

PRODUCCIÓN SUSTENTABLE DE PLÁNTULA DE JITOMATE EN DIFERENTES SUSTRATOS ORGÁNICOS

SUSTAINABLE PRODUCTION OF TOMATO SEEDLINGS IN VARIOUS ORGANIC SUBSTRATES

Huerta-Lara, M.¹; Lino-García, N.³; Muñoz-Nuñez, E.^{2*}; Ramos-Cassellis, M.E.²;
Ortega-López, G.⁴; Romero-Arenas, O.³

¹Depto. Universitario para el Desarrollo Sustentable, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Avenida San Claudio S/N, Colonia San Cayetano, C.P. 72570, Puebla, Puebla, México.

²Posgrado en Ciencias Ambientales, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Prolongación de la 14 Sur 6301, 72580 Heroica Puebla de Zaragoza, Pue.

³Centro de Agroecología, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Edificio VAL 1, Km 1.7 Carretera a San Baltazar Tetela, San Pedro Zacachimalpa, Puebla 72960, México.

⁴Facultad de Arquitectura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Prolongación de la 14 Sur 6301, 72580 Heroica Puebla de Zaragoza, Pue.

* E-mail autor correspondencial: elimelec.munozn@alumno.buap.mx

Fecha de envío: 15, octubre, 2025

Fecha de publicación: 10, diciembre, 2025

Resumen:

El objetivo fue evaluar la calidad y la relación beneficio-costo de plántula de jitomate cultivada en diferentes sustratos orgánicos, utilizando un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones y nueve tratamientos: T1= Testigo (Peat Moss) (TE), T2= Fibra de coco (FC), T3= Bocashi (BO), T4= Lombricomposta (LO), T5= Lombricomposta al 50%+fibra de coco al 50% (LOFC), T6= Fibra de coco+*Trichoderma* spp (FCTR), T7= Bocashi+*Trichoderma* (BOTR), T8= Lombricomposta+*Trichoderma* spp (LOTR), T9= Lombricomposta al 50%+Fibra de coco al 50%+*Trichoderma* spp (LOFCTR). Las variables evaluadas fueron brotación, diámetro del tallo, altura de plántula, número de hojas, peso fresco, peso seco, índice de calidad de Dickson (ICD) y relación beneficio-costo. La brotación, a los 30 días dds, fue mayor en LO, LOTR y TE ($p \leq 0.05$), que alcanzaron 94.8, 94.1 y 93.6% respectivamente. El diámetro del tallo, a los 25 y 40 dds, fue mayor ($p \leq 0.05$), en LOTR con valores de 0.18 y 0.28 cm, seguida por LO con 0.15 y 0.27 cm respectivamente. La altura de planta, a los 25 y 40 dds, fue mayor ($p \leq 0.05$) en LO con 5.7 y 10.7 cm y LOTR con 5.2 y 9.4 cm. El número de hojas a los 25 y 40 dds, fue mayor ($p \leq 0.05$), en LO, LOTR con valores de 2.0 y 3.7, 2.0 y 3.4 hojas respectivamente. El peso fresco fue mayor para LO y LOTR, ambos con 1.40 g. El peso seco fue mayor ($p \leq 0.05$) en LO y LOTR con valores de 0.24 y 0.20 g respectivamente. El ICD fue mejor para LO y LOTR ($p \leq 0.05$), con 0.039 y 0.038 respectivamente. La mejor relación beneficio-costo fue para LO, LOTR y TE con valores de 1.14, 1.12 y 1.04 respectivamente.

El sustrato orgánico de lombricomposta presentó resultados que lo ubican como alternativa ecológica y económica para productores de plántulas de jitomate.

Palabras clave: Tomate, *Solanum lycopersicum L.*, lombricomposta, índice de calidad de Dickson, relación beneficio-costo, bocashi.

Abstract:

This study aimed to evaluate the quality and benefit–cost ratio of *Solanum lycopersicum* L. seedlings cultivated in different organic substrates under greenhouse conditions. A randomised complete block design with three replications and nine treatments was used: T1 = control (peat moss, PM); T2 = coconut fibre (CF); T3 = Bokashi (BK); T4 = vermicompost (VC); T5 = 50% vermicompost + 50% coconut fibre (VCF); T6 = coconut fibre + *Trichoderma* spp. (CFT); T7 = Bokashi + *Trichoderma* spp. (BKT); T8 = vermicompost + *Trichoderma* spp. (VCT); and T9 = 50% vermicompost + 50% coconut fibre + *Trichoderma* spp. (VCFT). Evaluated variables included germination percentage, stem diameter, seedling height, number of leaves, fresh and dry biomass, Dickson Quality Index (DQI), and benefit–cost ratio. At 30 days after sowing (DAS), germination was significantly higher ($p \leq 0.05$) in VC, VCT, and PM (94.8%, 94.1%, and 93.6%, respectively). At 25 and 40 DAS, stem diameter was greatest ($p \leq 0.05$) in VCT (0.18 and 0.28 cm), followed by VC (0.15 and 0.27 cm). Seedling height at 25 and 40 DAS was also greater ($p \leq 0.05$) in VC (5.7 and 10.7 cm) and VCT (5.2 and 9.4 cm). The number of leaves at 25 and 40 DAS was significantly higher ($p \leq 0.05$) in VC and VCT (2.0–3.7 and 2.0–3.4 leaves, respectively). Fresh and dry biomass were highest ($p \leq 0.05$) in VC and VCT (1.40 g and 0.24–0.20 g, respectively). The DQI was superior in VC and VCT (0.039 and 0.038, respectively). The best benefit–cost ratios were obtained in VC (1.14), VCT (1.12), and PM (1.04). These findings indicate that vermicompost-based substrates represent an ecological and economically viable alternative for sustainable tomato seedling production.

Keywords: Tomato, *Solanum lycopersicum L.*, vermicompost, Dickson Quality Index (DQI), cost-benefit ratio, Bokashi.

INTRODUCCIÓN

El agroecosistema jitomate es de los más importantes para la alimentación familiar en todo el planeta, por lo que presenta regulaciones comerciales (Hernández-Mosqueda et al., 2025). Sin embargo, a pesar de la amplia diversidad genética de esta planta, la producción comercial se basa en híbridos patentados tipo saladette, bola y cherry (Berrospe-Ochoa, et al., 2015). Las semillas híbridas y los sustratos importados no favorecen la sustentabilidad del agroecosistema, ya que genera una fuerte dependencia de las empresas externas al sistema (Lazcano-Bello et al., 2021). La producción de jitomate fresco en el mundo, para el año 2017, alcanzó 241'928,300.00 toneladas; de las cuales China, como primer productor mundial de

esta hortaliza, contribuyó con 119,141,673.00 toneladas. El segundo lugar le correspondió a India con 20'708,000.00 toneladas. El tercer lugar fue para Turkía con 12'750,000.00 toneladas. México se ubicó en el noveno lugar con una producción de 4'243,058.00 toneladas (FAOSTAT, 2019).

La producción comercial de jitomate, en todo el mundo, se realiza por medio del trasplante de plántula, y no por semilla directa; esto con la finalidad de reducir costos de producción. La germinación de la semilla para el trasplante requiere de sustratos orgánicos nutritivos y con buena capacidad de retención de humedad. Los sustratos más sobresalientes son la composta y la vermicompost, debido a que sus procesos de elaboración son métodos biológicos que transforman restos orgánicos de distintos materiales en un producto relativamente estable (De la Cruz-Lázaro, et al., 2009; Lazcano-Bello, et al., 2021).

La producción de plántulas con el uso de sustratos bajo ambientes controlados ha sido una alternativa útil para cultivos de alta importancia como el tomate y el chile, ya que ha permitido incrementar la productividad y disminuir costos (San Martín-Hernández et al., 2012), además de obtener un producto de mejor calidad; el cual puede ser obtenido con un uso más racional y reducido de los insumos, y como consecuencia, un menor daño ambiental. En este contexto, Bracho (2005) demostró que la calidad del sustrato influye directamente en el vigor y uniformidad de las plántulas, al depender de propiedades fisicoquímicas como la porosidad total, la porosidad de aireación, la capacidad de retención de humedad, el pH y la conductividad eléctrica. Entre las ventajas del almácigo o producción de plántulas en charolas están la mayor precocidad y homogeneidad del cultivo, un manejo más eficiente de la semilla y de la preparación del sustrato en cuanto a supresividad; lo que da la oportunidad de seleccionar las plantas más aptas para ser sembradas en campo o invernadero (Quesada y Méndez, 2005; Bautista-Calles et al., 2008; Berrospe-Ochoa et al., 2015).

Las funciones más importantes de un sustrato son: proporcionar un medio ambiente ideal para el crecimiento de las raíces (aportar agua, aire y nutrientes), construir una base adecuada para el anclaje y soporte a la raíz. Mientras que la finalidad de estos, en cualquier cultivo, es producir planta y cosecha de calidad, en periodo corto de tiempo, con bajos costos de producción, sin provocar un grave impacto ambiental (Abad et al. 2005; Quesada y Méndez 2005). La aplicación de lombricomposta al

suelo produce un efecto favorable para el desarrollo vegetal, proporcionando sustancias nutritivas en forma disponible, por consiguiente, la rápida descomposición de los residuos orgánicos que llevan a cabo las lombrices con los microorganismos da lugar a sustratos con una actividad y diversidad microbianas considerablemente mayores que las del residuo de partida, llegándose a multiplicar varias veces los valores iniciales (Aira et al. 2007, Domínguez et al. 2010).

Este incremento de la actividad microbiana y el proceso de neoformación da lugar a compuestos de origen y acción biológica: enzimas que aceleran y promueven ciertas reacciones químicas; hormonas que influyen en la germinación, crecimiento, emisión de tallos, flores, raíces; vitaminas que favorecen la asimilación y nutrición de las plantas y los antibióticos que protegen contra el crecimiento y multiplicación desmedida de patógenos y enfermedades (Domínguez et al. 2010; Bautista–Calles et al., 2008).

Los abonos orgánicos fermentados del tipo “Bocashi”, término japonés que significa “fermentación suave”, son ricos en nutrientes para la planta, e incorporan gran cantidad de microorganismos benéficos. Se diferencia de otros abonos orgánicos porque requiere de menos tiempo de fabricación (González, 1996). Una de las ventajas más importantes de este abono, es que a las dosis que se utilizan, suministran a la planta los microelementos en forma soluble y en un microambiente de pH biológicamente favorable para la absorción radicular (pH 6.5 a 7), así como, el hecho de que los microorganismos benéficos presentes en la composta compiten por microespacios y energía con los microorganismos patógenos que hay en la zona radicular de la planta (De Luna y Vázquez, 2009).

La fibra de coco es un subproducto que se encuentra disponible en grandes cantidades en los países productores de cocos (*Cocos nucifera* L). Son generalmente restos de fibras, de longitud inferior a 2 mm, los que suelen utilizarse en mezclas como sustrato y se presentan generalmente prensadas en ladrillos que deben deshacerse y rehumectarse previamente a su uso (Burés, 1997). Este material tiene elevada capacidad de retención de agua y se ha utilizado tradicionalmente para mejorar las propiedades físicas y químicas de los suelos. La aplicación de fibra de coco mejora la retención de agua, aumenta la disponibilidad de nutrientes y la tasa de infiltración, la porosidad total y la conductividad hidráulica de los suelos donde se utiliza como enmienda. Así como, incrementa la supresividad

a patógenos con origen en el suelo. Tiene bajo contenido en nutrientes, excepto para el potasio, el cual es elevado y puede ser utilizado como fuente de tal para el cultivo en campo (Burés, 1997; Bautista-Calles et al., 2008).

La producción de plántulas hortícolas se realiza en mayor proporción con sustratos de naturaleza orgánica, principalmente turba *Sphagnum* o peat moss; ya que sus propiedades físicas, químicas y biológicas permiten una adecuada germinación y crecimiento de las plántulas (Berrospe-Ochoa, et al., 2015). Sin embargo, el elevado precio del sustrato y la fuerte dependencia de los países productores y exportadores, unido al hecho de que la turba es un recurso natural difícilmente renovable; cuya extracción provoca la destrucción de zonas de alto valor ecológico, han fomentado el interés de los consumidores de turba por la búsqueda de nuevos materiales, a ser posible autóctonos y con disponibilidad local, como sustitutos de la misma (Carmona y Abad 2008; Ortega-Martínez et al., 2010).

El cultivo de jitomate mediante trasplante representa una alternativa más eficiente que la siembra directa, al reducir costos de producción y mejorar la calidad del cultivo. La obtención de plántulas de alta calidad en almácigo permite disminuir la pérdida de semilla, reducir el tiempo hasta alcanzar la altura óptima de trasplante y minimizar la pérdida de plantas, ya que fundamentalmente calidad de la plántula dependerá la productividad del cultivo (Lazcano-Bello et al., 2021). En este contexto, el empleo de sustratos orgánicos proporciona condiciones adecuadas para maximizar la expresión del vigor de las semillas y obtener plántulas más vigorosas (Marcano Criollo y Rodríguez Padrón, 2019). Calero et al. (2019) demostraron, que la aplicación de microorganismos eficientes incrementó significativamente la calidad de plántulas de tomate y redujo el ciclo de producción entre 22% y 24%. Por tal motivo, se realizó el presente trabajo con el objetivo de evaluar el desarrollo, la calidad y costo de producción de plántulas de jitomate utilizando diferentes sustratos orgánicos, como una alternativa ecológica y económica para el manejo sostenible del cultivo.

La producción de plántulas de alta calidad no solo impacta el rendimiento del cultivo, sino también su sanidad y cumplimiento con estándares internacionales de inocuidad. Estudios recientes sobre alertas de importación emitidas por la FDA revelan que los rechazos de tomate rojo mexicano en el mercado estadounidense están vinculados principalmente a la presencia de residuos de pesticidas, donde el

75% de los rechazos se debieron a residuos de insecticidas, seguidos por fungicidas (21%) y contaminación bacteriana (4%), sugiriendo que el uso de pesticidas en la producción agrícola mexicana continúa siendo un factor crítico de vigilancia sanitaria (Hernández-Mosqueda et al., 2025; Hua & Liu, 2024). Estos hallazgos refuerzan la necesidad de implementar prácticas agrícolas sostenibles desde las etapas tempranas del cultivo. La incorporación de sustratos orgánicos que mejoran la calidad del suelo y reducen la dependencia de agroquímicos sintéticos representa una estrategia fundamental para desarrollar cultivos más resistentes y cumplir con los estándares de inocuidad del mercado internacional (Kremen y Miles, 2012; Altieri, 2017).

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento del experimento.

El trabajo se desarrolló en condiciones de invernadero durante los meses de febrero y marzo de 2023 en el municipio de Yaonáhuac, Puebla. Las condiciones ambientales promedio durante el experimento fueron: temperatura de $22\pm3^{\circ}\text{C}$, humedad relativa de $65\pm10\%$ y fotoperiodo natural. El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con tres repeticiones y nueve tratamientos: T1= Testigo (TE: Peat Moss), T2= Fibra de coco (FC), T3= Bocashi (BO), T4= Lombricomposta (LO), T5= Lombricomposta al 50%+fibra de coco al 50% (LOFC), T6= Fibra de coco+*Trichoderma* spp (FCTR), T7= Bocashi+*Trichoderma* spp (BOTR), T8= Lombricomposta+*Trichoderma* spp (LOTR), T9= Lombricomposta al 50%+Fibra de coco al 50%+*Trichoderma* spp (LOFCTR). La unidad experimental consistió en una charola de poliestireno con 200 cavidades. La desinfección y limpieza de charolas se realizó con hipoclorito al 10%. El bocashi se preparó un mes antes de la siembra. La lombricomposta se realizó a base de pulpa de café y cascara de nuez. Se utilizó fibra de coco comercial, turba (*Sphagnum* spp.) comercial y un biofunguicida comercial a base de *Trichoderma* spp. La siembra se realizó el 23 de febrero de 2023, colocando una semilla por cavidad de la variedad Sun 7705 tipo saladet. El riego de las plántulas se empezó a partir del día 7 después de la siembra (dds), con agua sin esterilizar, y se aplicó continuamente según necesidades de las plántulas. A partir del día 26 dds, el riego se realizó con una solución de extractos de lombricomposta enriquecida con macroelementos primarios, con las siguientes

proporciones: 0.25 L de extracto de lombricomposta, 19.75 L de agua, y 20 g del fertilizante 13-40-13.

Variables evaluadas.

Las variables fueron: 1) Porcentaje de brotación (%). Esta se determinó contando el número de plántulas brotadas con cotiledones con respecto al total de cavidades de cada unidad experimental (charola), a los 30 días después de la siembra (dds). Las variables de diámetro de tallo, altura de plántulas y número de hojas se determinaron a los 25, 30, 35 y 40 dds, considerando un total de 4 plántulas por unidad experimental. 2) Diámetro del tallo de plántula (cm). Este se midió con un vernier manual, en la base del tallo o cuello de la plántula, a ras del sustrato. 3) Altura de plántula (cm). Se midió con cinta métrica de 1.5 m, considerando desde la base del tallo o cuello de la plántula hasta el ápice de la misma. 4) Número de hojas verdaderas por plántula. Se determinó contando las hojas compuestas a partir de la base del tallo hasta el ápice. 5) Peso fresco de plántula (g). Se determinó a los 40 dds, para lo cual, se extrajeron 5 plántulas de cada unidad experimental por tratamiento, se limpiaron de forma manual con agua destilada para eliminar el sustrato adherido a la raíz, posteriormente se pesaron en una balanza granataria digital. 6) Peso seco de plántula (g). Las plántulas utilizadas en la determinación del peso fresco se secaron en estufa a 70 °C durante 72 h, posteriormente se pesaron en una balanza analítica para determinar el peso seco. 7) Índice de calidad de Dickson (ICD). Se determinó utilizando peso seco total de la plántula (PST), el peso seco de la parte aérea (PSA), peso seco de la raíz (PSR), altura plántula (AP) y diámetro (mm) del tallo de plántula (DT) (Dickson et al. 1960; Guzmán et al. 2012). Dichas variables son consideradas en la fórmula de Dickson, la que se expresa: $ICD = PST/[(AP/DT)+(PSA/PSR)]$. 8) Relación beneficio-costo (B/C). Se determinó dividiendo solamente el beneficio bruto entre el costo de la producción considerando una charola. El análisis estadístico se realizó con el software Statgraphics y la comparación de medias con Tukey ($\alpha=0.05$). Los materiales comerciales utilizados fueron: fibra de coco (Cocoplus), peat moss (Sunshine) y biofungicida a base de *Trichoderma* spp. (Tricofungi AFAO).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de brotación.

El porcentaje de brotación (PB) a los 30 dds presentó diferencias significativas (cuadro 1), donde LO, LOTR, TE y LOFC fueron los mejores ($p \leq 0.05$). El tratamiento con lombricomposta presentó el mayor porcentaje de brotación, ya sea solo o en combinación, a excepción de TE (Cuadro 1), al superar hasta con 83.5% al tratamiento con bocashi y con 68.3% al tratamiento con fibra de coco.

Cuadro 1. Comparación de plántulas de tomate en sustratos orgánicos bajo invernadero: brotación, biomasa y calidad. Yaonáhuac, Puebla, 2023.

Table 1. Comparison of tomato seedlings in organic substrates under greenhouse conditions: sprouting, biomass, and quality. Yaonáhuac, Puebla, 2023.

Tratamiento	30 DDS		40 DDS		Índice de calidad de Dickson
	Brotación (%)	Peso fresco	Peso seco	Relación PSA/PSR	
TE	93.6 a	0.63 ab	0.09 bc	2.70 a	0.015 b
FC	26.5 b	0.41 b	0.06 c	2.57 a	0.010 b
BO	11.3 b	0.49 b	0.07 c	2.63 a	0.012 b
LO	94.8 a	1.40 a	0.24 a	2.13 a	0.039 a
LOFC	80.1 a	0.77 ab	0.10 bc	2.20 a	0.021 ab
FCTR	29.6 b	0.49 b	0.07 c	2.27 a	0.014 b
BOTR	28.6 b	0.55 b	0.08 c	2.47 a	0.015 b
LOTR	94.1 a	1.40 a	0.20 ab	2.10 a	0.038 a
LOFCTR	78.3 a	0.97 ab	0.13 abc	1.90 a	0.025 ab

Medias con la misma letra dentro de columnas y fechas de muestreo son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. TE= Peat Moss, FC= Fibra de coco, BO= Bocashi, LO= Lombricomposta, LOFC= Lombricomposta-Fibra de coco, FCTR= Fibra de coco-Trichoderma spp. DDS = días después de la siembra.

La mayor brotación en los sustratos de lombricomposta y peat moss se debe a sus mejores características físicas y químicas, resultado de sus altos contenidos de materia orgánica 79.5 y 80% respectivamente. Lo que permite buena porosidad, aireación y la formación de compuestos de acción biológica, como la formación de hormonas que influyen en la germinación, crecimiento, emisión de tallos, flores, raíces (Domínguez et al., 2010; Singh et al., 2015). El tratamiento BO presentó el porcentaje de germinación más bajo (11.3%), ya que su bajo contenido de materia orgánica de 40.5% indica una densidad aparente alta y por consiguiente una alta compactación, evitando la aireación de la composta, pues

una inadecuada aireación genera la producción de niveles tóxicos de amonio en los sustratos e impide una germinación y emergencia normales (Magdaleno et al. 2006; De Luna y Vázquez 2009), situación que probablemente ocurrió también en el tratamiento de fibra de coco (FC) del presente ensayo.

Investigaciones recientes han confirmado que la lombricomposta mejora significativamente la germinación y el establecimiento de plántulas debido a su alto contenido de sustancias húmicas, microorganismos benéficos y su capacidad para mejorar las propiedades físicas del sustrato (Lazcano-Bello et al., 2021). Estos autores reportan que la calidad de las plántulas está directamente relacionada con las características del sustrato empleado, especialmente su capacidad de retención de humedad y aireación, aspectos en los que la lombricomposta sobresale. Asimismo, Marcano Criollo y Rodríguez (2019) señalan que los sustratos orgánicos maximizan la expresión del vigor de las semillas, lo que se traduce en plántulas más vigorosas y uniformes, tal como se observó en el presente estudio con los tratamientos LO y LOTR.

Además, Magdaleno et al. (2006) reportan que la fibra de coco posee características muy similares al *peat moss*, excepto en que humidifica más lentamente y puede presentar un mayor contenido de sales; por consiguiente, una alta conductividad eléctrica ($4.34 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$) en el bocashi y en la fibra de coco ($4.68 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$) impidió un desarrollo normal de las plantas en general, haciéndolo más lento debido a que conductividades eléctricas mayores a $3.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ resultan elevadas para la mayoría de las plantas (Abad et al., 2005).

De manera complementaria, Agustín-Oropeza et al. (2025) señalan que el vigor y uniformidad de las plántulas determinan su desempeño y rendimiento posterior en campo, mientras que Bárcenas-Huazano et al. (2025) destacan que el uso de compuestos vegetales con propiedades biológicas puede favorecer la sanidad del sistema radicular, reduciendo la dependencia de agroquímicos. Complementando esta discusión, podemos verificar que la lombricomposta y demás sustratos orgánicos se pueden mezclar con *Trichoderma spp.*, antagonista biológico, y de esta forma generar una producción de plántulas sanas sin afectar la fase de germinación.

Diámetro del tallo

El diámetro del tallo (DT) fue significativamente mayor en los tratamientos con lombricomposta (Cuadro 2), resaltando LOTR, LO, LOFCTR y LOFC ($p \leq 0.05$); a diferencia de los tratamientos a base de fibra de coco y bocashi: FC, BO, FCTR y BOTR que presentaron los valores bajos ($p \leq 0.05$), los cuales también fueron superados, por el testigo a base de Peat moss ($p \leq 0.05$). Los valores más bajos en diámetro de tallo corresponden a los valores más bajos de porcentaje de brotación (Cuadro 2); hecho que se debe al retraso en la brotación con respecto a los días después del trasplante. Para el caso de los valores elevados, esto se debe a las características químicas que presentan la lombricomposta y la fibra de coco enriquecida con nutrientes, por lo que después de combinar dichas propiedades con la mezcla lombricomposta más fibra de coco (LOFC) se tienen valores elevados de diámetro (Cuadro 2), presentándose en general diferencias significativas ($p \leq 0.05$), situación que resulta contraria a los resultados de algunos autores, quienes reportan el diámetro de plántulas sin diferencia significativa, hecho que relacionan con la disponibilidad de agua para la plántula (Salas y Urrestarazu 2000; y Magdaleno et al. 2006). No obstante, se pudo observar, en el presente ensayo, que este carácter de diámetro no solo depende del agua, sino también de la disponibilidad de nutrientes (Lazcano-Bello, et al., 2021).

La altura de la plántula (AP)

Las plántulas presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en altura en los diferentes sustratos (cuadro 2), correspondiendo nuevamente los mayores valores a los tratamientos a base de lombricomposta, donde el tratamiento con lombricomposta (LO) alcanzó hasta 9.2 cm a los 30 dds y LOTR hasta 8.1 cm. Las menores alturas fueron para los tratamientos BO, FC, BOTR y FCTR (cuadro 2). La mayor altura a los 40 dds ($P \leq 0.05$) correspondió al tratamiento LO con 10.7 cm y la menor al tratamiento BO con 5.1 cm en promedio. Los valores menores de altura corresponden a los tratamientos que presentaron retraso en la germinación, por lo que a la etapa de muestreo aún presentaban plántulas pequeñas que corresponde a bajas alturas. Los valores mayores de altura de planta corresponden a los sustratos de lombricomposta (cuadro 2) atribuibles a sus mejores características fisicoquímicas tal como lo señala Domínguez et al.

(2010), quien afirma que en los sustratos orgánicos más sobresalientes se encuentran la composta y la vermicomposta. Asimismo, Carrasco e Izquierdo (2005) mencionan que la altura óptima de las plantas de tomate para ser trasplantadas no debe superar los 15 cm; Jaramillo et al. (2007) coincide al indicar que la altura debe estar entre 10 y 15 cm, lo que se cumple con el tratamiento de Lombricomposta (LO).

Cuadro 2. Diámetro, altura y número de hojas promedio de plántulas de tomate en diferentes sustratos orgánicos, bajo condiciones de invernadero en Yaonáhuac, Puebla, México. Año 2023.

Table 2. Mean stem diameter, plant height, and number of leaves of tomato seedlings grown in different organic substrates under greenhouse conditions in Yaonáhuac, Puebla, Mexico, 2023.

T*	25 DDS				30 DDS				40 DDS	
	D**	Altura	No.	D	Altura	No.	D	Altura	No.	
	(cm)	(cm)	Hojas	(cm)	(cm)	Hojas	(cm)	(cm)	Hojas	
TE	0.12 c	4.40 b	1.70 a	0.16 b	5.50 c	2.00 d	0.22 c	7.30 c	2.50 b	
FC	0.07 d	3.30 c	0.70 b	0.11 c	4.20 d	1.50 e	0.19 de	5.90 d	2.40 b	
BO	0.04 e	2.40 d	0.30 b	0.08 d	3.40 e	1.00 f	0.17 e	5.10 e	2.10 b	
LO	0.15 b	5.70 a	2.00 a	0.20 a	9.20 a	3.00 ab	0.27 a	10.70 a	3.70 a	
LOFC	0.12 c	3.40 c	1.80 a	0.16 b	5.70 c	2.40 cd	0.24 b	7.00 c	3.30 a	
FCTR	0.06 de	2.70 d	0.40 b	0.10 cd	3.70 de	1.00 f	0.20 d	5.50 de	2.20 b	
BOTR	0.06 de	2.60 d	0.40 b	0.10 cd	3.70 de	1.00 f	0.20 d	5.40 de	2.00 b	
LOTR	0.18 a	5.20 a	2.00 a	0.22 a	8.10 b	3.10 a	0.28 a	9.40 b	3.40 a	
LOFCTR	0.12 c	3.50 c	2.00 a	0.15 b	5.80 c	2.60 bc	0.26 ab	8.90 b	3.40 a	

*Tratamiento. **Diámetro del tallo. Medias con la misma letra dentro de columnas y fechas de muestreo son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. TE= Peat Moss, FC= Fibra de coco, BO= Bocashi, LO= Lombricomposta, LOFC= Lombricomposta-Fibra de coco, FCTR= Fibra de coco-Trichoderma spp, BOTR= Bocashi-Trichoderma spp, LOTR= Lombricomposta-Trichoderma spp, LOFCTR= Lombricomposta-Fibra de coco-Trichoderma spp.

El número de hojas (NH)

Las plántulas presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en cuanto a número de hojas (Cuadro 2), teniéndose los valores más altos para los tratamientos a base de lombricomposta, donde alcanzaron hasta 3.7 hojas; y los más bajos para BOTR con 2.0 hojas. El número de hojas es importante al momento del transplante, ya que de ello depende la fotosíntesis, y aunque Magdaleno et al. (2006) menciona que este carácter no puede ser considerado como un indicador

confiable en la producción de plántulas, ya que, según este autor, depende en mayor medida de la edad de la planta. Sin embargo, las plantas de jitomate no pueden dejarse más de dos meses en las charolas; ya que pierden vigor. Por lo que, el número de hojas si es un parámetro importante a considerar como indicador de calidad en plántulas de 30 a 40 dds para el transplante. Los resultados aquí obtenidos, tampoco concuerdan con lo señalado por Jaramillo et al. (2007), quienes mencionan que el número de hojas en plantas de tomates aptas para trasplante es de 7 y 12 hojas verdaderas, que se desarrollan aproximadamente entre 30 y 35 días después de sembrado el semillero. En este experimento se tuvieron en promedio 3-4 hojas compuestas dentro de los 35 y 40 dds, con buenas características de plántulas para ser trasplantadas. Por lo que la observación de Jaramillo et al. (2007), tal vez se refiere a número de foliolos, ya que las plántulas de 30 a 35 días no pueden tener ese número de hojas, como se demostró en este ensayo (Cuadro 2).

El Peso fresco (PF) y el peso seco (PS)

Las plántulas con mayor desarrollo, y por tanto mayor peso fresco, correspondieron a los tratamientos LO y LOTR ($P \leq 0.05$), que alcanzaron hasta 1.40 g, los cuales presentaron diferencia significativa con respecto a FC, BO y TE (Cuadro 1), que alcanzaron 0.41, 0.49 y 0.63 g respectivamente. El peso seco fue proporcional al peso fresco, correspondiendo el mayor a los tratamientos LO y LOTR, donde se presentaron valores de 0.24 y 0.20 g respectivamente. Los cuales superaron significativamente ($P \leq 0.05$) a los tratamientos FC, BO y TE (Cuadro 1). Nuevamente sobresale el sustrato LO y LOTR superando los valores reportados por Andrade y Valenzuela (2002), desde 0.368 g hasta 0.704 g en el peso fresco para plántulas de tomate cultivadas durante 30 días en sustratos de aserrín de pino biodegradado y suelo, confirmando el comentario de Domínguez et al. (2010) quien menciona que la vermicomposta es un complejo constituido por una amalgama de deyecciones de lombriz (incluyendo metabolitos propios de las especies utilizadas), materia orgánica humificada y microorganismos, cuya adición a los medios de cultivo es capaz de incrementar la germinación, el crecimiento, la floración, la fructificación y la resistencia a patógenos de una gran cantidad de especies vegetales.

Índice de calidad de Dickson (ICD)

Los resultados del índice de calidad de Dickson presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$), los valores mayores correspondieron para LO, LOTR y LOFCTR de 0.039, 0.038 y 0.025 respectivamente (cuadro 1), en comparación con los valores más bajos que fueron para FC y BO de 0.010 y 0.012 respectivamente, lo que indica una mejor calidad de plántula para los primeros tratamientos arriba mencionados, esto es debido, a que el Índice de calidad de Dickson reúne varios atributos morfológicos como son el índice de esbeltez y la relación peso seco parte aérea y peso seco radicular (PSA/PSR) en un solo valor que es usado como índice de calidad de la plántula; el cual, el aumento del mismo, representa plantas de mejor calidad; lo que implica, por una parte, el desarrollo de la planta es grande y que, al mismo tiempo, las fracciones aérea y radical están equilibradas (Dickson et al. 1960; Guzmán et al. 2012).

Con respecto a la relación (PSA/PSR), los mejores resultados son los valores que tienden a uno, es decir, el criterio de calidad con base en esta característica, es que la parte aérea sea lo más cercano posible a la biomasa de la raíz, lo que puede garantizar una mayor supervivencia, ya que se evita que la transpiración exceda a la capacidad de absorción de agua por las raíces (Guzmán et al. 2012). En este ensayo, a excepción de LO, los tratamientos con *Trichoderma* spp presentaron valores ligeramente mejores a los tratamientos sin éste, ya que, como menciona Santos y Diánez (2010) el *Trichoderma* spp coloniza las raíces de las plantas favoreciendo el desarrollo tanto aéreo como radicular. Debe tomarse en cuenta que, a pesar de que estos índices de calidad son utilizados por primera vez en cultivos hortícolas por Guzmán et al. (2012), sus aplicaciones pueden ser útiles para evaluar la calidad de las plántulas producidas en contenedores, como es el caso del presente ensayo.

La importancia de utilizar índices integrados de calidad ha sido reforzada por estudios recientes. Lazcano-Bello et al. (2021) demostraron que el ICD es un predictor confiable del desempeño de las plántulas después del trasplante, especialmente cuando se evalúan diferentes sustratos orgánicos. Los autores encontraron que plántulas con valores superiores de ICD presentaron mejor adaptación y menor mortalidad en campo. Similarmente, Calero et al. (2019)

reportaron que la aplicación de microorganismos benéficos en sustratos orgánicos incrementó significativamente la calidad de las plántulas de tomate, reduciendo el ciclo de producción entre 22% y 24%, lo cual tiene implicaciones económicas importantes para los productores.

Análisis de varianza y coeficientes de variación.

El análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias altamente significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos para todas las variables evaluadas, lo que confirma que la composición del sustrato tuvo un efecto directo en la calidad de las plántulas. Los tratamientos con lombricomposta, sola o en combinación con *Trichoderma* spp. (LO y LOTR), presentaron los valores más altos en brotación, diámetro de tallo, altura de plántula, número de hojas, peso fresco, peso seco e índice de calidad de Dickson (ICD), mientras que los sustratos a base de bocashi y fibra de coco mostraron consistentemente los valores más bajos. La prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) permitió corroborar estas diferencias, destacando que LO y LOTR superaron significativamente a los demás tratamientos en la mayoría de las variables. Los coeficientes de variación (CV) oscilaron entre 6.8% y 11.4%, rango considerado adecuado en experimentos de invernadero, lo que confirma la precisión de las mediciones y la confiabilidad del diseño experimental.

Cuadro 3. Análisis de varianza (ANOVA) y coeficientes de variación (CV) para variables de plántulas de jitomate cultivadas en diferentes sustratos orgánicos bajo condiciones de invernadero en Yaonáhuac, Puebla, México.

Table 3. Analysis of variance (ANOVA) and coefficients of variation (CV) for growth variables of tomato seedlings grown in different organic substrates under greenhouse conditions in Yaonáhuac, Puebla, Mexico, 2023.

Variable	gl Tratamientos	gl Error	F calculada	p-valor	CV (%)
Brotación (%)	8	18	12.54	<0.001	6.80
Diámetro de tallo (cm)	8	18	15.73	<0.001	9.20
Altura de plántula (cm)	8	18	17.85	<0.001	11.40
Número de hojas	8	18	9.47	<0.001	8.70
Peso fresco (g)	8	18	14.21	<0.001	10.30
Peso seco (g)	8	18	13.86	<0.001	9.80
Índice de calidad Dickson	8	18	10.72	<0.001	10.10

gl = grados de libertad; CV = coeficiente de variación.

Implicaciones para la sostenibilidad y calidad fitosanitaria.

Los resultados del presente estudio tienen implicaciones importantes para la sostenibilidad del sistema de producción de jitomate en México. El uso de sustratos orgánicos, particularmente la lombricomposta, no solo mejora la calidad de las plántulas, sino que también contribuye a disminuir la dependencia de insumos químicos sintéticos desde las etapas tempranas del cultivo. Esta práctica cobra especial relevancia ante el contexto actual de las exportaciones de tomate mexicano hacia Estados Unidos, donde los rechazos están vinculados principalmente a residuos de pesticidas, con el 75% de los casos relacionados con insecticidas (Hernández-Mosqueda et al., 2025).

La implementación de sistemas de producción de plántulas basados en sustratos orgánicos representa una estrategia preventiva que puede contribuir a reducir la presión sobre el uso de agroquímicos en etapas posteriores del cultivo. Como señalan Altieri (2017) y Kremen y Miles (2012), los sistemas agrícolas diversificados y con base ecológica presentan mayor resistencia a plagas y enfermedades, menor dependencia de insumos externos y mejor calidad de productos, aspectos fundamentales para cumplir con los estándares internacionales de inocuidad alimentaria. La integración de microorganismos benéficos como *Trichoderma* spp en los sustratos orgánicos refuerza esta estrategia, promoviendo desarrollo radicular saludable y supresión natural de patógenos desde la fase de almácigo (Calero et al., 2019; Santos y Diánez, 2010; Sehim et al., 2023). Estudios recientes confirman que *Trichoderma* induce resistencia sistémica y mejora la disponibilidad de nutrientes (Bandara y Kang, 2024), mientras que la vermicomposta incrementa la capacidad antioxidante y marcadores fisiológicos en plántulas de tomate bajo estrés (Tikoria et al., 2024).

Análisis beneficio-costo de la producción de plántula

El análisis económico sobre la producción de plántulas de jitomate se realizó calculando la relación beneficio-costo del proceso, en donde el sustrato con mejor costo de producción de plántulas correspondió a LO, a diferencia del TE que presentó el mayor costo de producción de plántulas (cuadro 4). La venta de plántula fue calculada considerando el porcentaje de brotación a los 30 días, pues es el indicador que consideran los productores para asegurar la sobrevivencia y

manejo durante el trasplante. No obstante, las plántulas de TE, a pesar de su alto costo de producción, representaron una ganancia de 4 centavos por cada peso invertido. Al comparar la ganancia de TE con las plántulas producidas con LO, se observó una diferencia de hasta 10 centavos por plántula producida. Esto debido, a que la lombricomposta es más barata, por lo que representó una ganancia de 14 centavos por cada peso invertido (Cuadro 4). Esta diferencia de 10 centavos por plántula, en una producción masiva, representa un beneficio rentable.

Estos resultados son especialmente relevantes en el contexto económico actual, donde los costos de insumos agrícolas, particularmente fertilizantes y sustratos comerciales importados, han experimentado incrementos significativos en los últimos años (Schnitkey et al., 2022), reforzando la importancia de evaluar alternativas de producción basadas en recursos locales.

Cuadro 4. Comparación de la relación beneficio-costo en la producción de plántula de tomate, utilizando diferentes sustratos orgánicos bajo condiciones de invernadero en Yaonáhuac, Puebla, México. Año 2023.

Table 4. Comparison of the benefit–cost ratio for tomato seedling production using different organic substrates under greenhouse conditions in Yaonáhuac, Puebla, Mexico, 2023.

Tratamiento	Costos de Producción (\$)	Venta de la producción (\$)	Relación C/B
TE	396.00	413.60	1.04
FC	378.00	118.80	0.31
BO	369.00	52.80	0.14
LO	367.50	418.00	1.14
LOFC	368.25	356.40	0.97
FCTR	379.30	132.00	0.35
BOTR	370.30	127.60	0.34
LOTR	368.80	414.04	1.12
LOFCTR	369.55	344.52	0.93

Fuente: elaboración propia, calculado con materia prima local. TE= Peat Moss, FC= Fibra de coco, BO= Bocashi, LO= Lombricomposta, LOFC= Lombricomposta-Fibra de coco, FCTR= Fibra de coco-Trichoderma spp, BOTR= Bocashi-Trichoderma spp, LOTR= Lombricomposta-Trichoderma spp, LOFCTR= Lombricomposta-Fibra de coco-Trichoderma spp.

Es importante resaltar que el sustrato no solo proporciona condiciones adecuadas de germinación y soporte mecánico a las plántulas, como lo señala Magdaleno et al. (2006), sino que sus propiedades físicas y biológicas pueden favorecer indirectamente la disponibilidad de nutrientes, dependiendo de su origen y composición. En este estudio se observó que las plántulas cultivadas con lombricomposta (LO, LOTR) mantuvieron un desarrollo vigoroso hasta los 26 días después de la siembra sin requerir fertilización complementaria, lo que sugiere una posible contribución del sustrato a la nutrición inicial de las plantas. Sin embargo, no se realizaron análisis específicos de transferencia de nutrientes, por lo que este efecto debe interpretarse de manera inferencial. Además, la incorporación de *Trichoderma* spp. no afectó el desarrollo de las plántulas; por el contrario, coincide con lo reportado por Santos y Diánez (2010), quienes señalan que *Trichoderma* coloniza las raíces, favorece el desarrollo radicular y aéreo, e inhibe la acción de fitopatógenos del suelo.

CONCLUSIÓN

Los tratamientos con sustrato de lombricomposta a base de pulpa de café y cáscara de nuez representan una alternativa ecológica y económica para la producción de plántulas de jitomate, ya que proveen propiedades físicas, químicas y biológicas que garantizan alta brotación (94.8%), calidad adecuada de plántula (ICD de 0.039) y rentabilidad superior (relación B/C de 1.14) al sustrato comercial importado Peat moss (relación B/C de 1.04), con una considerable reducción o eliminación de la aplicación de fertilizantes complementarios.

La integración de *Trichoderma* spp en la lombricomposta (LOTR) no afectó negativamente el desarrollo de las plántulas y ofrece el potencial de protección contra patógenos radiculares, alcanzando resultados similares al sustrato de lombricomposta solo (relación B/C de 1.12). Estos resultados tienen implicaciones importantes para la sostenibilidad del sector hortícola mexicano, especialmente en el contexto de los estándares internacionales de inocuidad alimentaria, donde el uso de sustratos orgánicos desde la fase de almácigo puede contribuir a reducir la dependencia de agroquímicos y mejorar la calidad fitosanitaria del producto final.

Se recomienda a los productores de plántulas considerar el uso de lombricomposta como sustrato base, ya que además de los beneficios económicos y agronómicos

demostrados, representa una estrategia alineada con las demandas actuales de producción sostenible y cumplimiento de estándares internacionales de calidad e inocuidad.

LITERATURA CITADA

- Abad, M., Noruega, P., & Camón, C. (2005). Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. En C. Cadahía (Coord.), *Fertirrigación cultivos hortícolas y ornamentales* (3^a ed., pp. 299-352). Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Agustín-Oropeza, F., Torres-Beltrán, A., Mendoza-Pérez, C., & Bernal-Alzate, J. C. (2025). Efecto de la edad de trasplante en el rendimiento de jitomate riñón silvestre. *Revista Ciencia e Innovación Agroalimentaria de la Universidad de Guanajuato*, 6(6), 208–217. <https://doi.org/10.15174/cia.v6i6.137>
- Aira, M., Monroy, F., & Domínguez, J. (2007). Earthworms strongly modify microbial biomass and activity triggering enzymatic activities during vermicomposting independently of the application rates of pig slurry. *Science of the Total Environment*, 385, 252-261. doi: 10.1016/j.scitotenv.2007.07.006
- Altieri, M. A. (2017). *Agroecology: The science of sustainable agriculture*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Andrade, N., & Valenzuela, E. (2002). Aserrín de pino pretratado con cepas fúngicas como sustrato para la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Agro Sur*, 30(2), 28-34.
- Bandara, A. Y., & Kang, S. (2024). *Trichoderma* application methods differentially affect the tomato growth, rhizomicrobiome, and rhizosphere soil suppressiveness against *Fusarium oxysporum*. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1366690. doi: 10.3389/fmicb.2024.1366690
- Bárcenas-Huazano, M. A., Reyes-Tena, A., Jaramillo-López, P. F., Gómez-Dorantes, N., Méndez-Inocencio, C., & López-Pérez, L. (2025). Control de nemátodos agalladores mediante extractos de brócoli en plantas de jitomate. *Revista Ciencia e Innovación Agroalimentaria de la Universidad de Guanajuato*, 6(2), 298–309. <https://doi.org/10.15174/cia.v6i12.94>
- Bautista, C. J., García, R., Pérez, J., Zavaleta, E., Montes, R., & Ferrera, R. (2008). Inducción de supresividad a fitopatógenos del suelo. Un enfoque holístico al control biológico. *Interciencia*, 33(2), 96-102.
- Berrospe-Ochoa, E. A., Saucedo-Veloz, C., Ramírez-Vallejo, P., & Ramírez-Guzmán, M. E. (2015). Comportamiento agronómico de plántulas de poblaciones nativas de jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) en producción intensiva en invernadero. *Agrociencia*, 49(6), 637-650.
- Bracho, J. (2005). Caracterización de sustratos para la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en bandejas (Tesis de Maestría). Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Venezuela.
- Burés, S. (1997). *Sustratos* (1^a ed.). Madrid, España: Agrotécnicas S. L.

- Calero, A., Quintero, E., Pérez, Y., Olivera, D., Peña, K., Castro, I., & Jiménez, J. (2019). Evaluación de microorganismos eficientes en la producción de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum L.*). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 36(1), 67-78. doi: 10.22267/rcia.193601.99
- Carrasco, G., & Izquierdo, J. (2005). Manual técnico almacigero flotante para la producción de almácigos hortícolas (1^a ed.). Talca, Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – Oficina Regional para América Latina y el Caribe.
- De Cruz-Lázaro, E. de la, Estrada-Botello, M. A., Robledo-Torres, V., Osorio-Osorio, R., Márquez-Hernández, C., & Sánchez-Hernández, R. (2009). Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia*, 25(1), 59-67.
- De Luna, V. A., & Vázquez, A. E. (2009). Elaboración de abonos orgánicos. Guadalajara, México: Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara.
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Horsen, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, 36(1), 10-13. doi: 10.5558/tfc36010-1
- Domínguez, J., Lazcano, C., & Gómez-Brandón, M. (2010). Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.), Número Especial 2, 359-371.
- González, H. (1996). El Bocashi, un método para elaborar abonos orgánicos [Plegable]. San José, Costa Rica: Producción Orgánica de Alimentos (PROA).
- Guzmán, A., Borges, L., Pinzón, L., Ruiz, E., & Zúñiga, J. (2012). Efecto del ácido salicílico y la nutrición mineral sobre la calidad de plántulas de chile habanero. *Agronomía Mesoamericana*, 23(2), 247-257.
- Hernández-Mosqueda, F. A., Ortega-López, G., Juárez-García, R. A., & Huerta-Lara, M. (2025). Alertas de importación de tomate rojo mexicano: un análisis de la base de datos de la FDA. *Revista Ciencia e Innovación Agroalimentaria de la Universidad de Guanajuato*, 6(2), 149-156.
- Hua, Y., & Liu, G. (2024). Food Pesticide Residues Monitoring and Health Risk Assessment. *Foods*, 13(3), 474. <https://doi.org/10.3390/foods13030474>
- Jaramillo, J., Rodríguez, V., Guzmán, M., Zapata, M., & Rengifo, T. (2007). Manual técnico: Buenas prácticas agrícolas en la producción de tomate bajo condiciones protegidas (1^a ed.). Medellín, Colombia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO.
- Kremen, C., & Miles, A. (2012). Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: benefits, externalities, and trade-offs. *Ecology and Society*, 17(4), 40. doi: 10.5751/ES-05035-170440
- Lazcano-Bello, M. I., Sandoval-Castro, E., Tornero-Campante, M. A., Hernández-Hernández, B. N., Ocampo-Fletes, I., & Díaz-Ruiz, R. (2021). Evaluación de

- sustratos, solución nutritiva y enraizador en producción de plántulas de jitomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(1), 61-76. doi: 10.29312/remexca.v12i1.2447
- Magdaleno, J., Peña, A., Castro, R., Castillo, A., Galvis, A., Ramírez, F., & Becerra, P. (2006). Efecto de tres sustratos y dos colores de plástico en el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 12(2), 153-158.
- Marcano Criollo, L. M., & Rodríguez Padrón, R. A. (2019). Sustratos orgánicos para la producción de plántulas de tomate en vivero. *Acta Iguazu*, 8(3), 48-61.
- Ortega-Martínez, L. D., Sánchez-Olarte, J., Díaz-Ruiz, R., & Ocampo-Mendoza, J. (2010). Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Ra Ximhai*, 6(3), 365-372.
- Quesada, G., & Méndez, C. (2005). Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. *Agronomía Mesoamericana*, 16(2), 171-183. doi: 10.15517/am.v16i2.5184
- Salas, M. C., & Urrestarazu, M. (2000). Métodos de riego y fertirrigación en cultivos sin suelo. En M. Urrestarazu (Ed.), *Manual de cultivo sin suelo* (pp. 185-253). Madrid, España: Mundi-Prensa.
- San Martín-Hernández, C., Ordaz-Chaparro, V. M., Sánchez-García, P., Colinas-Leon, M. T. B., & Borges-Gómez, L. (2012). Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponia con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia*, 46, 243-254.
- Santos, M., & Diánez, F. (2010). Los antagonistas microbianos en el manejo de micosis de la parte aérea de la planta. En *Organismos para el control de patógenos en los cultivos protegidos. Prácticas culturales para una agricultura sostenible* (pp. 523-528). Almería, España: Fundación Cajamar.
- Schnitkey, G., Paulson, N., Zulauf, C., Swanson, K., Baltz, J. (2022). Fertilizer Prices, Rates, and Costs for 2023. *farmdoc daily*, 12(148). Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Sehim, A. E., Hewedy, O. A., Altammar, K. A., Alhumaidi, M. S., & Abd Elghaffar, R. Y. (2023). *Trichoderma asperellum* empowers tomato plants and suppresses *Fusarium oxysporum* through priming responses. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1140378. doi: 10.3389/fmicb.2023.1140378.
- Singh Brar, B., Singh, J., Singh, G., & Kaur, G. (2015). Effects of long term application of inorganic and organic fertilizers on soil organic carbon and physical properties in maize-wheat rotation. *Agronomy*, 5, 220-238. doi: 10.3390/agronomy5020220
- Tikoria, R., Kumar, D., Ali, M., Tikoria, A., Kumar, A., & Abrol, V. (2024). Boosting of free radical scavenging capacity and physiological markers of tomato plants by vermicompost application during nematode stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24, 1507-1518. doi: 10.1007/s42729-024-01656-6