicum*. In: Los chiles que le dan sabor al mundo (pp. 26–40). IRD Éditions. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.30916>
- Corrales-Ramírez, L. C., Arevalo-Galvez, Z. Y., & Moreno-Burbano, V. E. (2014). Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. *Nova*, 12(21), 68-79. <https://doi.org/10.22490/24629448.997>
- Deaquiz-Oyola, Y., Álvarez-Herrera, J., & Fraile, A. (2008). Efecto de diferentes láminas de riego y sustratos en la propagación de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2(1), 54–65. <https://doi.org/10.17584/rcch.2008v2i1.1173>
- FAOSTAT (2022). Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Estadísticas sobre cultivos y productos de ganadería. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 97 p. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1>
- Gómez-Álvarez, R., Lázaro-Jerónimo, G., & León-Nájera J. A. (2008). Producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y Rábano (*Raphanus sativus* L.) en huertos biointensivos en el trópico húmedo de Tabasco. *Universidad Científica* 24(1), 11-20. ISSN: 0186-2979. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15424102>
- Gómez, O., Casanova, A., Laterrol H., & Anais, G. (2000). Manual Técnico. Mejora genética y manejo del cultivo del tomate para la producción en el Caribe. Manual técnico, Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova” (IIHLD), La Habana, Cuba. 159 p.
- Granados, L. C., & González, T. J. (2022). Situación actual y perspectivas del mercado de fertilizantes en el mundo. *Boletín El Palmicultor*, 605 (julio), 8–9. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmicultor/article/view/13848>
- Halikowsky, S. (2015). In the shadow of a pepper-centric historiography: Understanding the global diffusion of capsicums in the sixteenth and seventeenth centuries. *Journal of Ethnopharmacol*, 167, 64-77. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.10.048>
- Hang, S., Castán, E., Negro, G., Daghero, A., Buffa, E., Ringuélet, A., Satti, P., & Mazzarino, M.J. (2015). Composting of feedlot manure with sawdust-woodshavings: process and quality of the final product. *Agriscientia*, 32 (1), 55-65. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v32.n1>
- Hirzel, J., Rodríguez, N., & Zagal, E. (2004). Efecto de diferentes dosis de fertilización inorgánica con N, P, K y fuente orgánica (estiércol de broiler) sobre la producción de maíz y la fertilidad del suelo. *Agricultura Técnica*, 64(4), 365-374. <https://doi.org/10.4067/s0365-28072004000400005>
- Huamaní, L. Y. (2014). Importancia de los abonos orgánicos en la agricultura. *Revista de*

- Investigación Universitaria*, 3(1), 67-75. <https://doi.org/10.17162/riu.v3i1.42>
- International Business Machines [IBM]. (2017). IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Jayanthi, L., Sekar, J., Ameer Basha, S., & Parthasarathi, K. (2014). Influence of vermifertilizer on soil quality, yield and quality of chilli, *Capsicum annuum*. *Online International Interdisciplinary Research Journal*, 4(1), 206-218.
- Kraft, K. H., Brown, C. H., Nabhan, G. P., Luedeling, E., Luna-Ruiz, J. D. J., Coppens d'Eeckenbrugge, G., Hijmans, R. J., & Gepts, P. (2014). Multiple lines of evidence for the origin of domesticated chili pepper, *Capsicum annuum*, in Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(17), 6165-6170. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308933111>
- López-Arcos, M., Poot, J.E., & Mijangos, M.A. (2012). Respuesta del Chile habanero (*Capsicum chinense* L. Jacq) al suministro de abono orgánico en Tabasco, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(2), 307-312.
- Maeda, K., Hanajima, D., Toyoda, S., Yoshida, N., Morioka, R., & Osada, T. (2011). Microbiology of nitrogen cycle in animal manure compost. Minireview. *Microbial Biotechnology*, 4(6), 700-709. <http://doi:10.1111/j.1751-7915.2010.00236.x>
- Mancilla-Villa, O. R., Hernández-Vargas, O., Manuel-Cortez, J. C., Chávez-Chávez, J. A., Castillo-Álvarez, E. A., Guevara-Gutiérrez, R. D., Huerta-Olague, J. J., Can-Chulim, A., Ortega-Escobar, H. M., & Sánchez-Bernal, E. I. (2020). Rentabilidad en maíz (*Zea mays* L.) y Chile (*Capsicum annuum* L.) con manejo convencional y alternativo en Atlán, Jalisco. *Idesia* (Arica), 38(3), 33-42. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000300033>
- Manjarrez-Martínez, M.J., Ferrera-Cerrato R., & González-Chávez, M.C. (1999). Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de Chile serrano. *Terra latinoamericana*, 17(1), 9-15. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57317102.pdf>
- Mendoza-Elos, M., Zamudio-Álvarez, L.F., Cervantes-Ortiz, F., Chable-Moreno, F., Frías-Pizano J., & Gámez-Vázquez, A.J. (2020). Rendimiento de semilla y calidad de fruto de Chile habanero con fertilización química y orgánica. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8), 1749-1761. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.1960>
- 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. <http://dx.doi.org/10.5154/r.inagbi.2017.04.009>
- Momo, J., Kumar, A., Islam, K., Ahmad, I., Rawoof, A., & Ramchiary, N. (2022). A comprehensive update on *Capsicum* proteomics: Advances and future prospects. *Journal of Proteomics*, 261, 104578. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2022.104578>
- Mosquera, B. (2010). Abonos orgánicos protegen el suelo y garantizan alimentación sana. In Fonag (p. 25). www.fonag.org.ec
- Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E., Larrinaga-Mayoral, J. A., & García-Hernández, J. L. (2002). El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del Chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *Interciencia*, 27(8), 417-421. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442002000800006&lng=es&tlng=es
- Novoa, S. A., R., & Villagrán, A., N. (2002). Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. *Agricultura Técnica*, 62(1). <https://doi.org/10.4067/s0365-28072002000100017>

- Palma-López, D. J., Sánchez-Vázquez, Á. J., Hernández-Ramos, M., Palma-Cancino, D. J., & López-Castañeda, A. (2020). Desarrollo de chile amashito (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) bajo diferentes dosis de vermicomposta en condiciones controladas. *AGROProductividad*, 13(2), 45-52. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1586>
- Pérez-Castañeda, L. M., Castañón-Nájera, G., Ramírez-Meraz, M., & Mayek-Pérez, N. (2015). Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum* spp. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 2(4), 117-128.
- Restrepo, R. J. (2007). El ABC de la Agricultura orgánica y harinas de rocas. 1er edición, Servicio de Información Mesoamericano sobre Agricultura Sostenible (SIMAS). Managua, Nicaragua. https://simas.org.ni/media/1311796944_El%20ABC%20de%20la%20agricultura-presentacion.pdf
- Reyes-Pérez, J. J., Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., Troyo-Diéguéz, E., Rueda-Puente, E. O., Hernández-Montiel, L. G., Preciado Rangel, P., Beltrán-Morales, A., Rodríguez-Félix, F., & López-Bustamante, R. J., (2016). Uso de humatos de vermicompost para disminuir el efecto de la salinidad en el crecimiento y desarrollo de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(6), 1375-1387. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000601375&lng=es&tlng=es
- Ríos, P. (2015). Vermicompost, bacterias promotoras de crecimiento y hongos endomicorrízicos en chile Jalapeño (*Capsicum annuum* L.). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. 86 p.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2022). Anuario estadístico de la producción agrícola. Producción agrícola de chiles verdes. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Tlelo-Cuautle, A. M., Taboada-Gaytán, O. R., Cruz-Hernández, J., López-Sánchez, H., & López, A. P. (2020). Efecto de la fertilización orgánica y química en el rendimiento de fruto de chile poblano. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(3), 238. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.3.238>
- Zayed, M. S., Hassanein, M. K. K., Esa, N. H., & Abdallah, M. M. F. (2013). Productivity of pepper crop (*Capsicum annuum* L.) as affected by organic fertilizer, soil solarization, and endomycorrhizae. *Annals of Agricultural Sciences*, 58(2), 131-137. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2013.07.011>