



USO DE BIOCARBON Y BOCASHI EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS ORGÁNICAS DE CHILE JALAPEÑO (*Capsicum annuum* L.)†

[USE OF BIOCHAR AND BOCASHI IN THE PRODUCTION OF ORGANIC PLANTULES OF JALAPEÑO CHILI (*Capsicum annuum* L.)]

Carlos Ernesto Aguilar-Jiménez¹, Isidro Zapata-Hernández¹,
Mariela Beatriz Reyes-Sosa^{2*}, Jesús Alberto Gurgua-Arroyo¹
and Franklin B. Martínez-Aguilar¹

¹ Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agronómicas Campus V.
Carretera Villaflores-Tuxtla Gutiérrez Km. 7. C.P. 30470. Villaflores, Chiapas,
México.

² Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti).
Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería. Avenida Industrias no
contaminantes por Anillo periférico Norte s/n, CP 97203, Mérida, Yucatán, México.

Email: mreyes@secihti.mx *

*Corresponding author

SUMMARY

Background: The production of high quality seedlings locally is an area of opportunity for the development of organic agriculture in south-southeastern Mexico. In the case of jalapeño bell pepper production, a vegetable with high demand for national and international consumption, the use of alternative substrates to produce organic seedlings is a necessity in tropical and subtropical regions. Biochar combined with organic amendments has been shown to be potentially beneficial in a variety of crops in support of organic agriculture. **Objective:** To evaluate the effect of biochar used in combination with bocashi to produce jalapeño bell pepper seedlings. **Methodology:** Seven treatments were defined, biochar at 10, 20, 30, 30, 40 and 50 % + bocashi, plus two controls, a commercial organic fertilizer (peat most at 70 % + perlite at 30 %) and another natural soil of the region (alluvial soil). The research was descriptive and under a completely randomized design the systems were exposed with four replicates, each experimental unit was represented by 33 cavities in germination trays of 77 spaces, in each germination tray two replicates were established. The biochar was activated with efficient microorganisms through an anaerobic fermentation process. Hybrid jalapeño bell pepper seed was used. A total of 132 seeds were sown for each treatment in 924 planting points in total. Management consisted of daily irrigation. In addition, a foliar biofertilizer based on a mixture of efficient microorganisms and earthworm leachate was applied weekly. The variables evaluated were days to emergence, number of leaves, plant height, stem diameter, total length, green and dry weight of seedlings. ANOVA and Tukey's mean tests were performed. **Results:** The use of biochar mixed with bocashi in its different proportions benefited seedling emergence and gave better results in the variables evaluated than the controls. The proportions with the highest percentage of bocashi excelled in all variables. **Implications:** The combined use of biochar with bocashi represents a substrate with potential to produce organic seedlings of jalapeño peppers in the subtropical regions of south-southeastern Mexico. **Conclusions:** The combined use of bocashi (80%) and biochar (20%) constitute a technically feasible alternative for its implementation in the production of jalapeño bell pepper seedlings. This research contributes to the development of organic agriculture in the south-southeast of Mexico.

Key words: Agro-ecological alternative; biochar; bocashi; organic amendment; *Capsicum*

RESUMEN

Antecedentes: La producción de plantines de alta calidad a nivel local es un área de oportunidad para el desarrollo de la agricultura orgánica en el sur-sureste de México. En el caso de la producción de chile jalapeño, hortaliza con alta demanda de consumo nacional e internacional, el uso de sustratos alternativos para la producción de plántulas orgánicas constituye una necesidad en las regiones tropicales y subtropicales. El biocarbón combinado con enmiendas orgánicas ha demostrado ser potencialmente beneficioso en diversos cultivos en apoyo a la agricultura orgánica. **Objetivo:**

† Submitted September 26, 2024 – Accepted May 23, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5886>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = C.E. Aguilar-Jiménez: <http://orcid.org/0000-0002-6332-1771>; I. Zapata-Hernández: <http://orcid.org/0000-0003-1732-7993>; M.B. Reyes-Sosa: <http://orcid.org/0000-0002-9977-4246>; J.A. Gurgua-Arroyo: <http://orcid.org/0009-0003-1708-9080>; F.B. Martínez-Aguilar: <http://orcid.org/0000-0003-2666-5863>

Evaluar el efecto del biocarbón usado de forma combinada con bocashi para la producción de plántulas de chile jalapeño. **Metodología:** Se definieron siete tratamientos, biocarbón al 10, 20, 30, 40 y 50 % + bocashi, además de dos testigos, un abono orgánico comercial (peat most al 70 % + perlita al 30 %) y otro suelo natural de la región (suelo aluvial). La investigación fue descriptiva, bajo un diseño completamente al azar se expusieron los sistemas con cuatro réplicas, cada unidad experimental estuvo representado por 33 cavidades en charolas germinadoras de 77 espacios, en cada charola germinadora se establecieron dos repeticiones. El biocarbón se activó con microorganismos eficientes a través de un proceso de fermentación anaeróbica. Se utilizó semilla de chile jalapeño híbrido. En total se sembraron 132 semillas por cada tratamiento en 924 puntos de siembra en total. El manejo consistió en realizar riegos de forma diaria. Adicionalmente de forma semanal se aplicó un biofertilizante foliar a base de la mezcla de microorganismos eficientes y lixiviado de lombriz. Las variables evaluadas fueron: días a emergencia, número de hojas, altura de planta, diámetro de tallo, largo total, peso verde y seco de plántulas. Se realizó ANOVA, pruebas de medias de Tukey. **Resultados:** El uso de biocarbón mezclado con bocashi en sus diferentes proporciones benefició la emergencia de las plántulas, además en las variables evaluadas dieron mejores resultados que los testigos. Las proporciones con mayor porcentaje de bocashi sobresalieron en todas las variables. **Implicaciones:** El uso combinado de biocarbón con bocashi representa un sustrato con potencial para la producción de plantulas orgánicas de chile jalapeño en las regiones subtropicales del sur sureste de México. **Conclusiones:** El uso combinado de bocashi (80%) y biocarbón (20%) constituyen una alternativa técnicamente viable para su implementación en la producción de plántulas de chile jalapeño. Esta investigación contribuye al desarrollo de la agricultura orgánica en el sur-sureste de México. **Palabras clave:** Alternativa agroecológica, biocarbón, bocashi, enmienda orgánica, *Capsicum*

INTRODUCCION

El chile (*Capsicum* spp) constituye una de las hortalizas más cultivadas a nivel mundial, su consumo *per cápita* origina altos volúmenes de producción (Vásquez *et al.*, 2022). El chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) es parte fundamental en la cocina mexicana, su consumo en fresco o procesado hace que sea el picante más cultivado en el territorio mexicano, lo que genera una importante derrama económica y sea una de las hortalizas más extensamente producida por su popularidad gastronómica (Aguirre-Mancilla *et al.*, 2017). El chile jalapeño, llamado de esa manera debido a que el centro de producción estaba ubicado en Xalapa, una ciudad mexicana que se encuentra en el estado de Veracruz; no obstante, en México el chile jalapeño también es conocido como chile cuaresmeño, jarocho, guachinangos, entre otros (SADER, 2022). Perteneció a la familia de las solanáceas, su fruto es carnoso, hueco, con venas y semillas al interior, cáscara fina pero resistente, coloración verde y con variaciones naranjas a rojizas según va madurando, con olores y sabores propios sin importar el color (Rodríguez & Vidal, 2021). De acuerdo con datos oficiales, México ocupó el cuarto lugar en la producción de esta hortaliza en el 2022, lo que produjo un total de mil 124 millones de dólares, y posicionó este cultivo como el segundo mayor generador de divisas en su categoría (SIAP, 2023a). Para el año 2023 se produjo 3,681,061 toneladas de chile jalapeño, de los cuales Chiapas aportó 18,845 toneladas (SIAP, 2023b). Chiapas, por su diversidad de características geográficas, topográficas y climáticas, tiene gran potencial para la producción de este chile. En la Frailesca de Chiapas, México, se produce chile jalapeño de manera limitada, de acuerdo con el SIAP (2023b) en Villa Corzo se produjo 596.78 toneladas y en Villaflores 210.32 toneladas, sin embargo, los rendimientos en ambos municipios son 34.10 y 25.75

toneladas por hectárea respectivamente, ambos rendimientos por encima de la media nacional de 21.26 toneladas por hectárea. Cabe destacar que los sistemas de producción se fundamentan en la agricultura convencional, con una alta inyección de insumos sintéticos. Las plántulas que típicamente se siembran en la Frailesca provienen de otras regiones del estado, siendo las condiciones ambientales y la disponibilidad de los sustratos comerciales las principales limitantes para la producción local de plantines.

La producción local de plántulas de chile jalapeño para su comercialización en el territorio constituye un área de oportunidad; la calidad de estas se garantizaría si estas se producen bajo el enfoque de la agricultura orgánica. La producción de cultivos orgánicos constituye una demanda de actualidad que beneficia a la salud de los agroecosistemas, de los productores y de los consumidores, además de un importante nicho del mercado tanto nacional como internacional. Su producción sistemática bajo el principio de la agricultura orgánica se fundamenta en gran parte al representar una oportunidad viable para que los pequeños agricultores puedan acceder a los mercados nacionales e internacionales (Lara *et al.*, 2017). Bajo el enfoque de la agricultura orgánica, los cultivos se manejan de forma integrada y apegados al concepto de la sostenibilidad ambiental y socioeconómica, buscando maximizar el potencial de los recursos locales y el desarrollo de los ciclos biogeoquímicos como estrategia fundamental para manejar los factores de producción (Muhie, 2022). México es considerado un país con alto porcentaje de alimentos orgánicos, producidos fundamentalmente en sistemas tradicionales de autoconsumo (López-Salazar, 2019), procesos productivos que se han heredado de generación en generación en el territorio Mesoamericano, que, además constituye uno de los principales centros mundiales de origen de la

agricultura. La producción orgánica, se fundamenta en el uso de las prácticas agroecológicas pertinentes localmente desde la perspectiva socioeconómica, tecnológica y ecológica, que contribuyen con el manejo de los sistemas de producción; la adopción de estas estará fundamentada en la socialización de las experiencias entre los actores locales a través de las metodologías participativas (Yong-Chou *et al.*, 2016). La producción orgánica de chile jalapeño demanda la producción local de plántulas bajo los principios de la agricultura ecológica, que garanticen la trazabilidad de los procesos productivos, con adaptación a las condiciones locales y cambiantes en los ambientes tropicales. Los abonos orgánicos son fundamentales para el desarrollo de la agricultura orgánica, estos se producen con residuos orgánicos locales bajo procesos de fermentación anaeróbica (Cancino-Méndez *et al.*, 2018).

La producción comercial de plantas hortícolas en México, se fundamentan en el uso de sustratos comerciales elaborados con materiales externos y difíciles de conseguir en el mercado local, que también originan un alto costo en muchas regiones del país (Lazcano-Bello *et al.*, 2021), como es el caso de sur sureste. Se destacan dentro de las alternativas para la producción de plantas de chile jalapeño a los abonos orgánicos usados como sustratos (Luna-Fletes *et al.*, 2021). El biocarbón (biochar) es un abono orgánico que se elabora con materiales locales, no obstante, esta tecnología está limitada en el mercado (Medina & Medina, 2018). Este material tiene antecedentes desde hace cientos o miles de años, ya que habitantes de Amazonía lo produjeron calentando la materia orgánica con el fin de mejorar los suelos y dejarlos ricos y fértiles haciéndolos llamar “*terra preta*” (Rodríguez-Eugenio *et al.*, 2019). El biocarbón es un material sólido y poroso que se genera a partir de la biomasa (residuos forestales o de la agricultura), los cuales pasan por un proceso llamado “*pirolisis*” que contribuye con la reducción de las emisiones de efecto invernadero y beneficia las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos agrícolas (Aguirre-Forero *et al.*, 2023). El uso del biocarbón como sustrato y mejorador de suelos agrícolas tiene impactos positivos en las propiedades edáficas de interés agronómico (Soto *et al.*, 2023). El uso del biocarbón puede ser mejorado con enmiendas orgánicas y microorganismos benéficos, promoviendo el crecimiento y la defensa de las plantas ante las plagas (González-Marquetti *et al.*, 2020). El uso de biocarbón mezclado con sustratos orgánicos, como el bocashi, puede reemplazar el uso de turbas comerciales no renovables y permitiría reducir los costos de producción y promover un manejo sostenible (Pérez-Cabrera *et al.*, 2021). El bocashi es una enmienda orgánica cuyos beneficios agronómicos son ampliamente conocidos a nivel mundial (Ramos Agüero *et al.*, 2014). La utilización de biocarbón

combinado con abonos orgánicos para la producción de plantas de chile jalapeño, constituye una temática poco investigada en la región sur sureste de México. Por lo anterior se planteó la presente investigación con el propósito evaluar el efecto del biocarbón usado de forma combinada con bocashi en diferentes proporciones para la producción de plantas comerciales de *Capsicum annum L.*

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó bajo malla sombra en el Centro Universitario de Transferencia de Tecnología “San Ramon” de la Facultad de Ciencias Agronómicas Campus V de la Universidad Autónoma de Chiapas, localizado en el municipio de Villaflores, Chiapas, México, cuyas coordenadas geográficas son 16° 14’ 01” de latitud norte y 93° 16’ 00” de longitud oeste, se encuentra a una altitud de 600 msnm, ubicada en los límites de la Depresión Central y de la Sierra Madre, en la parte centro occidental de Chiapas. El clima es cálido-subhúmedo AW₁ (w”) (i) g, con temperatura media de 22 °C y precipitación pluvial de 1200 mm.

El diseño que se utilizó fue completamente al azar, en donde se aleatorizaron siete tratamientos (Tabla 1), con cuatro repeticiones, acumulando 28 parcelas experimentales; el ensayo se llevó cabo en charolas germinadoras de unicel de 77 cavidades (160 mL c/u) de las cuales 33 cavidades se ocuparon para cada una de las repeticiones, es decir, por cada tratamiento se utilizaron dos charolas y en cada charola germinadora se establecieron dos repeticiones, utilizando en total 14 charolas germinadoras para la investigación. El bocashi se preparó de acuerdo con lo sugerido por Román *et al.* (2013), usando estiércol bovino, paja seca molida de gramínea, suelo aluvial, salvado de trigo, melaza de caña, carbón molido, levadura pan y agua, las características se muestran en la tabla 2. Las proporciones de mezclas de biocarbón con bocashi se fundamentaron en resultados de investigaciones reportadas por Schmidt *et al.* (2014), Pérez-Cabrera *et al.* (2021) y Aguirre-Forero *et al.* (2023). La utilización de peat moss + perlita se debió a que fue la única opción de sustrato comercial en el mercado local, algunas de las principales características de este son descritas por Alcalá *et al.* (2020). El sustrato tradicional (suelo) estuvo representado por un suelo típico aluvial cuyas características principales son: pH 5.8; M.O. 2.5 %; N 0.09 %; P 12.41 mg.kg⁻¹; K, Ca, Mg y CIC 0.03, 0.80, 1.45, y 10.6 cmol.kg⁻¹ respectivamente; Da 1.48 g.cm⁻³, con textura arena migajosa; análisis realizados de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

El carbón se adquirió en el mercado local, mismo que se produce bajo el proceso de pirolisis lenta. Éste se trituró con la ayuda de un mazo metálico, y se tamizó con una malla metálica con cuadrantes de 1.0 cm × 1.0

cm. Posteriormente se procedió a su activación de acuerdo con lo sugerido por García Batista *et al.* (2020), para lo cual se mezcló con Microorganismos Eficientes (EM) sólidos y líquidos hasta alcanzar una humedad de 70 % aproximadamente. Para su posterior uso se sometió a un proceso de fermentación anaeróbica que consistió en dejar en reposo herméticamente por 15 días la mezcla colocada en capas compactadas dentro de recipientes de 19 L. Pasado este tiempo el biocarbón se mezcló con el bocashi de acuerdo con lo descrito en la tabla 1 y se llenaron 66 cavidades por charola, dejando una fila de separación entre las repeticiones.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos experimentales.

Tratamiento	Descripción
1	Sustrato con 90 % de bocashi + 10 % de biocarbón
2	Sustrato con 80 % de bocashi + 20 % de biocarbón
3	Sustrato con 70 % de bocashi + 30 % de biocarbón
4	Sustrato con 60 % de bocashi + 40 % de biocarbón
5	Sustrato con 50 % de bocashi + 50 % de biocarbón
6	Peat moss (70%) + perlita (30%) (Sustrato comercial)
7	100 % suelo (sustrato tradicional)

Tabla 2. Características de interés agronómico de los sustratos utilizados.

Determinación	Bocashi	Biocarbón
pH (1:2)	8.86	5.84
Conductividad eléctrica (dS/m)	0.94	11.14
Materia Orgánica (%)	19.73	59.6
Humedad (%)	24.30	29.1
Cenizas (%)	80.27	40.4
Carbono Orgánico (%)	11.44	34.57
Relación C/N	19.93	18.52
Nitrógeno total (NT) (mg/kg)	5,742	18,670
Fosforo (P) (mg/kg)	5,382	12,198
Potasio (K) (mg/kg)	15,386	29,647
Sodio (Na) (mg/kg)	4,378	7,217
Calcio (Ca) (mg/kg)	19,470	25,389
Magnesio (Mg) (mg/kg)	7,385	6,437
Cobre (Cu) (mg/kg)	21	36
Manganeso (Mn) (mg/kg)	273	423
Hierro (Fe) (mg/kg)	9,328	6,458
Zinc (Zn) (mg/kg)	55	43

Las charolas se colocaron sobre tarimas hechas con bases de madera y vigas metálicas, a una altura de 1.0 m sobre el suelo. La siembra se llevó a cabo de forma manual el día 21 de febrero de 2024, se usaron semillas del chile jalapeño híbrido (F1) variedad *Campeón*® de la marca Sakata. Por cada cavidad de siembra se colocó una semilla, en total se realizó 924 puntos de siembra de los cuales 132 puntos correspondieron a cada tratamiento, y, 33 semillas por cada repetición. El riego se realizó manualmente de forma diaria, desde la siembra hasta los 45 después de la siembra (DDS), lo que evitó el estrés hídrico de las plántulas. El manejo del cultivo se fundamentó en el enfoque de la agricultura orgánica, donde la fertilización consistió en el uso de biocarbón y bocashi de acuerdo con los tratamientos establecidos, adicionalmente, todas las plantas fueron asperjadas semanalmente con una mezcla que consistió en microorganismos eficientes (20 %), lixiviado de lombriz (20 %) y agua.

Para la toma de datos, se seleccionó aleatoriamente 10 plántulas por cada repetición de cada uno de los tratamientos. Las variables colectadas durante la investigación fueron: días a emergencia, número de hojas, con la ayuda de una regla se midió altura de planta, y con un vernier se cuantificó el diámetro de tallo, estos parámetros se cuantificaron cada 15 días. Al final del ensayo, 45 DDS, se cuantificó tamaño y peso total (verde y seco) de la plántula. Las variables colectadas se sometieron a un análisis de varianza y pruebas de medias de Tukey ($p \geq 0.05$), utilizando el paquete estadístico SPSS Versión 24.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar la emergencia de las plántulas se observó una diferencia de 48 horas en los tratamientos donde se usó el bocashi y el biocarbón en comparación con el uso del abono comercial a base de musgo y roca volcánica, y suelo natural (Tabla 3). Los días de emergencia del chile jalapeño bajo condiciones óptimas esta en el rango de 9 a 12 días (SIAP, 2024), mismo tiempo obtenido con el bocashi mezclado con el biocarbón, esto puede deberse al aporte de nutrientes como el nitrógeno y fósforo fácilmente absorbible que aportaron en el suelo natural. El uso de abonos orgánicos ha demostrado que mejora la estructura de los sustratos, contribuye a la retención de la humedad, a regular la temperatura y aporta nutrimentos, lo que facilita la germinación de las semillas y emergencia de las plántulas (Sharifi & Hajiaghahi-Kamrani, 2022).

El número de hojas a los 15 DDS no presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tabla 4); a los 30 y 45 DDS si se presentaron diferencias estadísticas, en cuanto a los 30 DDS resaltan los resultados de los tratamientos con el uso del sustrato bocashi al 80 % y 90 % + 10 % y 20 % de biocarbón respectivamente, es decir, las plántulas

de chile jalapeño presentaron mayor número de hojas en promedio, lo cual indica que estas proporciones de los sustratos presentan las mejores condiciones para el desarrollo foliar, lo anterior puede ser debido a la disponibilidad de los nutrientes y al mejoramiento de las propiedades físicas que promueven el crecimiento y desarrollo del follaje. Medina Saavedra *et al.* (2022) afirman que el bocashi favorece la producción de plántulas de calidad contribuyendo al crecimiento y desarrollo de estas. A los 45 DDS, resalta la proporción de sustrato de bocashi al 60 % + 40 % de biocarbón (8.72 en promedio número de hojas), cabe destacar que los resultados de los tratamientos donde se usó bocashi y biocarbón fueron siempre superiores a los resultados que presentaron el abono orgánico comercial y el suelo natural. Sin embargo, los resultados de estos últimos se encuentran dentro del rango (5.12-7.51) reportado por Acevedo-Alcalá *et al.* (2020) a los 52 DDS en plántulas de la variedad TECAL-CP-16 de chile poblano con diferentes sustratos orgánicos comerciales y estiércoles (bovino y ovino). Lo que señala una respuesta positiva del chile jalapeño a la combinación de los sustratos evaluados; el biocarbón actúa como esponja almacenando los nutrientes y la humedad necesaria durante el desarrollo vegetativo de las plántulas, al respecto Ayaz *et al.* (2021) afirman que el biocarbón no solo potencializa al suelo con nutrientes, sino que además contribuye a la retención de agua y promueve la actividad microbiana.

Tabla 3. Días a emergencia de plántulas *Capsicum annuum* L.

Tratamiento	DDS
90 % de bocashi + 10 % de biocarbón	12
80 % de bocashi + 20 % de biocarbón	12
70 % de bocashi + 30 % de biocarbón	12
60 % de bocashi + 40 % de biocarbón	12
50 % de bocashi + 50 % de biocarbón	12
Peat moss (70%) + perlita (30%)	14
100 % suelo (sustrato tradicional)	14

DDS: Días después de la siembra

Para altura de planta en las tres mediciones se presentaron diferencias significativas (Tabla 5). A los 15 DDS se observa que el uso combinado del bocashi más el biocarbón favorece el crecimiento de las plántulas desde su etapa inicial, la mezcla que destacó por presentar mayor promedio de altura de las plántulas fue el uso de bocashi al 90 % y 10 % de biocarbón, esto podría deberse principalmente a los beneficios estructurales, nutrimentales y microbiológicos que típicamente aporta el bocashi como sustrato (Ramos Agüero & Terry Alfonso, 2014). A los 30 DDS todos los tratamientos de uso de enmiendas orgánicas y el tradicional superaron al sustrato comercial, lo cual señala que el Peat moss + perlita, aun cuando presenta las condiciones físicas deseables, no aporta los nutrimentos necesarios que demandan las plántulas durante esta etapa de su crecimiento. Garbanzo-León & Vargas-Gutiérrez (2017) reportan menor crecimiento en plantulas de tomate con el uso de peat moss en comparación a mezclas de sustratos, bajo diferentes proporciones de arena, bocashi, composta, fibra de coco, granza, lombricomposta y suelo solarizado, aludiendo estos resultados a los bajos contenido de macronutrientes ($N-NH_4^+$ y $N-NO_3^-$). Beltrán-Morales *et al.* (2016) obtuvieron un promedio de 16 cm de altura a las cuatro semanas en seis variedades de chile jalapeño con vermicomposta y estiércol bovino como sustratos, altura superior a las obtenidas en esta investigación. Finalmente, a los 45 DDS las plántulas producidas con el uso de bocashi al 90, 80 y 70% + 10, 20 y 30 % de biocarbón respectivamente, destacan por sus promedios obtenidos en altura, indicándonos que, para la producción de plántulas de chile jalapeño con estos tratamientos se obtienen los plantines de mayor tamaño. Acevedo-Alcalá *et al.* (2020) reportaron resultados de la altura de planta inferiores a los mostrados en esta investigación en la producción de plántulas de la variedad TECAL-CP-16 de chile poblano a los 52 DDS, en donde utilizaron diferentes abonos orgánicos comerciales y fertilización química.

Tabla 4. Número de hojas de plántulas de *Capsicum annuum* L.

Tratamiento	15 DDS	30 DDS	45 DDS
90 % de bocashi + 10 % de biocarbón	4.10 ± 0.20	7.35 ± 0.31 a	8.25 ± 0.61 ab
80 % de bocashi + 20 % de biocarbón	4.17 ± 0.23	7.22 ± 0.15 a	8.45 ± 0.56 ab
70 % de bocashi + 30 % de biocarbón	4.20 ± 0.23	6.65 ± 0.25 abc	8.47 ± 0.28 ab
60 % de bocashi + 40 % de biocarbón	4.00 ± 0.00	6.42 ± 0.34 bc	8.72 ± 0.37 a
50 % de bocashi + 50 % de biocarbón	4.05 ± 0.10	6.95 ± 0.43 ab	8.55 ± 0.26 ab
Peat moss (70%) + perlita (30%)	3.85 ± 0.17	4.37 ± 0.17 d	6.15 ± 0.53 c
100 % suelo (sustrato tradicional)	4.07 ± 0.09	6.17 ± 0.42 c	7.65 ± 0.43 b
<i>P-Valor</i>	0.122 ns	0.000**	0.000**
Coefficiente de variación (%)	4.55	15.33	11.69

± Desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos. ns = no significativo, ** diferencia altamente significativa (Tukey $p \leq 0.01$)

Tabla 5. Altura de plántulas en cm de *Capsicum annum* L.

Tratamiento	15 DDS	30 DDS	45 DDS
90 % de bocashi + 10 % de biocarbón	6.60 ± 0.53 a	11.18 ± 0.96 a	25.11 ± 0.46 a
80 % de bocashi + 20 % de biocarbón	5.46 ± 1.21 ab	10.49 ± 0.89 a	25.16 ± 1.71 a
70 % de bocashi + 30 % de biocarbón	4.68 ± 0.45 b	10.19 ± 0.82 a	24.99 ± 1.56 a
60 % de bocashi + 40 % de biocarbón	5.60 ± 0.41 ab	9.45 ± 0.75 a	21.25 ± 0.79 bc
50 % de bocashi + 50 % de biocarbón	6.00 ± 0.36 ab	10.34 ± 0.55 a	23.37 ± 0.26 ab
Peat moss 70%) + perlita 30%	2.78 ± 0.16 c	5.33 ± 0.31 b	9.91 ± 0.39 d
100 % suelo (sustrato tradicional)	2.78 ± 0.16 c	9.44 ± 0.89 a	19.72 ± 1.18 c
<i>P-Valor</i>	0.000**	0.000**	0.000**
Coefficiente de variación (%)	31.38	20.47	24.53

± Desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos. ** diferencia altamente significativa (Tukey $p \leq 0.01$)

Para la variable diámetro de tallo al igual que en las variables anteriores las mezclas de bocashi más biocarbón superaron los otros tratamientos, en las tres mediciones realizadas es de resaltar la mezcla 90 % de bocashi + 10 % de biocarbón, y la mezcla 80% bocashi + 10 % de biocarbón (tabla 6). El mayor engrosamiento del tallo de las plántulas en estos tratamientos demuestra que las altas proporciones de bocashi son favorables para el crecimiento y desarrollo del chile jalapeño, debido a los beneficios físicos y químicos que esta enmienda otorga. Ramos Agüero *et al.* (2016) indican que el uso combinado de bocashi + suelo + fertilización mineral, no solo aporta nutrimentos, sino que además mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del sustrato, facilitando una mejor estructura, drenaje y estimulación de la elongación de las raíces, así como un mejor manejo sanitario de las plántulas. Por su parte en biocarbón contenido en estos sustratos, contribuye también a mejorar la estructura, proporcionando condiciones óptimas para el adecuado crecimiento del tallo de chile jalapeño, ya que retiene nutrientes y humedad comportándose como una esponja. Al respecto Escalante Rebolledo *et al.* (2016) sostienen que al acondicionar el sustrato con el biocarbón se aumenta la capacidad de intercambio catiónico, se aumenta el área de carga del suelo, lo cual mejora la fertilidad y la retención de carbono y nutrientes, mismos que se van liberando

constantemente. La calidad del sustrato utilizado es fundamental para producir plántulas de calidad de Chile (Cabanzo *et al.*, 2020).

En cuanto al largo de las plántulas al final del ciclo experimental (45 DDS), se presentaron seis grupos estadísticos, sin embargo, es de resaltar la mezcla de bocashi al 80 % + 20 % de biocarbón (Tabla 7), seguido de la mezcla 70% bocashi + 20% biocarbón, mientras que los tratamientos convencionales (solo suelo) y comercial (peat moss y perlita) cuantificaron las menores medias experimentales. Esto indica que con esta combinación las plántulas se desarrollaron en un sustrato adecuado que originó un mayor crecimiento vegetativo; comportamiento que se debió a que el bocashi y el biocarbón otorgaron las condiciones idóneas para un mayor crecimiento de las plántulas. Girón-Carrillo *et al.* (2018) indican que los abonos orgánicos, como el bocashi favorecen una mejor condición del sustrato y por consiguiente el desarrollo de cultivos. Arrieta *et al.* (2018) mencionan que el uso de bocashi es beneficioso ya que aporta sistemáticamente nutrientes favoreciendo el crecimiento de las plantas debido también a una buena estructuración del suelo. Además, la combinación de estos compuestos orgánicos como sustratos indican mayor humificación (Acevedo-Alcalá *et al.*, 2020).

Tabla 6. Diámetro de tallo en cm de plántulas de *Capsicum annum* L.

Tratamiento	15 DDS	30 DDS	45 DDS
90 % de bocashi + 10 % de biocarbón	1.09 ± 0.10 a	1.69 ± 0.20 a	2.34 ± 0.17 a
80 % de bocashi + 20 % de biocarbón	0.93 ± 0.05 ab	1.54 ± 0.08 ab	2.35 ± 0.09 a
70 % de bocashi + 30 % de biocarbón	0.85 ± 0.11 bc	1.47 ± 0.06 abc	2.28 ± 0.22 a
60 % de bocashi + 40 % de biocarbón	0.90 ± 0.03 b	1.35 ± 0.09 bc	2.10 ± 0.05 ab
50 % de bocashi + 50 % de biocarbón	0.95 ± 0.06 ab	1.44 ± 0.06 bc	2.13 ± 0.03 ab
Peat moss (70%) + perlita (30%)	0.71 ± 0.05 c	0.84 ± 0.02 d	1.18 ± 0.06 c
100 % suelo (sustrato tradicional)	0.71 ± 0.05 c	1.28 ± 0.10 c	1.96 ± 0.07 b
<i>P-Valor</i>	0.000**	0.000**	0.000**
Coefficiente de variación (%)	16.41	19.72	19.55

± Desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos. ** diferencia altamente significativa (Tukey $p \leq 0.01$)

Tabla 7. Largo y peso final de plántulas de *Capsicum annuum* L. (45 DDS).

Tratamiento	Largo de plántula (cm)	Peso plántula (g)	
		verde	Seca
90 % de bocashi + 10 % de biocarbón	36.40 ± 2.47 cd	3.80 ± 1.07 ab	0.36 ± 0.10 ab
80 % de bocashi + 20 % de biocarbón	44.22 ± 1.73 a	5.06 ± 0.31 a	0.45 ± 0.03 a
70 % de bocashi + 30 % de biocarbón	42.32 ± 1.05 ab	4.90 ± 0.75 a	0.43 ± 0.14 a
60 % de bocashi + 40 % de biocarbón	39.62 ± 0.88 bc	4.60 ± 0.76 ab	0.45 ± 0.14 a
50 % de bocashi + 50 % de biocarbón	41.71 ± 1.04 ab	5.00 ± 0.48 a	0.54 ± 0.14 a
Peat moss (70%) + perlita (30%)	23.06 ± 2.16 e	0.28 ± 0.09 c	0.16 ± 0.04 b
100 % suelo (sustrato tradicional)	32.97 ± 2.91 d	3.26 ± 0.57 b	0.31 ± 0.06 ab
<i>P-Valor</i>	0.000**	0.000**	0.002*
Coeficiente de variación (%)	19.05	44.47	38.52

± Desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos. ** diferencia altamente significativa (Tukey $p \leq 0.01$)

Para la variable peso verde y seco de plántulas hubo diferencias significativas entre los tratamientos, viéndose favorecidos los sustratos de bocashi al 80, 70, 60 y 50% + 20, 30, 40 y 50 % de biocarbón (Tabla 8); lo cual, indica que estas combinaciones de sustratos favorecen la producción de biomasa en plántulas de chile jalapeño, lo cual constituye un elemento central para el cultivo de la hortaliza y que se encuentra estrechamente correlacionado con las variables de crecimiento vegetativo, número de hojas, altura de planta y diámetro de tallo, en este sentido, Sourí y Sooraki (2019) mencionan que la obtención de plántulas vigorosas y sanas es fundamental para el trasplante al campo de cultivo. López-Baltazar *et al.* (2013) postulan que, para la obtención de plantulas adecuadas, influyen diversos factores como es el sustrato utilizado, ya que este repercute directamente en la fisiología y calidad de los plantines. Chávez *et al.* (2020) afirman que el uso de biocarbón y biofertilizantes orgánicos como sustratos puede favorecer el desarrollo y calidad de las plántulas lo que coincide con los resultados obtenidos en esta investigación

CONCLUSIONES

El uso combinado de biocarbón y bocashi como sustrato tiene un beneficio significativo en la germinación y desarrollo vegetativo de las plántulas de chile jalapeño, siendo la proporción de 80% bocashi y 20% biocarbón la combinación óptima destacada en esta investigación. Los resultados obtenidos demuestran que esta combinación de sustratos constituye una alternativa técnicamente viable para la producción de plántulas orgánicas de chile jalapeño en regiones tropicales y subtropicales.

Para su implementación en sistemas de producción protegidos (invernaderos, malla sombra), se recomienda mantener la proporción óptima aquí establecida en combinación con el protocolo de activación con microorganismos eficientes, así como

realizar pruebas piloto considerando las condiciones específicas de cada sistema de producción.

La sustentabilidad de esta propuesta depende críticamente del origen de la biomasa para la obtención del biocarbón. Por ello, se recomienda utilizar, a través del proceso de pirolisis, exclusivamente residuos agrícolas y forestales disponibles localmente, tales como cascarillas de arroz, residuos de poda, rastrojos de maíz y bagazos de caña, además de restos de carbón de uso doméstico, entre otros, evitando cualquier práctica que implique deforestación. De esta forma, la propuesta se alinea con la implementación de la economía circular al valorizar residuos orgánicos de la región.

Asimismo, se recomienda realizar estudios complementarios que incluyan el análisis económico de la producción de los sustratos a escala comercial para su utilización en la producción de plántulas de hortalizas y su evaluación en sistemas productivos comerciales, así como la caracterización de diferentes fuentes regionales de biomasa para la producción de biocarbón.

Esta investigación establece las bases técnicas para la implementación de las enmiendas orgánicas en cultivos estratégicos, contribuyendo al desarrollo de la agricultura orgánica sustentable en el sur-sureste de México.

Funding. The research was financed with our own resources.

Conflict of Interest. The authors declare that they have no competing interests.

Compliance with ethical standards. Not applicable

Data Availability. Data sets used or analyzed during the current study are available from C. E. Aguilar-

Jiménez. ejimenez@unach.mx, upon reasonable request.

Author's contribution statement (CRediT). **C. E. Aguilar-Jiménez** – Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Research, Resources, Writing – original draft, Writing review and editing, Project management, Supervision. **I. Zapata-Hernández** – Conceptualization, Formal analysis, Writing review, Visualization. **M. B. Reyes-Sosa** – Conceptualization, Formal analysis, Writing and preparation of the original draft, Writing review and editing, **J. A. Gurgua-Arroyo** – Research, Methodology, Resources, **F. B. Martínez-Aguilar** – Research, Methodology, Resources, Supervision.

REFERENCES

- Aguirre-Forero, S.E., Villa-Parejo, J.A. and Piraneque-Gambasica, N.V., 2023. Biocarbón: Estado del arte, avances y perspectivas en el manejo del suelo. *Revista EIA*, 20(39), pp. 20. <https://doi.org/10.24050/reia.v20i39.1651>
- Aguirre-Mancilla, C.L., De La Fuente, G.I., Ramírez-Pimentel, J.G., Covarrubias-Prieto, J.G., Chablé-Moreno, F. and Raya-Pérez, J.C., 2017. El chile (*C. annuum* L.), cultivo y producción de semilla. *Ciencia. Tecnología Agropecuaria México*, 5, pp. 19-27. <https://www.somecta.org.mx/Revistas/2017-1/2017-1/3.%20chileAguirre.pdf>
- Acevedo-Alcalá, P., Cruz-Hernández, J. and Taboada-Gaytán, O.R., 2020. Abonos orgánicos comerciales, estiércoles locales y fertilización química en la producción de plántula de chile poblano. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(1), pp. 35-44. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.35>
- Alcalá, P.A., Gaytán, O.R.T. and Hernández, J.C., 2020. Caracterización de fertilizantes orgánicos y estiércoles para uso como componentes de sustrato. *Acta Agronómica*, 69(3), pp. 234-240. doi: <https://doi.org/10.15446/acag.v69n3.84508>
- Arrieta, R.A.L., Gómez, G.G., Paneque, O.S.G. and Arteaga, M. C. J., 2018. Caracterización del abono Bocachi y su aplicación en el cultivo del pimentón (*Capsicum annum*, L.), en el estado Falcón. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 3(6), pp. 110-127. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7062682>
- Ayaz, M., Feizienė, D., Tilvikienė, V., Akhtar, K., Stulpinaitė, U. and Iqbal, R., 2021. Biochar role in the sustainability of agriculture and environment. *Sustainability*, 13(3), 1330. <https://doi.org/10.3390/su13031330>
- Beltrán-Morales, F.A., García-Hernández, J.L., Ruiz-Espinoza, F.H., Valdez-Cepeda, R.D., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M. and González-Zamora, A., 2016. Efecto de sustratos orgánicos en el crecimiento de seis variedades de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(7) pp. 143-149. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282016000100015
- Cabanzo, I., Rodríguez, M.N., García, J.L., Almaraz, J.J. and Gutiérrez, M.C., 2020. La biofertilización y nutrición en el desarrollo de plántulas de chile serrano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), pp. 699-712. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2121>
- Cancino-Méndez, G.M., Rosales-Uc, E.M. and Herrera-Chale, F.G., 2018. La inocuidad de lixiviados de biofertilizantes factor de calidad para uso en agricultura orgánica. *Revista del Centro de Graduados*. 33(72), pp.121-125. https://drive.google.com/file/d/1W3zEvQgt8zd6GS9NR6760vHxW_-szVOL/view
- Chávez, J.E.C., Arangundi, C.M.E. and García, G.A.C., 2020. Efectividad de biochar y biofertilizantes en el crecimiento y calidad de plántulas de cacao. *Revista ESPAMCIENCIA*, 11(2), pp. 95-100. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v11i2.224
- Escalante Rebolledo, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., Valtierra Pacheco, E. and Etchevers Barra, J. D., 2016. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34(3), pp. 367-382. <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/155/134>
- Garbanzo-León, G. and Vargas-Gutiérrez, M., 2017. Actividad microbial en sustratos y análisis de crecimiento en almácigos de tomate en Guanacaste, Costa Rica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), pp. 159-169. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5716>
- García Batista, R.M., Quevedo Guerrero, J.N. and Socorro Castro, A.R., 2020. Prácticas para el

- aprovechamiento de residuos sólidos en plantaciones bananeras y resultados de su implementación. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(1), pp. 280-291. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/1454>
- Girón-Carrillo, C.E., Martínez-Olmedo, C.E.F., Monterroza-Domínguez, M.P., Aguirre-Castro, C.A., Hernández-Juárez, M.D.J. and Lara-Ascencio, F., 2018. Influencia de la aplicación de bocashi y lombriabono en el rendimiento de calabacín (*Cucurbita pepo* L.), espinaca (*Spinacia oleracea* L.), lechuga (*Lactuca sativa* L.) y remolacha (*Beta vulgaris* L.), bajo el método de cultivo biointensivo, San Ignacio, Chal. *Revista Agrociencia*, 1(03), pp. 28-40. <https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia/index.php/agrociencia/article/view/73/88>
- González-Marquetti, I., Rodríguez, M.G., Delgado-Oramas, B.P. and Schmidt, H., 2020. Biochar y su contribución a la nutrición, crecimiento y defensa de las plantas. *Revista de Protección Vegetal*, 35(2). <https://censa.edicionescervantes.com/index.php/RPV/article/view/1090>
- Lara, T.I.B., Chávez, B.C. and Rindermann, R.S., 2017. Sostenibilidad de pequeños productores en Tlaxcala, Puebla y Oaxaca, México. *Estudios Regionales en Economía, Población y Desarrollo: Cuadernos de Trabajo de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez*, 7(37), pp. 1-2. <https://doi.org/10.20983/epd.2017.37.1>
- Lazcano-Bello, M.I., Sandoval-Castro, E., Tornero-Campante, M.A., Hernández-Hernández, B.N., Ocampo-Fletes, I. and Díaz-Ruíz, R., 2021. Evaluación de sustratos, solución nutritiva y enraizador en producción de plántulas de jitomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(1), pp. 61-76. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2450>
- López-Baltazar, J., Méndez-Matías, A., Pliego-Marín, L., Aragón-Robles, E. and Robles-Martínez, M. L., 2013. Evaluación agronómica de sustratos en plántulas de chile 'onza' (*Capsicum annum*) en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(SPE6), pp. 1139-1150. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i6.1278>
- Lopez-Salazar, G.L., 2019. Factors Influencing the Purchase of Organic Food in Mexico. A Mixed Analysis. *Small Business International Review*, 3, pp. 69-85. <https://doi.org/10.26784/sbir.v3i2.210>
- Luna-Fletes, J.A., Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, Á., Chan-Cupul, W., Luna-Esquivel, G., García-Paredes, J. D. and Mancilla-Villa, O.R., 2021. Producción de plántulas de chile habanero con fertilización orgánica y biológica. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.988>
- Medina Saavedra, T., Mexicano Santoyo, L., Espinoza Castro, M.G., Hernández Ramírez, V.M., Martínez Ayala, N., Pérez Casique, B.A., Rafael Martínez, P. and Ramírez Arroyo, A., 2022., Evaluación del efecto de composta tipo bocashi en germinación y desarrollo de plántulas. *Jóvenes en la Ciencia*, 16, pp. 1-7. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3625>
- Medina, L.E. and Medina, I.N., 2018. Prototipo autotérmico móvil para producción de biocarbón con biomasa de esquilmos de aguacate. *Terra Latinoamericana*, 36(2), pp. 121-129. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i2.217>
- Muhie, S.H., 2022. Novel approaches and practices to sustainable agriculture. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100446. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100446>
- Pérez-Cabrera, C.A., Juárez-Lopez, P., Anzaldo-Hernández, J., Alia-Tejagal, I., Salcedo-Pérez, E. and Balois-Morales, R., 2021. Beneficios potenciales del biocarbón en la productividad de cultivos agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(4), pp. 713-725. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2542>
- Ramos Agüero, D. and Terry Alfonso, E., 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35(4), pp. 52-59. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v35n4/ctr07414.pdf>
- Ramos Agüero, D., Terry Alfonso, E., Soto Carreño, F. and Cabrera Rodríguez, J.A., 2014. Bocashi: abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de plátanos en Bocas del Toro, Panamá. *Cultivos Tropicales*, 35(2), pp. 90-97. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/eiciones/article/view/834>
- Ramos Agüero, D., Terry Alfonso, E., Soto Carreño, F., Cabrera Rodríguez, A., Martín Alonso, G. M.

- and Fernández Chuaerey, L., 2016. Respuesta del cultivo del plátano a diferentes proporciones de suelo y bocashi, complementadas con fertilizante mineral en etapa de vivero. *Cultivos Tropicales*, 37(2), pp. 165-174. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.2893.9763>
- Rodríguez-Chiunti, M.Á. and Vidal-Gamboa, A., 2021. Design of a photovoltaic solar irrigation system for the evaluation of phenology in jalapeño pepper. *Renewable Energy, Biomass & Sustainability*, 3(2), pp.75-83. https://aldeser.org/uploads/1/3/0/8/130818527/a10_v3n2_reb_s.pdf
- Rodríguez-Eugenio, N.; McLaughlin, M. and Pennock, D., 2019. La contaminación del suelo: una realidad oculta. *FAO*. <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf> (última consulta el 20 de septiembre de 2024)
- Román, P., Martínez, M.M. and Pantoja, A., 2013. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias de América Latina. *FAO*. Santiago, Chile. <https://www.fao.org/docrep/019/i3388s/i3388s.pdf> (última consulta el 20 de septiembre de 2024)
- Schmidt, H.P., Kammann, C., Niggli, C., Evangelou, M.W., Mackie, K.A. and Abiven, S., 2014. Biochar and biochar-compost as soil amendments to a vineyard soil: Influences on plant growth, nutrient uptake, plant health and grape quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 191, pp. 117-123. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.04.001>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), 2022. Al que no quiere jalapeño, no es mexicano. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/al-que-no-quiere-jalapeno-no-es-mexicano> (última consulta el 29 de agosto de 2024)
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2023a. Anuario estadístico de producción agrícola. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicacion_es_siap/pag/2023/Panorama-Agroalimentario-2023 (última consulta el 29 de agosto de 2024)
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2023b. Anuario estadístico de producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (última consulta el 20 de agosto de 2024)
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2024. Monografía Chile verde. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/832767/chile_verde.pdf (última consulta el 29 de agosto de 2024)
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2002. Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT-2000 antes NOM-021-REC NAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*. D.O.F.: *SEGOB*. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf> (última consulta del 5 de septiembre de 2024)
- Sharifi, M. and Hajiaghahi-Kamrani, M., 2022. Biochar-compost mixture and cover crop effects on soil carbon and nitrogen dynamics, yield, and fruit quality in an irrigated vineyard. *Canadian Journal of Soil Science*, 103(1), pp. 200-212. <https://doi.org/10.1139/cjss-2021-0147>
- Soto, M.G., Chin, P.J.S., Chinchilla S.C. and Pérez, V.M. 2023. Manual de biocarbón para una agricultura sostenible: experiencias en Costa Rica. *CICA*. Universidad de Costa Rica. <https://cica.ucr.ac.cr/documentos-descargables/> (última consulta el 22 de septiembre del 2024)
- Souri, M.K. and Sooraki, F.Y., 2019. Benefits of organic fertilizers spray on growth quality of chili pepper seedlings under cool temperature. *Journal of plant nutrition*, 42(6), pp. 650-656. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1568461>
- Vázquez, F., Enríquez, F., Pérez, M., Jesuita, G. and Flores, J. A., 2022. Emprendimiento en la producción de Chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 10(1), pp. 73-83. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v10i1.405>
- Yong-Chou, A., Crespo-Morales, A., Benítez-Fernández, B., Pavón-Rosales, M.I. and Almenares-Garlobo, G.R., 2016. Uso y manejo de prácticas agroecológicas en fincas de la localidad de San Andrés, municipio La Palma. *Cultivos Tropicales*, 37(3), pp. 15-21. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.2756.3761>