

Efecto de enmiendas orgánicas en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en climas cálidos húmedos

Effect of organic amendments in lettuce (*Lactuca sativa* L.) production in warm humid climates

Carlos Ernesto Aguilar-Jiménez¹ ; Isidro Zapata-Hernández¹ ; Mariela Beatriz Reyes-Sosa^{2,3*} ; José Roberto Aguilar-Jiménez⁴ ; José Reinaldo Díaz-Rivera⁵ 

¹Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agronómicas Campus V. Villaflores. Chiapas, México; e-mail: ejimenez@unach.mx, chilo0602@hotmail.com

²Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti). México; e-mail: mreyes@secihti.mx

³Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería. Mérida - Yucatán, México; e-mail: mariela.reyes@correo.uady.mx

⁴Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Tuxtla Gutiérrez - Chiapas, México; e-mail: jose.roberto@unach.mx;

⁵Universidad de Pinar del Río, Facultad de Ciencias Forestales y Agropecuarias. Pinar del Río, Cuba; e-mail: josereynaldord@gmail.com

*autor de correspondencia: mariela.reyes@correo.uady.mx

Cómo citar: Aguilar-Jiménez, C.E.; Zapata-Hernández, I.; Reyes-Sosa, M.B.; Aguilar-Jiménez, J.R.; Díaz-Rivera, J.R. 2025. Efecto de enmiendas orgánicas en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en climas cálidos húmedos. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 28(2):e2795. <http://doi.org/10.31910/rudca.v28.n2.2025.2795>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada en Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional

Recibido: febrero 18 de 2025

Aceptado: agosto 12 de 2025

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

La producción de hortalizas bajo principios de agricultura orgánica representa una estrategia clave para mejorar la inocuidad alimentaria y promover la conservación del suelo. En este estudio se evaluó el efecto de las enmiendas orgánicas bocashi y lombricomposta, mezcladas con suelo, junto con la aplicación foliar de un biofertilizante a base de microorganismos eficientes y lixiviado de lombriz, en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.). El experimento se realizó en Villaflores, Chiapas, México, utilizando seis tratamientos bajo un diseño completamente al azar, cada uno con cuatro repeticiones de cinco plantas. Se registraron variables de crecimiento vegetativo a los 15 y 30 días después del trasplante (DDT) y, al final del ciclo (45 DDT), se evaluaron la altura, el diámetro y el peso de las plantas. Se aplicaron análisis estadísticos de varianza, pruebas de medias, regresión y análisis multivariado. Los resultados mostraron que los tratamientos con lombricomposta y bocashi, en combinación con el biofertilizante, mejoraron significativamente el desarrollo vegetativo y los parámetros productivos finales, destacándose el tratamiento con lombricomposta y biofertilizante como el más efectivo. Estos hallazgos respaldan el uso de enmiendas orgánicas como una alternativa viable para fortalecer la producción agroecológica de hortalizas en climas cálidos-húmedos.

Palabras clave: Biofertilizantes; Bocashi; Lombricomposta; Producción agroecológica; Sostenibilidad agrícola.

ABSTRACT

Vegetable production under organic farming principles is a key strategy to improve food safety and soil conservation. This study evaluated the effect of the organic amendments bocashi and vermicompost, mixed with soil, along with the foliar application of a biofertilizer containing efficient microorganisms and earthworm leachate, on lettuce (*Lactuca sativa* L.) production. The experiment was conducted in Villaflores, Chiapas, Mexico, using a completely randomized design with six treatments, each with four replicates of five plants. Vegetative growth variables were recorded at 15 and 30 days after transplanting (DAT), and at the end of the cycle (45 DAT), height, diameter, and plant weight were measured. Statistical analyses included variance analysis, means comparison, regression, and multivariate analysis. The results showed that treatments combining vermicompost and bocashi with biofertilizer significantly improved vegetative growth and final productive parameters, with the vermicompost + biofertilizer treatment being the most effective. These findings support the use of organic amendments as a viable alternative for strengthening agroecological vegetable production in warm humid climates.

Keywords: Agroecological production; Agricultural sustainability; Biofertilizers; Bocashi; Vermicompost.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo agrícola sostenible es fundamental para minimizar el impacto ambiental y garantizar la conservación del suelo (Brown Smith *et al.* 2021). La agricultura orgánica, al excluir el uso de insumos sintéticos, promueve una producción ecológica y contribuye a la seguridad alimentaria. En este contexto, el empleo de enmiendas orgánicas se consolida como una estrategia eficaz para mejorar el crecimiento de cultivos hortícolas (Acevedo-Alcalá *et al.* 2020).

En regiones subtropicales como Chiapas, México, se dispone de materiales agrícolas que permiten la producción de fertilizantes orgánicos, entre ellos, el bocashi (B), la lombricomposta (LC) y el lixiviado de lombriz (LL), ampliamente utilizados por sus efectos positivos en diversas especies agrícolas (Peralta-Antonio *et al.* 2019; Bhatta, 2022).

El bocashi es un fertilizante orgánico fermentado, elaborado a partir de residuos vegetales y estiércol, que mejora la actividad microbiológica del suelo y optimiza su fertilidad (Ramos Agüero & Terry Alfonso, 2014). La lombricomposta es un biofertilizante producido mediante la acción de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), enriquecido con nutrientes y microorganismos beneficiosos para el desarrollo de las plantas (Georgi *et al.* 2022). Por su parte, el lixiviado de lombriz es un fertilizante líquido derivado del proceso de lombricompostaje, con una alta concentración de nutrientes esenciales y compuestos orgánicos, que favorecen el crecimiento vegetal (Palacios Valenzuela *et al.* 2020).

Los microorganismos eficientes (ME) son una mezcla de bacterias, hongos y levaduras benéficas que mejoran la actividad biológica del suelo, optimizan la absorción de nutrientes para las plantas y favorecen procesos como la descomposición de materia orgánica y la supresión de patógenos. Según Mesa-Reinaldo (2020), su aplicación contribuye a mejorar la estructura del suelo, la fertilidad y la resistencia de los cultivos. En conjunto, estas enmiendas y biofertilizantes constituyen una alternativa sostenible para fortalecer la producción agroecológica de hortalizas en climas cálidos-húmedos.

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una hortaliza de alta demanda y consumo a nivel mundial, cuya producción ha aumentado en regiones subtropicales (Bilbao & Frezza, 2022). En México, solo una pequeña proporción de la producción de lechuga cuenta con certificación orgánica (SIAP, 2022), lo que representa una oportunidad para desarrollar estrategias de cultivo sustentables.

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de las enmiendas orgánicas bocashi y lombricomposta, con y sin el complemento de un biofertilizante líquido, basado en microorganismos eficientes (ME) y lixiviado de lombriz, en la producción de lechuga bajo condiciones de clima cálido-húmedo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio. El experimento se realizó en las instalaciones del “Centro Universitario de Transferencia Tecnológica,

CUTT San Ramón”, de la Facultad de Ciencias Agronómicas Campus V, Universidad Autónoma de Chiapas, ubicado en las coordenadas N 16°32', O 93°45', altitud media de 610 m s.n.m.; clima cálido-subhúmedo Aw (w) (i) g, temperatura media anual de 22 °C y precipitación promedio anual de 1.200 mm. Durante la fase experimental se registraron temperaturas máximas de 31 °C y mínimas de 13 °C. El ensayo se efectuó bajo malla sombra de color negra, para mitigar la radiación solar.

Diseño experimental. El diseño experimental fue completamente al azar, con seis tratamientos y cuatro repeticiones, en total 24 parcelas experimentales. Los tratamientos fueron: 1) 50 % Bocashi (B) + 50 % Suelo (S) + 20 % Biofertilizante (Bio) (1:1 de lixiviado de lombriz (LL) y microorganismos eficientes (ME)); 2) 50 % lombricomposta (LC) + 50 % S + 20 % Bio; 3) 100 % S + 20 % Bio; 4) 50 % B + 50 % S, 5) 50 % LC + 50 % S y 6) 100 % S. Cada repetición estuvo representada por cinco plantas de lechuga. En total se sembraron 120 plántulas (6 × 4 × 5). El ensayo se estableció en bolsas de polietileno con dimensiones de 30 × 30 × 40 cm, llenadas con los sustratos experimentales descritos. Las bolsas se colocaron contiguas a distancias de 20 y 50 cm entre filas.

La proporción de abonos orgánicos y suelo utilizada se basó en los resultados reportados por Aguilar Jiménez *et al.* (2024), correspondientes a la producción de hortalizas bajo condiciones de manejo similares en el territorio de estudio. Las enmiendas orgánicas B, LC y LL fueron elaboradas en el módulo de abonos orgánicos del campo experimental, siguiendo la metodología propuesta por Román *et al.* (2013). Para la preparación de los ME, se consideraron las recomendaciones de Suchini Ramírez (2012). Una vez preparadas las enmiendas, se tomó una muestra compuesta de cada una, así como del LL y se enviaron al Laboratorio de Suelos del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), de la Universidad de Guadalajara, para su análisis fisicoquímico. En el caso de los ME, tras su preparación y activación, se envió una muestra a FERTILAB®, para su correspondiente análisis fisicoquímico.

Las principales características fisicoquímicas de las enmiendas orgánicas y de cada componente del biofertilizante fueron: **B:** pH 8,86, MO 19,73 %, C/N 19,73, N 5742 mg/kg, P 5382 mg/kg y K 15386 mg/kg; **LC:** pH 8,82, MO 38,93 %, C/N 18,26, N 12364 mg/kg, P 8538 mg/kg y K 21852 mg/kg; **LL:** pH 7,95, MO 0,15 %, C/N 9,94, N 92 mg/kg, P 1438 mg/kg y K 11937 mg/kg; **ME:** pH 3,82, MO 5,52 %, C/N 13,10, N 2400 mg/kg, P 68 mg/kg y K 700 mg/kg.

El suelo fue colectado en la parte baja del campo experimental (suelo aluvial) y tamizado en malla metálica zaranda de 1,5 × 1,5 cm. Se tomó una muestra compuesta del suelo para su posterior análisis en el Laboratorio de suelos del CUCBA de la Universidad de Guadalajara. Las características fisicoquímicas fueron: textura franca, pH 5,4, MO 1,9 %, N 0,90 %, Da 1,34 g/cm³, P Olsen 21,79 mg/kg, K 0,09 cmol/kg, Ca 2,80 cmol/kg, Mg 3,34 cmol/kg y CIC 28,18 cmol/kg.

Material vegetativo y siembra. Se utilizaron plántulas de lechuga romana, variedad Maximus RZ, producidas por Rijk Zwaan®.

Las plántulas se trasplantaron a bolsas a los 20 días después de la siembra y con 0,15 m de altura, aproximadamente.

Manejo del cultivo. Consistió en la aplicación diaria de riego a las plantas, ajustado según su etapa de crecimiento y por las mañanas, con el fin de mantener la humedad del sustrato. Además, cada ocho días, después del trasplante (DDT), se asperjó el biofertilizante en los tratamientos experimentales descritos, utilizando una dosis de 200 mL/L de agua (100 mL de LL y 100 mL de ME). No se presentaron plagas, ni enfermedades que ameritaran el uso de métodos de control. La fase experimental presentó una duración de 45 DDT a la cosecha.

Variables evaluadas. Durante la fase vegetativa se registró el número, el largo y ancho de hojas a los 15, 30 y 45 DDT y, al final del ensayo, se midió la altura, el diámetro medio y el peso de la planta.

Análisis estadístico. Las variables registradas se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación de medias de Tukey ($p \geq 0,05$). Asimismo, se realizaron correlaciones simples de Pearson ($p \geq 0,05$), utilizando el paquete estadístico SPSS, versión 24. Se aplicó un análisis de regresión lineal múltiple con los parámetros productivos finales (45 DDT), verificando el cumplimiento de los supuestos teóricos, mediante el método de selección por pasos (*stepwise*).

Se definió como variable dependiente el peso final de las plantas de lechuga (PP), mientras que el ancho (AP) y el largo de planta (LP), se consideraron como variables independientes. Asimismo, se elaboró una matriz de similitud basada en el índice de Bray-Curtis y un análisis de redundancia, basado en distancias no euclidianas (*dbRDA*), en combinación con un análisis de similitud estadística mediante 999 permutaciones (*SIMPROF*) y correlaciones múltiples parciales. Estos procedimientos se llevaron a cabo utilizando el paquete estadístico PRIMER v7, conforme a las indicaciones del manual correspondiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de hojas. A los 15 DDT, se observó una tendencia hacia un mayor número de hojas en el tratamiento con suelo (S) (Tabla 1), lo que sugiere que el sustrato proporcionó condiciones óptimas para el desarrollo inicial de las plantas de lechuga. Según la normativa mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2000), el suelo utilizado en el experimento presentó contenidos medios de materia orgánica (MO) y niveles elevados de fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y capacidad de intercambio catiónico (CIC), lo cual, favoreció el establecimiento de las plántulas. Pineda Pineda *et al.* (2020) señalan que, cuando las plantas se desarrollan en condiciones ambientales adecuadas, sus procesos fisiológicos se llevan a cabo de manera eficiente.

Tabla 1. Respuesta en el número de hojas de *Lactuca sativa* L. al uso de enmiendas orgánicas.

Tratamiento	15DDT	30DDT	45DDT
B + S + Bio	8,91 ± 1,16 ^c	16,83 ± 2,64 ^a	18,33 ± 0,94 ^a
LC + S + Bio	10,66 ± 1,43 ^{bc}	13,49 ± 1,66 ^{ab}	16,66 ± 2,22 ^a
S + Bio	11,83 ± 0,42 ^{bc}	11,49 ± 0,99 ^b	16,16 ± 1,47 ^a
B + S	12,33 ± 1,56 ^{ab}	13,66 ± 0,94 ^{ab}	18,75 ± 4,56 ^a
LC + S	13,08 ± 1,03 ^{ab}	12,25 ± 0,91 ^b	20,83 ± 4,74 ^a
S	14,33 ± 1,90 ^a	11,58 ± 1,06 ^b	14,91 ± 2,88 ^a
<i>P-Valor</i>	0,000**	0,001**	0,163ns
C, V, (%)	17,92	17,32	19,41

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre tratamientos. **diferencia altamente significativa (Tukey $p \leq 0,01$), ns: no significativo. DDT: días después del trasplante; B: bocashi; LC: lombricomposta; S: suelo; Bio: biofertilizantes.

Los efectos de las enmiendas orgánicas se manifestaron con mayor claridad en etapas posteriores del cultivo. Álvarez-Solís *et al.* (2016) reportaron que el bocashi produce efectos en el crecimiento vegetal entre dos y tres semanas después de su aplicación, mientras que Arancon *et al.* (2005) documentaron mejoras en plantas de pimiento entre la cuarta y sexta semana, tras la incorporación de vermicomposta. Estos tiempos pueden variar según la respuesta específica de cada cultivo, ya que factores, como la fisiología de la planta, las condiciones ambientales y la interacción con el suelo, influyen en la velocidad de asimilación de los nutrientes.

A los 30 DDT, el tratamiento con bocashi + suelo + biofertilizante (B+S+Bio) presentó el mayor número de hojas por planta ($p < 0,001$), lo que evidencia el impacto positivo de la combinación de enmiendas

orgánicas sólidas y biofertilizantes foliares. Cotrina-Cabello *et al.* (2020) señalan que los abonos orgánicos mejoran de manera sistemática las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas.

El bocashi, debido a su densidad, mejora la permeabilidad del sustrato, lo que facilita la absorción de agua y nutrientes. Además, su pH alcalino contribuye a neutralizar la acidez característica de los suelos tropicales en la región de estudio. Por otro lado, los biofertilizantes foliares promueven el desarrollo vegetal, ya que contienen una alta concentración de microbiota benéfica y compuestos orgánicos esenciales, como ácidos fúlvicos, húmicos y huminas, que favorecen la absorción de nutrientes (Luna Feijoo & Mesa Reinaldo, 2016).

Largo y ancho de hojas. A los 15 DDT, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en cuanto al largo y ancho de hoja (Tabla 2); sin embargo, a los 30 DDT se evidenció una respuesta diferenciada en el crecimiento, con valores superiores de largo y ancho de hoja en los tratamientos que incluyeron enmiendas orgánicas. Esto sugiere que, a partir de este momento, dichas enmiendas comienzan a influir en el desarrollo de la planta.

El tratamiento LC + S presentó los valores más altos, aunque sin diferencias estadísticas significativas respecto a otros tratamientos. Esto sugiere, que la incorporación de lombricomposta al suelo podría favorecer la dinámica nutricional y la actividad microbiana, promoviendo procesos beneficiosos para el desarrollo vegetal, como la mineralización de nutrientes y la mejora en la disponibilidad de elementos esenciales en el suelo. Pérez-Pérez et al. (2018) destacan que las enmiendas orgánicas influyen en los ciclos biogeoquímicos, optimizando la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas.

En estudios previos, Özbucak y Alan (2024) reportaron un mayor crecimiento foliar en lechuga tras la aplicación de lombricomposta, lo cual concuerda con los resultados observados en el presente estudio. Aunque en este caso no se encontraron diferencias estadísticas significativas, la tendencia de los datos sugiere que el

LC + S pudo haber contribuido a mejorar la estructura del suelo y la nutrición vegetal, factores clave para el desarrollo óptimo del cultivo.

Los abonos orgánicos tienen el potencial de mejorar el contenido de materia orgánica (MO) y de nutrientes en los sustratos agrícolas, favoreciendo la disponibilidad de elementos esenciales para el desarrollo vegetal. Diversos estudios, como el de Schröder et al. (2021), demuestran que la aplicación de composta y lombricomposta contribuye al mejoramiento de la fertilidad del suelo, optimizando la absorción de nutrientes y el equilibrio químico del sustrato. Además, estos fertilizantes naturales pueden influir en la conductividad eléctrica (C.E.), el fósforo disponible y los niveles de MO, generando efectos positivos en la dinámica del cultivo y en la actividad microbiológica del suelo.

El ancho medio de las hojas no presentó diferencias estadísticas a los 15 DDT; sin embargo, a los 30 DDT, los tratamientos con suelo solo y suelo combinado con LC alcanzaron los valores más altos en este parámetro (Tabla 2). Schröder et al. (2021) reportaron un mayor rendimiento y absorción total de P, K, Ca y Mg en cultivos de lechuga tratados con LC, lo que destaca su capacidad para mejorar la nutrición vegetal.

Tabla 2. Efecto del uso de enmiendas orgánicas en el largo y ancho de la hoja de *Lactuca sativa* L.

Tratamiento	15DDT		30DDT	
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Ancho (cm)
B + S + Bio	14,66 ± 1,98 ^a	6,05 ± 0,72 ^a	20,93 ± 2,56 ^b	9,70 ± 1,07 ^b
LC + S + Bio	16,18 ± 3,63 ^a	7,26 ± 1,42 ^a	25,38 ± 4,36 ^{ab}	13,04 ± 2,87 ^{ab}
S + Bio	16,91 ± 0,89 ^a	7,24 ± 0,48 ^a	25,72 ± 1,55 ^{ab}	12,96 ± 1,52 ^{ab}
B + S	15,87 ± 0,94 ^a	6,40 ± 0,42 ^a	23,94 ± 2,14 ^{ab}	12,13 ± 1,10 ^{ab}
LC + S	15,78 ± 1,44 ^a	6,37 ± 0,82 ^a	27,10 ± 1,21 ^a	14,82 ± 0,66 ^a
S	18,01 ± 1,16 ^a	7,33 ± 0,65 ^a	25,23 ± 1,52 ^{ab}	13,73 ± 0,86 ^a
<i>P-Valor</i>	0,27ns	0,149ns	0,04*	0,004*
C, V, (%)	12,36	13,27	11,89	16,59

Letras diferentes en la misma columna señalan diferencias estadísticas entre tratamientos. *diferencia significativa (Tukey ≤ 0,05), ns: no significativo. DDT: días después del trasplante; B: bocashi; LC: lombricomposta; S: suelo; Bio: biofertilizantes.

Este parámetro de crecimiento vegetativo no determina directamente la productividad de la lechuga, ya que lo más relevante para el rendimiento final es el número y el largo de hojas, el peso y el diámetro de la planta.

Los abonos orgánicos mejoran las propiedades de los sustratos agrícolas y favorecen el crecimiento vegetativo de las plantas cultivadas. En este estudio, LC presentó valores elevados en el ancho de hoja, lo que podría estar relacionado con su alto contenido de macro y micronutrientes, así como con sus beneficios agronómicos. Martínez-Scott y Ruiz-Hernández (2018) señalan que la LC mejora la estructura del sustrato y favorece la retención de agua, lo que podría influir positivamente en la respuesta fisiológica del cultivo.

Parámetros productivos. Los parámetros productivos analizados, como el largo, el diámetro medio y el peso de la planta, mostraron diferencias estadísticas, con un impacto positivo en los tratamientos que combinaron abonos orgánicos sólidos y biofertilizantes líquidos (Tabla 3). En las tres variables evaluadas, los sustratos mezclados con LC destacaron, ya que el tratamiento LC + S presentó la mayor altura y diámetro medio de planta ($p < 0,05$). En cuanto al peso de la planta, el mejor resultado se obtuvo con la combinación LC + S + Bio ($p < 0,001$), lo que indica que el uso conjunto de estas ecotecnologías optimiza una de las variables clave para la productividad del cultivo de lechuga.

Tabla 3. Parámetros productivos finales de *Lactuca sativa* L. a los 45DDT.

Tratamiento	Altura de Planta (cm)	Diámetro de Planta (cm)	Peso de planta (g)
B + S + Bio	29,50 ± 0,99 ^{ab}	9,79 ± 1,14 ^a	205,75 ± 10,51 ^{abc}
LC + S + Bio	31,24 ± 1,64 ^a	9,27 ± 1,18 ^a	288,50 ± 70,27 ^a
S + Bio	28,41 ± 0,87 ^{ab}	8,23 ± 0,52 ^{ab}	175,33 ± 36,78 ^{bc}
B + S	28,83 ± 1,57 ^{ab}	8,79 ± 0,76 ^{ab}	169,58 ± 39,46 ^{bc}
LC + S	31,83 ± 3,08 ^a	10,00 ± 2,09 ^a	243,75 ± 65,20 ^{ab}
S	26,08 ± 2,68 ^b	6,39 ± 1,23 ^b	115,16 ± 32,46 ^b
<i>P-Valor</i>	0,009**	0,008**	0,001**
C, V, (%)	8,91	18,98	35,22

Letras diferentes en la misma columna señalan diferencias estadísticas entre tratamientos. ** diferencia altamente significativa (Tukey $p \leq 0,001$). DDT: días después del trasplante; B: bocashi; LC: lombricomposta; S: suelo; Bio: biofertilizantes.

Las enmiendas orgánicas favorecen el crecimiento de los cultivos al aportar nutrientes, mejorar la estructura del suelo, regular la temperatura y contribuir a la retención de humedad, lo que influye en el desarrollo, tanto de la parte aérea como de la subterránea de las plantas (Hirzel & Salazar, 2016). La altura y el diámetro de la planta son indicadores esenciales del tamaño de la lechuga romana; por ello, desde una perspectiva comercial, el uso de LC y B, en combinación con el biofertilizante ME + LL al 20 % diluido en agua, permitió obtener ejemplares con mejores características de mercado. Resultados similares fueron reportados por Neri Chávez *et al.* (2017) y Blanco & Reyes (2018). Asimismo, Bhatta (2022) concluye que la aplicación de fertilizantes orgánicos mejora significativamente el crecimiento, rendimiento y calidad de la lechuga, favoreciendo la inocuidad alimentaria y el impacto ambiental del cultivo.

El peso de la planta presentó una correlación directa con la altura ($r = 0,855$) y el ancho de la planta ($r = 0,826$) (Tabla 4), lo que refuerza la relación entre estas variables en la productividad de la lechuga. Desde esta perspectiva, el tratamiento LC + S + Bio mostró los mejores valores de productividad, ya que la LC y su lixiviado, en combinación con ME, influyeron en la formación de plantas más pesadas. Este resultado sugiere que la interacción entre la materia orgánica, la microbiota benéfica y los nutrientes disponibles puede favorecer el crecimiento y desarrollo de la lechuga. En este sentido, Montoya-Jasso *et al.* (2021) destacan que las enmiendas orgánicas incrementan la productividad al mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Tabla 4. Análisis de correlación Pearson de parámetros productivos de lechuga.

	Altura de Planta	Diámetro de Planta	Peso de Planta
Número de Hojas	0,671**	0,754**	0,601**
Altura de Planta		0,801**	0,855**
Diámetro de Planta			0,826**

** Altamente significativo ($p \leq 0,001$).

De igual manera, se determinó una correlación positiva y altamente significativa entre el número de hojas, el diámetro y el peso de la lechuga, lo que indica que, a mayor número de hojas, también se incrementan el tamaño y el peso de la planta; este parámetro es clave para la comercialización de la lechuga, dado que la parte comestible del cultivo son las hojas. Rodríguez Guerra *et al.* (2016) señalan que el uso de abonos orgánicos en hortalizas, como la lechuga, favorece el crecimiento vegetativo y la inocuidad alimentaria, lo que refuerza su relevancia en sistemas de producción basados en principios de agricultura orgánica.

El modelo de regresión fue significativo ($p \leq 0,05$), prediciendo un peso medio de planta de 180.02 g a los 45 DDT en muestras emparejadas, con una correlación de $r = 0,887$ y una diferencia de 13,79 g. El coeficiente de correlación múltiple indica que el modelo

puede predecir, con un coeficiente de determinación (r^2) del 78,7 %, la relación entre las variables independientes y la variable dependiente (peso de planta, PP). La R^2 ajustada señala que las variables independientes explican el 76,7 % de la variabilidad en PP. Según el análisis de varianza ANOVA, se identificó una relación lineal significativa de 38,83 entre la altura y el largo de la planta con el peso de la lechuga, con alta significancia. La figura 1 representa en el eje Y el peso de las plantas (en gramos) y en el eje X, las variables independientes: ancho de planta (AP) y largo de planta (LP).

El análisis multivariado (Figura 2) reveló que no existen diferencias estadísticas globales en los resultados de producción; sin embargo, el peso de la planta fue la variable con mayor influencia en el modelo, según la ordenación de tratamientos y variables (eje dbRDA 1). Se observó que el peso de la planta presentó una mayor asociación

con los tratamientos que incluyeron LC, como parte del sustrato, independientemente de la aplicación foliar del biofertilizante. En contraste, el diámetro y el número de hojas de la lechuga se relacionaron con LC sin aplicación foliar de Bio y B, con aplicación

foliar de Bio. Estos resultados sugieren que el uso de LC como componente del sustrato tiene el mayor impacto sobre las variables de producción analizadas.

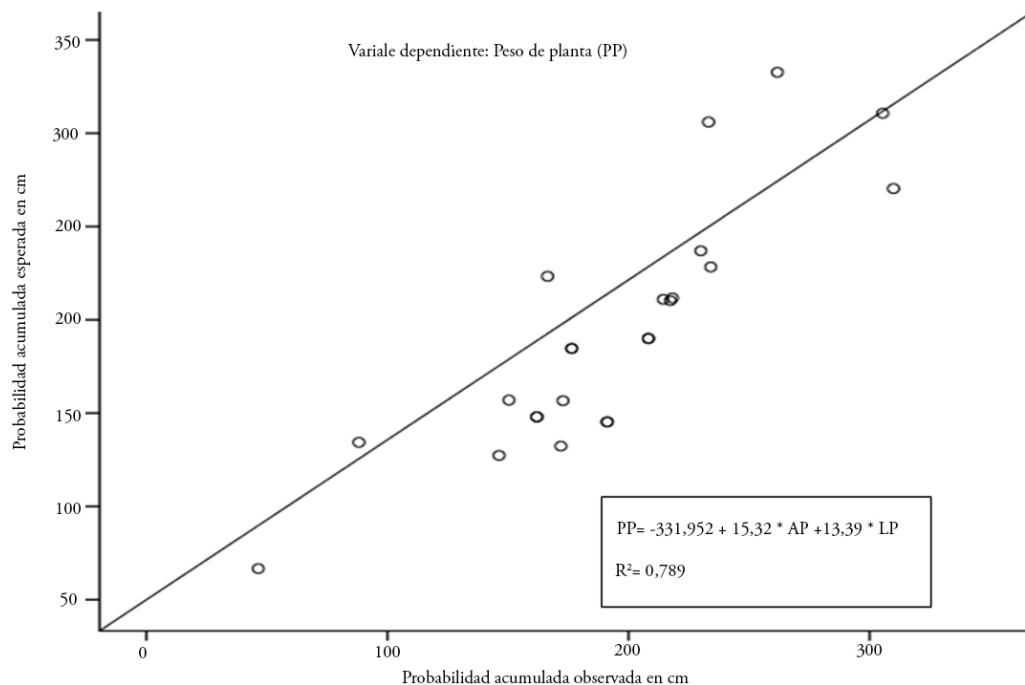


Figura 1. Probabilidad del modelo de regresión lineal múltiple para peso de planta de lechuga. AP: peso de planta; LP: largo de planta.

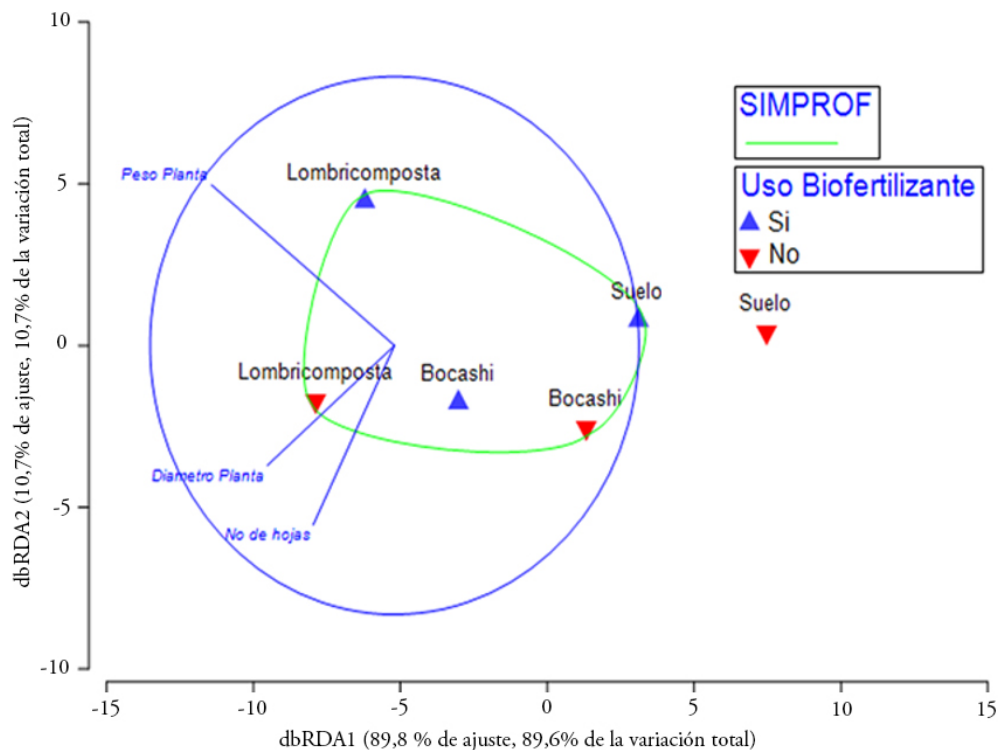


Figura 2. Ordenación basada en un modelo de regresión múltiple de variables de producción con diferentes enmiendas orgánicas. El círculo verde representa la agrupación estadística basado en permutaciones, los vectores representan las correlaciones parciales múltiples (0,5) de las variables de producción. Los ejes (dbRDA) indican los porcentajes de variación de la matriz de respuesta

Para la producción de lechuga romana, la altura y el diámetro de la planta son variables fundamentales, ya que determinan el peso final del cultivo. Su producción orgánica en clima cálido-húmedo se ve favorecida por el uso de LC y B como sustratos, así como la combinación de ME y LL; no obstante, la lombricomposta se posiciona como la enmienda con mayor impacto en la mejora de la productividad de la lechuga en los suelos característicos del territorio de estudio.

Agradecimientos: Se desea agradecer al personal del Centro Universitario de Transferencia de Tecnología, CUTT San Ramón de la Universidad Autónoma de Chiapas, por las facilidades otorgadas para la realización de la investigación. Expresamos un agradecimiento especial a los estudiantes de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad Autónoma de Chiapas, quienes apoyaron durante la fase de campo. **Financiación:** La investigación fue financiada con recursos propios de los autores. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue elaborado y revisado por todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Contribución de los autores:** Carlos Ernesto Aguilar-Jiménez: conceptualización, investigación, metodología, análisis de los datos, escritura borrador original, revisión, edición y supervisión; Isidro Zapata-Hernández y Mariela Beatriz Reyes-Sosa: Conceptualización, análisis de los datos, escritura, edición y supervisión; José Roberto Aguilar-Jiménez y José Reinaldo Díaz-Rivera: Conceptualización y revisión.

REFERENCIAS

- ACEVEDO-ALCALÁ, P.; CRUZ-HERNÁNDEZ, J.; TABOADA-GAYTÁN, O.R. 2020. Abonos orgánicos comerciales, estiércoles locales y fertilización química en la producción de plántula de chile poblano. *Revista Fitotecnica Mexicana*. 43(1):35-44. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.35>
- AGUILAR JIMÉNEZ, C.E.; NANDAYAPA SOLÍS, F.A.; ZAPATA HERNÁNDEZ, I.; GALDÁMEZ GALDÁMEZ, J.; MARTÍNEZ AGUILAR, F.B.; VÁZQUEZ SOLÍS, H. 2024. Uso de enmienda orgánica y microorganismos eficientes en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Siembra*. 11(1):25. <https://doi.org/10.29166/siembra.v11i1.5875>
- ÁLVAREZ-SOLÍS, J.D.; MENDOZA-NÚÑEZ, J.A.; LEÓN-MARTÍNEZ N.S.; CASTELLANOS-ALBORES, J.; GUTIÉRREZ-MICELI, F.A. 2016. Efecto del lixiviado de bokashi y vermicompost sobre el rendimiento y la calidad de pimiento (*Capsicum annuum*) y cebolla (*Allium cepa*) en monocultivo y cultivos asociados. *Ciencia e Investigación Agraria*. 43(2):243-252. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202016000200007>
- ARANCON, N.Q.; EDWARDS, C.A.; BIERMAN, P.; METZGER, J.D.; LUCHT, C. 2005. Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiología*. 49(4):292-306. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2005.02.001>
- BHATTA, S. 2022. Influence of organic fertilizer on growth yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.): A review. *Pharma Innovation*. 11(6):1073-1077.
- BILBAO, M.L.; FREZZA, D. 2022. Lechuga. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. 83p. Disponible desde Internet en: <http://hdl.handle.net/20.500.12123/13040>
- BLANCO, E.L.; REYES, I. 2018. Aplicación de un biosustrato compuesto por microorganismos y roca fosfórica sobre el cultivo de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía*. 35(4):408-434.
- BROWN SMITH, F.; OSORIO ABAD, A.; CEJAS YANES, E.C. 2021. La educación agroambiental en la escuela pedagógica. *Revista Brasileira de Educação do Campo*. 6:e11558-e11558. <http://dx.doi.org/10.20873/uft.rbec.e11558>
- COTRINA-CABELLO, V.R.; ALEJOS-PATÍÑO, I.W.; COTRINA-CABELLO, G.G.; CÓRDOVA-MENDOZA, P.; CÓRDOVA BARRIOS, I.C. 2020. Efecto de abonos orgánicos en suelo agrícola de Purupampa Pano, Perú. *Centro Agrícola*. 47(2):31-40.
- GEORGI, K.; EKATERINA, S.; ALEXANDER, P.; ALEXANDER, R.; KIRILL, Y.; ANDREY, V. 2022. Sewage sludge as an object of vermicomposting. *Bioresource Technology Reports*. 20:101281. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101281>
- HIRZEL, C.J.; SALAZAR, S.F. 2016. Guía de manejo y buenas prácticas de aplicación de enmiendas orgánicas en agricultura. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chillán, Chile. 56p. Disponible desde Internet en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6506>
- LUNA FEIJOO, M.A.; MESA-REINALDO, J.R. 2016. Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. *Revista Científica Agroecosistemas*. 4(2):31-40.
- MARTÍNEZ-SCOTT, M.M.; RUIZ-HERNÁNDEZ, J. 2018. Efecto de la aplicación de lixiviados de lombriz y ácidos húmicos en la producción de pimiento morrón (*Capsicum annuum* var. Annumm). *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*. 5(15):19-24.
- MESA-REINALDO, J.R. 2020. Microorganismos eficientes y su empleo en la protección fitosanitaria de los cultivos. *Revista Científica Agroecosistemas*. 8(2):102-109.
- MONTROYA-JASSO, V.M.; ORDAZ-CHAPARRO, V.M.; BENEDICTO-VALDÉS, G.S.; RUIZ-BELLO, A.; ARREOLA-TOSTADO, J.M. 2021. Caracterización química y física de sustratos enriquecidos con minerales y composta. *Terra Latinoamericana*. 39:1-10. e601. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.601>

- NERI CHÁVEZ, J.C.; COLLAZOS SILVA, R.; HUAMÁN HUAMÁN, E.; OLIVA, M. 2017. Aplicación de abonos orgánicos y biofertilizante en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.), distrito de Chachapoyas. Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable. 1(1):38-46. <https://doi.org/10.25127/aps.20171.348>
- ÖZBUCAK T.; ALAN, H. 2024. Influence of Solid and Liquid Red California Vermicompost (*Eisenia foetida*) on Growth and Yield of Lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa* L.). Journal of Agricultural Sciences (Tarim Bilimleri Dergisi). 30(2):336-344. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.1259671>
- PALACIOS VALENZUELA, A.B.; GRANADOS OLIVAS, A.; SOTO PADILLA, M.Y.; FLORES TAVIZÓN, E. 2020. Composición mineral de lixiviados (biofertilizante) de lombriz roja californiana. Tecnociencia Chihuahua. 14(3):166-182. <https://doi.org/10.54167/tch.v14i3.751>
- PERALTA-ANTONIO, N.; BERNARDO DE FREITAS, G.; WATTHIER, M.; SILVA SANTOS, R.H. 2019. Compost, bokashi y microorganismos eficientes: sus beneficios en cultivos sucesivos de brócolis. IDESIA. 37(2):59-66. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000200059>
- PÉREZ-PÉREZ, J.A.; ESPINOSA-VICTORIA, D.; SILVA-ROJAS, H.V.; LÓPEZ-REYES, L. 2018. Diversidad de la microbiota bacteriana cultivable del tracto digestivo de *Eisenia fetida*. Revista Fitotecnia Mexicana. 41(3):255-264.
- PINEDA PINEDA, J.; MORENO ROBLERO, M.D.J.; COLINAS LEÓN, M.T.; CASTELLANOS, J.S. 2020. El oxígeno en la zona radical y su efecto en las plantas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 11(4):931-943. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2128>
- RAMOS AGÜERO, D.; TERRY ALFONSO, E. 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Cultivos Tropicales. 35(4):52-59.
- RODRÍGUEZ GUERRA, Y.; ALEMÁN PÉREZ, R.D.; DOMÍNGUEZ BRITO, J.; SORIA RE, S.; HERNÁNDEZ RAMOS, H.; SALAZAR GAIBOR, C.; JARA ARGUELLO, M.D.R. 2016. Efecto de dos abonos orgánicos (compost y biol) sobre el desarrollo morfológico de *Beta vulgaris* L. var. *cicla* bajo condiciones de invernadero. Revista Amazónica Ciencia y Tecnología. 5(2):103-117. <https://doi.org/10.59410/RACYT-v05n02ep01-0137>
- ROMÁN, P.; MARTÍNEZ, M.M.; PANTOJA, A. 2013. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias de América Latina. FAO. Santiago, Chile. 112p. Disponible desde Internet en: <https://www.fao.org/docrep/019/i3388s/i3388s.pdf>
- SCHRÖDER, C.; HÄFNER, F.; LARSEN, O.C.; KRAUSE, A. 2021. Urban organic waste for urban farming: Growing lettuce using vermicompost and thermophilic compost. Agronomy. 11(6):1175. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061175>
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. 2000. Norma Oficial Mexicana (NOM) NOM-021-SEMARNAT. 2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. México. 73P. Disponible desde Internet en: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>
- SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA, SIAP. 2022. Anuario estadístico de la producción agrícola. Disponible desde Internet en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SUCHINI RAMÍREZ, J.G. 2012. Innovaciones agroecológicas para una producción agropecuaria sostenible en la región del Trifinio. Serie Técnica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica. Disponible desde Internet en: <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7790/118.pdf?sequence=2&isAllowed=y>