

Evaluación de sustratos, solución nutritiva y enraizador en producción de plántulas de jitomate

María Isabel Lazcano-Bello
Engelberto Sandoval-Castro[§]
Mario Alberto Tornero-Campante
Brenda Nataly Hernández-Hernández
Ignacio Ocampo-Fletes
Ramón Díaz-Ruíz

¹Campus Puebla-Colegio de Postgraduados. Boulevard Forjadores de Puebla núm. 205, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México. CP. 72760. Tel: 222 2850013. (isabel.lazcano@icloud.com; mtornero@colpos.mx; bn-hdz@hotmail.com; agroecología.iof@yahoo.com; dramon@colpos.mx).

[§]Autor para correspondencia: engelber@colpos.mx.

Resumen

La obtención de plántulas de hortalizas de alta calidad en almácigo permite a los productores disminuir la pérdida de semilla, reducir el tiempo hasta alcanzar la altura óptima de trasplantarse, minimizar la pérdida de plantas en suelo o sustrato y adaptarse mejor al medio donde se realice el trasplante final. Producir plántulas en las mejores condiciones de sustrato y nutrición, aumenta el éxito de cualquier cultivo. En la mayoría de los casos, para producir plántula en México, se hace uso de sustratos importados por esta razón, es conveniente investigar alternativas de sustratos disponibles localmente. El objetivo fue comparar cuatro sustratos en dos concentraciones de la solución nutritiva Steiner y un enraizador en plántulas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. Se estableció un experimento factorial con 16 repeticiones en un diseño completamente al azar. Las variables fueron: días a emergencia y aparición de las primeras hojas verdaderas, altura de plántula, grosor del tallo, número de hojas, peso fresco y seco de biomasa y raíz. Los resultados mostraron que los sustratos que propiciaron las mejores características de calidad de plántula fueron: peat moss y tezontle, aunque no se presentaron diferencias significativas entre 50% y 100%, a la solución nutritiva, la concentración al 100% mostró plantas con mayor calidad y el enraizador no presentó efecto positivo sobre la calidad de las plántulas. Con base en lo anterior, se recomienda el tezontle como sustrato para producir plántulas de jitomate por ser bajo costo, con una solución nutritiva Steiner del 100%, sin aplicar enraizador.

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum* Mill., almácigo, calidad de plántula, tezontle.

Recibido: noviembre de 2020

Aceptado: febrero de 2021

Introducción

La producción de hortalizas en México ha sufrido una etapa de transición de los sistemas tradicionales a tecnificados tanto en invernadero como en campo abierto, ahora se producen cultivos con alto valor económico para el mercado como el jitomate, una hortaliza que se cultiva de manera intensiva en el mundo, por sus niveles de demanda y consumo. Es una fuente de vitaminas, minerales, carbohidratos y compuestos bioactivos entre otras el ‘licopeno’ como menciona Navarro y Periago (2016), benéficos para la salud humana, tiene amplia gama de uso en fresco y es una importante materia prima para la industria de transformación (Martínez *et al.*, 2017).

En nuestro país, los principales estados en los que se cultiva el jitomate en orden de importancia son: Sinaloa, San Luis Potosí, Michoacán, Jalisco, Zacatecas, Baja California Sur, Puebla, Morelos, Baja California y Sonora, además México se ha colocado como el 9° productor a nivel mundial y es considerado líder mundial en exportación de esta hortaliza destinada principalmente a Estados Unidos de América (SIAP, 2019).

Ante las nuevas tecnologías aplicables en los cultivos bajo invernadero, los agricultores tienen frente a sí, un campo de inversión muy alentador; es por ello, que la superficie de jitomate bajo condiciones de invernadero ha venido aumentada en los últimos años (Monge y Loría, 2019). Uno de los métodos de producción intensiva de jitomate, es la siembra de plántulas que provienen de un almácigo, la eficiencia de este sistema depende, en gran medida, que las semillas germinen y emerjan con la mayor rapidez y las plántulas obtenidas alcancen en el menor tiempo posible los parámetros de crecimiento ideales para su posterior trasplante (Enríquez-Acosta y Reyes-Pérez, 2018), pues es en esta etapa, donde se busca fortalecer la morfología de las mismas para lograr una adaptación exitosa después del trasplante (Nava-Pérez *et al.*, 2019).

El éxito en la producción de plántulas implica varios factores, pero dos de los más importantes, lo constituyen el sustrato o medio de crecimiento y la nutrición, que se aplique a la plantita (Gaytán-Ruelas *et al.*, 2016). Fundamentalmente de la calidad de la plántula que se use, dependerá la productividad del cultivo (Rodríguez *et al.*, 2013). Las características fisicoquímicas de los sustratos son importantes para la producción de plántulas e inciden en el crecimiento y desarrollo de estas, es por eso que debe poseer buenas propiedades que posibiliten su uso, además con anterioridad deben ser evaluados para identificar aquéllos que presenten características aceptables (López *et al.*, 2013).

Para lograr las propiedades adecuadas en los sustratos, deben combinarse materiales orgánicos e inorgánicos, que sean capaces de brindar soporte físico y nutrimental adecuado para producir plántulas a gran escala y de calidad (Pérez *et al.*, 2017). En las últimas dos décadas, el uso de sustratos comerciales inertes se ha implementado en la producción de jitomate en invernadero, en la mayoría de los casos se utilizan sustratos que han generado dependencia tecnológica, costos de producción elevados y agotamiento acelerado de los recursos naturales (Martínez-Rodríguez *et al.*, 2017; Nava-Pérez *et al.*, 2019).

Otro de los factores a considerar en la producción de plántula es la nutrición, ya que juega un papel fundamental en esta etapa, en el trasplante y durante la producción del cultivo, con base en ello se pueden realizar y aplicar soluciones nutritivas balanceadas para cada una de las etapas de

crecimiento, floración y fructificación o llenado de fruto (Gaytán-Ruelas *et al.*, 2016). La mayoría de las soluciones nutritivas recomendadas se obtienen mezclando los nutrimentos en diferentes proporciones, sembrando posteriormente, de esta manera, la mezcla de nutrimentos con la cual se obtienen las mejores características del cultivo es la que se recomienda como una solución nutritiva específica para el mismo (Villegas-Torres *et al.*, 2005).

Debido al papel importante que juegan estos dos elementos, resulta conveniente realizar investigaciones para encontrar un sustrato adecuado con materiales locales y de fácil acceso, así como recomendar la concentración de nutrientes óptima para la producción de plántulas de jitomate. Además, es importante que estas investigaciones generen técnicas sustentables para la obtención de plántulas de alta calidad, vigor y adaptabilidad; es decir, plántulas con raíces bien desarrolladas y de rápida adaptación a las condiciones de estrés causadas por el trasplante (Cruz *et al.*, 2016).

Con base a lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue estudiar cuatro sustratos, dos concentraciones de solución nutritiva, más el uso de un enraizador (regulador de crecimiento) para la obtención de plántulas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones protegidas. La hipótesis planteada es que hay efectos en la respuesta en el desarrollo de plántulas de jitomate a diferentes soluciones nutritivas, sustratos y enraizador.

Materiales y métodos

Localización

El presente trabajo de investigación se realizó en el módulo uno, de un invernadero ‘Baticenital’ cubierto de plástico blanco con grosor de 720 galgas y 25% de sombreo. El tamaño es de 120 m² y quedó instalado en el Campus Puebla del Colegio de Postgraduados, ubicado en los 19° 04’ latitud norte y 98° 15’ longitud oeste, a 2 130 msnm, en la junta Auxiliar de Momoxpan, municipio de San Pedro Cholula, Puebla.

Material vegetal

Se utilizó como material vegetal la semilla de tomate tipo saladette de crecimiento indeterminado variedad Santorini de la empresa ©King Seeds & Cía SA de CV.

Diseño experimental

El diseño de tratamientos fue un factorial y el diseño experimental un completamente al azar, con 16 repeticiones. Los factores en estudio fueron los cuatro sustratos, dos niveles de la solución nutritiva Steiner y un regulador de crecimiento. Para ellos se utilizaron charolas de poliestireno de 200 cavidades. Los factores fueron: arena de tezontle rojo, vermicompost, fibra de coco y peat moss, este último de la marca Sunshine mezcla 3. Los niveles de solución nutritiva Steiner al 50 y 100% y el enraizador (regulador de crecimiento) Radix 1500 (con y sin), en total 16 tratamientos. La unidad experimental fue una plántula en cada cavidad de charola, utilizando una charola por tratamiento.

Establecimiento y manejo del experimento

La siembra se realizó el 07 de junio de 2018 en charolas de poliestireno de 200 cavidades, las cuales fueron sumergidas en hipoclorito de sodio al 3% durante 16 h. Los sustratos se prepararon previamente a la siembra: la arena de tezontle rojo se desinfectó con una solución de agua e hipoclorito de sodio al 10% durante 19 h, posteriormente se lavó y se utilizó para la siembra, el vermicompost y la fibra de coco se humedecieron con agua durante 19 h antes de la siembra y el peat moss, se humedeció con agua 15 min antes de la siembra, dejándose a capacidad de campo. Esta información fue obtenida de datos experimentales. Una vez preparadas las charolas y los sustratos, se procedió a la siembra, para ello se utilizaron 20 cavidades de cada charola, las cuales se llenaron de forma manual con los sustratos correspondientes. Se sembró una semilla de jitomate por cavidad y se depositó a 2 mm de profundidad.

Cuando las plántulas emergieron se aplicó un riego diario de forma manual con agua de lluvia, fue hasta que las plántulas presentaron la aparición de las primeras hojas verdaderas que se inició con la aplicación de la solución nutritiva (Steiner, 1968) en concentraciones de 50 y 100% para cada uno de los tratamientos. La cantidad de fertilizante utilizada para preparar la solución nutritiva concentrada al 100% fue: 6 g de KNO_3 , 11 g de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 3 g de KH_2PO_4 , 6.5 g de MgSO_4 , 6.3 g de K_2SO_4 y 0.8 g de micronutrientes Fe, Mn, B, Zn, Cu y Mo. La solución nutritiva al 50% se preparó de manera equitativa. En cuanto al enraizador, se utilizó el Radix (Ácido Indol-3-Butírico al 0.15%) como ingrediente activo, se aplicó cuando la planta tenía cinco días de nacida.

Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: días a emergencia. Días que tardaron en emerger al menos 50% de las plántulas. Días a la aparición de las dos primeras hojas verdaderas. Tiempo que tardaron en aparecer las primeras hojas verdaderas. Altura de plántula (ALT) (en cm). Se registró midiendo la base del tallo hasta el punto de crecimiento de la última hoja verdadera utilizando una regla graduada. Grosor de tallo (DIA) (en mm). Se midió el grosor del tallo de las plántulas a nivel de la base de la charola, para ello se utilizó un vernier. Número de hojas (NH). Se contaron el número de folíolos extendidos.

Los datos de las tres variables anteriores se tomaron una vez a la semana, y con esta información se aplicó además el modelo logístico de crecimiento de Hunt (2017). Peso fresco de biomasa y raíz (PFB) (en g). Para medir esta variable se limpió la raíz y se registró el peso utilizando una báscula digital. Peso seco de biomasa y raíz (PSB) (en g). Para esta variable se colocaron las plántulas en una estufa de secado a una temperatura de 50 °C durante 24 h, posteriormente se registró el peso en una balanza analítica, estos datos se obtuvieron de ocho repeticiones y se registraron al final del experimento (44 DDS). Longitud y ancho de raíz (LOR y ANR) (en cm). Se midieron utilizando una regla graduada.

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), mediante el paquete estadístico Statistical Analysis System versión 9 (SAS, 2002).

Modelos logísticos

Estos modelos permiten expresar el crecimiento o desarrollo de parámetros de las plantas, de tal forma que para las variables de este estudio: altura de planta (ALT), grosor del tallo (DIA) y número de hojas (NH), se usaron los modelos logísticos de crecimiento de plantas que presenta Hunt (2017). Con la siguiente expresión: $Y = A / (1 + B * \text{EXP}^{-C * X})$. Donde: Y= es la variable dependiente (ALT, DIA o NH); X, es la variable independiente (DDS, días después de la siembra); EXP, es el logaritmo natural o neperiano (e) = 2.718281828; A= es un parámetro que está relacionado con el valor máximo de la curva del modelo logístico; B= es un parámetro que está relacionado con la ordenada en el origen y; C= es un parámetro que está relacionado con la pendiente del modelo en su punto de mayor incremento. Estos parámetros fueron calculados con el programa PROC NLIN del Statistical Analysis System del SAS Institute (SAS, 2002).

Resultados y discusión

Días a emergencia de plántulas

Los resultados obtenidos mostraron que el menor tiempo de emergencia de plántulas ocurrió con el sustrato peat moss (4 días). En condiciones de sustrato arena de tezontle, las semillas germinaron a los 6 días. En cambio, con fibra de coco y vermicompost, las plántulas tardaron 9 y 14 días respectivamente. La diferencia en emergencia entre peat moss y vermicompost fue de 10 días. Al respecto y de manera comparativa, Florido *et al.* (2018) comenta que, en condiciones óptimas de germinación, la mayoría de las semillas de jitomate emergen en un periodo de 2 a 5 días.

El inicio de la emergencia, parece estar relacionado con las características físico-químicas de los sustratos, para el caso del peat moss destacan su alta retención de humedad y porosidad (Fernández-Bravo *et al.*, 2006), lo que permite que la semilla obtenga las mejores condiciones para su emergencia en un tiempo relativamente más corto, comparado con el resto de los sustratos, los cuales presentan características menos favorables para la germinación como una baja retención de humedad y una menor porosidad (Ortega *et al.*, 2016).

Días a la aparición de las dos primeras hojas verdaderas

En la Figura 1, se presentan los días que transcurrieron desde emergencia, hasta la aparición de las primeras dos hojas verdaderas en las plántulas de jitomate, producidas en los diferentes sustratos evaluados. Nuevamente el sustrato peat moss, presentó el menor tiempo en la aparición de las primeras dos hojas verdaderas, comparado con el resto de los sustratos. En general, el sustrato fibra de coco y vermicomposta fueron las más tardadas con más de 20 y 30 días en generar las dos primeras hojas verdaderas.

En relación, Berrospe-Ochoa *et al.* (2015), reportan que las dos primeras hojas verdaderas en jitomate tardan en aparecer entre 13 y 14 días después de la siembra, datos que coinciden con los resultados obtenidos en las plántulas que se produjeron en los sustratos peat moss y tezontle (11 y 14 días respectivamente). La aparición de los órganos vegetativos en plántulas se ve favorecida por el uso de sustratos a base de turba (peat moss), ya que su porosidad proporciona mayor aireación, con adecuadas características biológicas que facilitan la emisión del número de hojas verdaderas (Sarduy y Castellanos, 2011).

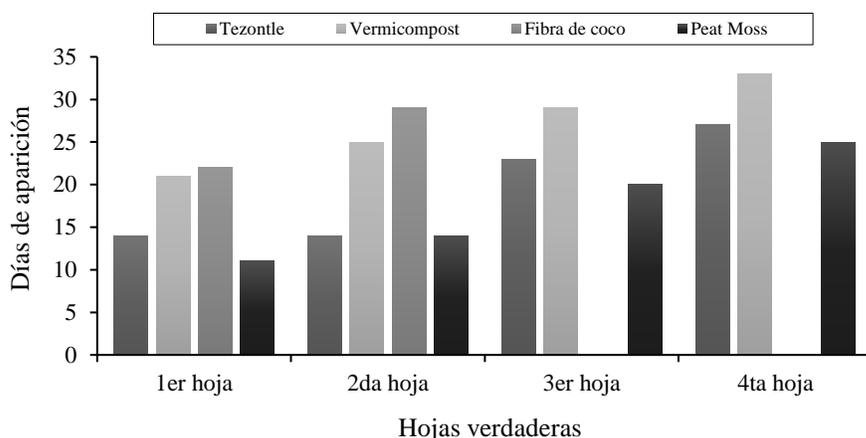


Figura 1. Días de aparición de órganos en plántulas de jitomate producidas en diferentes sustratos.

Análisis de varianza y prueba de medias de las variables de estudio

El análisis de varianza para el resto de las variables evaluadas indica que hubo diferencias estadísticas significativas (Cuadro 1), se presentan también las pruebas de comparación de medias para identificar los tratamientos sobresalientes (Cuadro 2 y 3).

Cuadro 1. Significancia estadística de las variables evaluadas en plántulas de jitomate producidas en diferentes tratamientos de sustratos, solución nutritiva y enraizador.

| FV | GL | ALT | DIA | NH | LOR | ANR | PFB | PFR | PSB | PSR |
|-----|-----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|-------|
| TR | 75 | 78.85* | 1.63* | 7.07* | 2.84* | 0.14* | 0.21* | 0.0049* | 11.41* | 0.67* |
| CME | 180 | 0.72 | 0.02 | 0.27 | 0.1 | 0.01 | 0.01 | 0.0003 | 6.25 | 0.02 |
| CV | | 10.19 | 7.50 | 13.73 | 19.09 | 40.72 | 29.66 | 31.68 | 28.65 | 12.43 |

FV= fuente de variación; GL= grados de libertad; TR= tratamientos; CME= error; CV= coeficiente de variación en (%); * = significancia estadística 0.01 de probabilidad; ALT= altura; DIA= grosor del tallo; NH= número de hojas; LOR= longitud de raíz; ANR= ancho de raíz; PFB= peso fresco de biomasa; PFR= peso fresco de raíz; PSB: peso seco de biomasa; PSR= peso seco de raíz.

Cuadro 2. Comparación de medias de las variables: altura, grosor del tallo y número de hojas en plántulas de jitomate producidas en diferentes sustratos.

| Tratamiento | Días después de la siembra | | | |
|---------------|----------------------------|--------|---------|---------|
| | 15 | 22 | 30 | 36 |
| | Altura de plántula (cm) | | | |
| Tezontle | 2.36 b | 3.98 b | 8.58 b | 11.18 b |
| Vermicompost | 0 c | 0.25 c | 3.54 c | 4.64 c |
| Fibra de coco | 0 c | 0.25 c | 2.47 d | 3.12 d |
| Peat moss | 4.18 a | 6.4 a | 11.64 a | 14.48 a |
| HSD | 0.128 | 0.16 | 0.332 | 0.39 |
| CV | 17.09 | 12.86 | 11.03 | 10.19 |

| Tratamiento | Días después de la siembra | | | |
|-----------------------|----------------------------|--------|--------|--------|
| | 15 | 22 | 30 | 36 |
| Grosor del tallo (mm) | | | | |
| Tezontle | - | 1.17 b | 2.16 b | 2.74 a |
| Vermicompost | - | 0 c | 1.18 c | 1.52 c |
| Fibra de coco | - | 0 c | 0.99 d | 1.19 d |
| Peat moss | - | 1.7 a | 2.33 a | 2.64 b |
| HSD | | 0.039 | 0.062 | 0.07 |
| CV | | 11.73 | 8.18 | 7.49 |
| Número de hojas | | | | |
| Tezontle | 1.53b | 2.36 b | 4.05 a | 5.05 a |
| Vermicompost | 0 c | 0.25 c | 2.03 b | 3.27 b |
| Fibra de coco | 0 c | 0.05 d | 0.95 c | 1.77 c |
| Peat moss | 1.94 a | 2.92 a | 4.14 a | 5.08 a |
| HSD | 0.146 | 0.13 | 0.216 | 0.238 |
| CV | 36.78 | 20.3 | 16.84 | 13.73 |

Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$); HSD= diferencia significativa honesta; CV= coeficiente de variación.

Cuadro 3. Comparación de medias de altura, grosor del tallo y número de hojas en plántulas de jitomate producidas en dos soluciones nutritivas Steiner y enraizador.

| Tratamiento | Días después de la siembra | | | |
|-------------------------|----------------------------|--------|---------|---------|
| | 15 | 22 | 30 | 36 |
| Altura de plántula (cm) | | | | |
| S50 | 1.73 a | 2.51 c | 6.34 b | 8.01 b |
| S100 | 1.71 ab | 2.74 b | 6.75 a | 8.6 a |
| S50+E | 1.58 bc | 2.49 c | 6.53 ab | 8.34 ab |
| S100+E | 1.52 c | 3.13 a | 6.61 ab | 8.48 a |
| HSD | 0.128 | 0.16 | 0.332 | 0.39 |
| CV | 17.09 | 12.86 | 11.03 | 10.19 |
| Grosor del tallo (mm) | | | | |
| S50 | - | 0.72 a | 1.68 a | 2.02 a |
| S100 | - | 0.73 a | 1.71 a | 2.04 a |
| S50+E | - | 0.71 a | 1.7 a | 2.04 a |
| S100+E | - | 0.73 a | 1.59 b | 1.99 a |
| HSD | | 0.04 | 0.062 | 0.07 |
| CV | | 11.73 | 8.18 | 7.5 |

| Tratamiento | Días después de la siembra | | | |
|-------------|----------------------------|--------|---------|--------|
| | 15 | 22 | 30 | 36 |
| | Número de hojas | | | |
| S50 | 0.86 a | 1.28 b | 2.69 b | 3.72 a |
| S100 | 0.86 a | 1.33 b | 2.92 a | 3.77 a |
| S50+E | 0.86 a | 1.39 b | 2.78 ab | 3.94 a |
| S100+E | 0.89 a | 1.58 a | 2.78 ab | 3.73 a |
| HSD | 0.146 | 0.13 | 0.216 | 0.238 |
| CV | 36.78 | 20.3 | 16.84 | 13.73 |

Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$); HSD= diferencia significativa honesta; CV= coeficiente de variación. S50= solución nutritiva Steiner al 50%; S100= solución nutritiva Steiner al 100%; E= enraizador.

Altura de plántula

Esta variable se ajustó al modelo logístico de crecimiento (Cuadro 4) y de acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de varianza presentado en el Cuadro 2, hubo efecto significativo cuando se aplicó alguna de las concentraciones de la solución nutritiva Steiner a los sustratos evaluados. Al analizar esta variable, conforme a la prueba de comparación de medias (Cuadro 3), se obtuvo que la mayor altura de plántula se presentó con el tratamiento 8 (P+S100), con una altura de 16.3 cm, seguida de los tratamientos 12 (P+S50+E), 4 (P+S50) y 16 (P+S100+E), lo cual puede observarse en la Figura 2. Por su parte, el tratamiento 13 (T+S100+E) también presentó valores favorables para altura de plántula, ya que se registró una altura de 13.4 cm. Ortega-Martínez *et al.* (2010) obtuvieron valores de 12-17 cm para la variable altura en plántulas de jitomate crecidas en diferentes sustratos, entre ellos peat moss (15 cm).

Cuadro 4. Modelos de altura de planta en cada tratamiento evaluado para la producción de plántulas de jitomate en diferente sustrato, solución nutritiva y enraizador.

| Tratamiento | Modelos | F Cal |
|-------------|--|-----------|
| T+S50 | $ALT=13.8827/(1+45.7155*EXP^{(-0.1292*DDS)})$ | 1801.4** |
| V+S50 | $ALT=4.9129/(1+8383(10^{14})*EXP^{(-1.4113*DDS)})$ | 1549.81** |
| F+S50 | $ALT=3.5813/(1+239(10^{17})*EXP^{(-1.5452*DDS)})$ | 502.75** |
| P+S50 | $ALT=17.3457/(1+22.9016*EXP^{(-0.1255*DDS)})$ | 2841.93** |
| T+S100 | $ALT=16.7177/(1+49.9599*EXP^{(-0.1334*DDS)})$ | 2013.59** |
| V+S100 | $ALT=3.2439/(1+2556(10^{15})*EXP^{(-1.4563*DDS)})$ | 236.04** |
| F+S100 | $ALT=3.0377/(1+1359(10^{15})*EXP^{(-1.4308*DDS)})$ | 1228.41** |
| P+S100 | $ALT=20.6071/(1+38.7106*EXP^{(-0.1392*DDS)})$ | 5509.9** |
| T+S50+E | $ALT=13.3692/(1+52.1848*EXP^{(-0.1393*DDS)})$ | 3553** |
| V+S50+E | $ALT=5.6127/(1+4267(10^{15})*EXP^{(-1.4768*DDS)})$ | 2200.83** |
| F+S50+E | $ALT=2.9688/(1+912(10^{16})*EXP^{(-1.507*DDS)})$ | 355.93** |
| P+S50+E | $ALT=20.264/(1+29.7054*EXP^{(-0.1225*DDS)})$ | 3581.16** |

| Tratamiento | Modelos | F Cal |
|-------------|---|-----------|
| T+S100+E | $ALT=16.4218/(1+87.6106*EXP^{-0.1668*DDS})$ | 1844.27** |
| V+S100+E | $ALT=5.248/(1+1905.5*EXP^{-0.2737*DDS})$ | 1062.29** |
| F+S100+E | $ALT=3.2789/(1+342.4*EXP^{-0.2165*DDS})$ | 817.64** |
| P+S100+E | $ALT=16.0642/(1+29.7354*EXP^{-0.1325*DDS})$ | 3598.02** |

F Cal= F calculada; T= tezontle; V= vermicompost; F= fibra de coco; P= peat moss, S50: solución nutritiva Steiner al 50%; S100= solución nutritiva Steiner al 100%; E= enraizador; ALT= altura de planta; EXP= logaritmo natural (2.7183); DDS= días después de la siembra; **= probabilidad (<0.01).

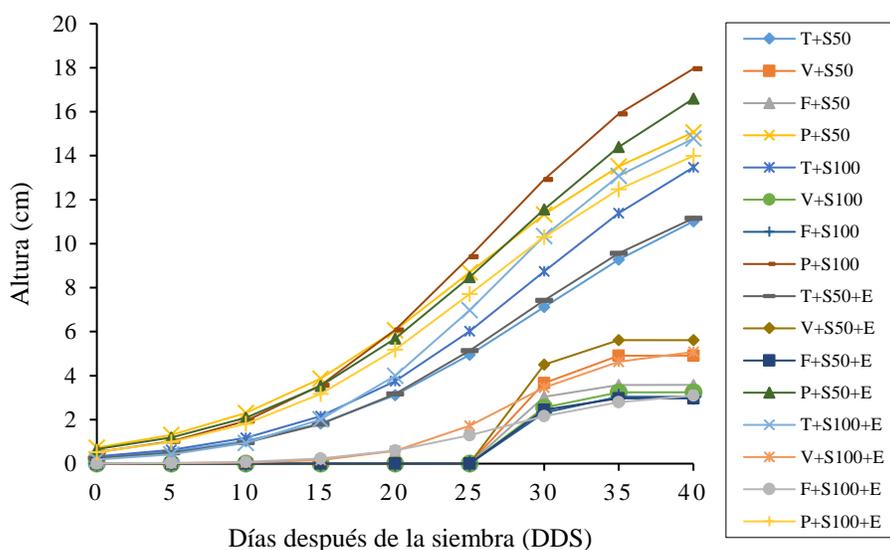


Figura 2. Altura de plántulas de jitomate producidas en diferentes tratamientos de solución nutritiva, sustratos y enraizador. T= tezontle; V= vermicompost; F= fibra de coco; P= peat moss; S50= solución nutritiva al 50%; S100= solución nutritiva al 100%; E= enraizador.

Referente a la aplicación de enraizador no se presentaron diferencias significativas (Cuadro 3); sin embargo, en cuanto a la aplicación de la solución nutritiva, las plántulas con los mejores valores fueron las producidas en el tratamiento 8 (P+S100). Arévalo-Madrigal *et al.* (2019) reportan que el uso de enraizadores en la producción de plántulas de jitomate favorece el desarrollo de parámetros importantes al momento de trasplante entre ellos, la altura de la plántula. Además, el desarrollo de las plántulas, en su etapa inicial, está directamente relacionado con la uniformidad en la germinación y ésta, a su vez, se puede atribuir exclusivamente a las características propias del sustrato (Fernández-Bravo *et al.*, 2006).

Grosor del tallo

En relación con el grosor del tallo, la prueba de comparación de medias mostrada en el Cuadro 2, indica que los mejores valores se obtuvieron con el sustrato y tezontle. Por su parte, respecto a la aplicación de la solución nutritiva y enraizador (Cuadro 3) no se presentaron diferencias significativas, no obstante, en el último muestreo realizado los tratamientos que mostraron los mayores valores fueron el tratamiento 5 (T+S100) y 13 (T+S100+E), como puede observarse en la Figura 3, la cual se ajustó al modelo logístico de crecimiento presentado en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Modelos de grosor del tallo de cada tratamiento evaluado, para la producción de plántulas de jitomate en diferente sustrato, solución nutritiva y enraizador.

| Tratamiento | Modelos | F Cal |
|-------------|--|-----------|
| T+S50 | $DIA=2.6124/(1+1770.1*EXP^{(-0.3223*DDS)})$ | 2913.73** |
| V+S50 | $DIA=1.6189/(1+6506(10^{14})*EXP^{(-1.401*DDS)})$ | 2691.04** |
| F+S50 | $DIA=1.1157/(1+7034(10^{15})*EXP^{(-1.4967*DDS)})$ | 1331.47** |
| P+S50 | $DIA=2.5371/(1+36810264*EXP^{(-0.8263*DDS)})$ | 3821.44** |
| T+S100 | $DIA=2.916/(1+503.2*EXP^{(-0.2518*DDS)})$ | 2019.19** |
| V+S100 | $DIA=1.3363/(1+1153(10^{16})*EXP^{(-1.5163*DDS)})$ | 1739.32** |
| F+S100 | $DIA=1.28/(1+8939(10^{15})*EXP^{(-1.5062*DDS)})$ | 4259.55** |
| P+S100 | $DIA=2.6071/(1+80714485*EXP^{(-0.8615*DDS)})$ | 5132.96** |
| T+S50+E | $DIA=2.6124/(1+1770.1*EXP^{(-0.3223*DDS)})$ | 2913.73** |
| V+S50+E | $DIA=1.6314/(1+8263(10^{14})*EXP^{(-1.4107*DDS)})$ | 2557.01** |
| F+S50+E | $DIA=1.1594/(1+1928(10^{16})*EXP^{(-1.5367*DDS)})$ | 2336.78** |
| P+S50+E | $DIA=2.5427/(1+10031704*EXP^{(-0.7625*DDS)})$ | 3172.81** |
| T+S100+E | $DIA=2.9084/(1+267.7*EXP^{(-0.2263*DDS)})$ | 1327.23** |
| V+S100+E | $DIA=1.5057/(1+4551(10^{16})*EXP^{(-1.4793*DDS)})$ | 1250.42** |
| F+S100+E | $DIA=1.2106/(1+1466(10^{16})*EXP^{(-1.5259*DDS)})$ | 3762.33** |
| P+S100+E | $DIA=2.275/(1+99773007*EXP^{(-0.8811*DDS)})$ | 3466.84** |

F Cal= F calculada; T= tezontle; V= vermicompost; F= fibra de coco; P= peat moss, S50: solución nutritiva Steiner al 50%; S100= solución nutritiva Steiner al 100%; E= enraizador; ALT= altura de planta; EXP= logaritmo natural (2.7183); DDS= días después de la siembra; **= probabilidad (<0.01).

En promedio, se obtuvieron plántulas con un grosor de tallo de 2.7 mm en los sustratos peat moss y tezontle, mientras que utilizando el vermicompost y la fibra de coco se obtuvo un grosor de tallo promedio de 1.5 y 1.2 mm, respectivamente (Figura 3). Como se puede notar, con estos dos últimos sustratos se obtiene una menor calidad del tallo y con ello, una menor posibilidad de éxito después del trasplante.

El grosor de tallo es un indicador del estado vigoroso de una plántula ya que refleja directamente la acumulación de fotosintatos, los cuales pueden trasladarse a los sitios de demanda (Parra-Terraza *et al.*, 2010). Fernández-Bravo *et al.* (2006), evaluaron la emergencia de semillas de tomate en diferentes sustratos (peat moss, composta, aserrín de coco) y obtuvieron valores para la variable grosor del tallo de 0.9 a 1.3 mm.

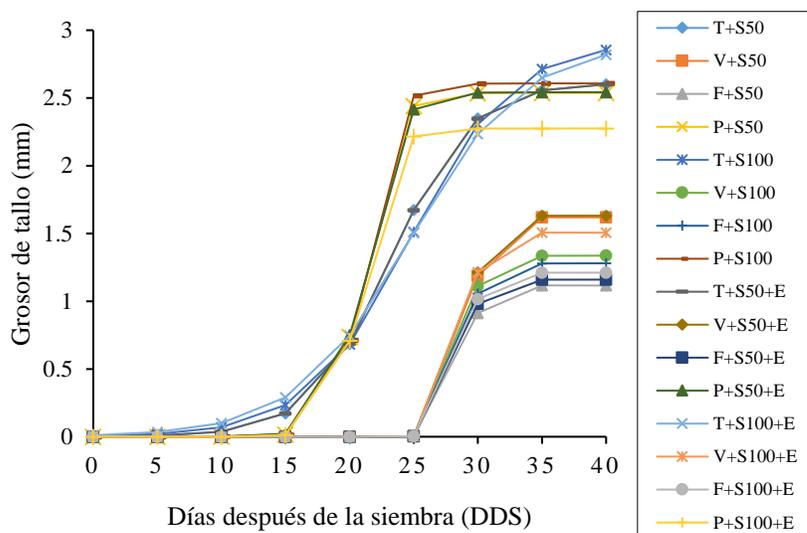


Figura 3. Variación del grosor de tallo en plántulas de jitomate producidas en diferentes tratamientos de solución nutritiva, sustratos y enraizador. T= tezontle; V= vermicompost; F= fibra de coco; P= peat moss; S50= solución nutritiva al 50%; S100= solución nutritiva al 100%; E= enraizador.

Número de hojas

Esta variable también se ajustó a un modelo logístico de crecimiento propuesto por Hunt (2017) (Cuadro 6) y, de acuerdo a los resultados, se presentaron diferencias significativas entre los diferentes sustratos evaluados; como se puede observar, las plántulas que presentaron más hojas fueron las que se sembraron en peat moss y tezontle, destacando los tratamientos 5 (T+S100) y 8 (P+S100) en los cuales se contabilizaron en promedio cinco hojas por plántula, por su parte, los sustratos a base de vermicompost y fibra de coco mostraron los valores más bajos, tres y dos hojas respectivamente, esto también debido a que en dichos sustratos las plántulas tardaron más tiempo en emerger (Figura 4).

Cuadro 6. Modelos relacionados con el número de hojas de plántulas de jitomate en los tratamientos evaluados.

| Tratamiento | Modelos | F Cal |
|-------------|---|-----------|
| T+S50 | $NH=6.4617/(1+28.2191*EXP^{(-0.1259*DDS)})$ | 1410.01** |
| V+S50 | $NH=3.5012/(1+3684(10^{13})*EXP^{(-1.2811*DDS)})$ | 1112.22** |
| F+S50 | $NH=1.6693/(1+2254(10^5)*EXP^{(-0.6344*DDS)})$ | 89.17** |
| P+S50 | $NH=5.0438/(1+17.7134*EXP^{(-0.1493*DDS)})$ | 3259.93** |
| T+S100 | $NH=6.7075/(1+31.8663*EXP^{(-0.1318*DDS)})$ | 1478.71** |
| V+S100 | $NH=2.4378/(1+2682(10^{14})*EXP^{(-1.3647*DDS)})$ | 122.87** |
| F+S100 | $NH=2.0005/(1+8106(10^{13})*EXP^{(-1.1314*DDS)})$ | 456.87** |
| P+S100 | $NH=6.0158/(1+19.7625*EXP^{(-0.1392*DDS)})$ | 2368.42** |

| Tratamiento | Modelos | F Cal |
|-------------|--|-----------|
| T+S50+E | $NH=5.7621/(1+22.6797*EXP^{-0.1334*DDS})$ | 1298.73** |
| V+S50+E | $NH=3.876/(1+6709(10^{13})*EXP^{-1.3068*DDS})$ | 1542.33** |
| F+S50+E | $NH=1.8667/(1+2001(10^5)*EXP^{-0.6285*DDS})$ | 125.82** |
| P+S50+E | $NH=5.7608/(1+17.1909*EXP^{-0.1298*DDS})$ | 2539.22** |
| T+S100+E | $NH=6.4439/(1+23.7018*EXP^{-0.1235*DDS})$ | 1700.66** |
| V+S100+E | $NH=4.2718/(1+255.2*EXP^{-0.1851*DDS})$ | 549.1** |
| F+S100+E | $NH=1.8555/(1+6615.4*EXP^{-0.2985*DDS})$ | 93.18** |
| P+S100+E | $NH=5.7688/(1+16.3545*EXP^{-0.1251*DDS})$ | 2577.56** |

F Cal= F calculada; T= tezontle; V= vermicompost; F= fibra de coco; P= peat moss, S50: solución nutritiva Steiner al 50%; S100= solución nutritiva Steiner al 100%; E= enraizador; NH= número de hojas, EXP= logaritmo natural; (2.7183); DDS= días después de la siembra; **= probabilidad (<0.01).

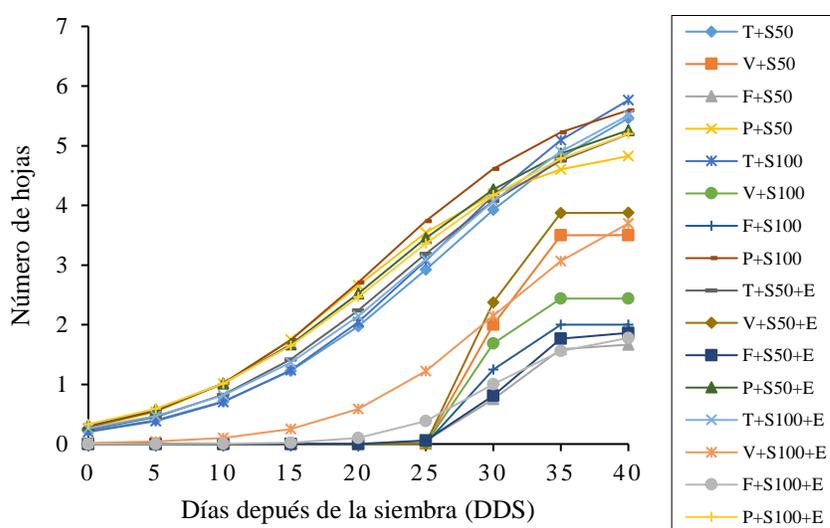


Figura 4. Número de hojas en plántulas de jitomate producidas en diferentes tratamientos de solución nutritiva, sustratos y enraizador. T= tezontle; V= vermicompost; F= fibra de coco; P= peat moss; S50= solución nutritiva al 50%; S100= solución nutritiva al 100%; E= enraizador.

Parra-Terraza *et al.* (2010) mencionan que el número de hojas es un indicador valioso en cuanto a calidad de las plántulas, y que para el caso del tomate las plántulas deberán presentar de 6 a 7 hojas al momento del trasplante. En cuanto a la solución nutritiva aplicada no se presentaron diferencias significativas (Cuadro 3); sin embargo, el número de hojas se vio favorecido al aplicar la solución nutritiva al 100% (Figura 4). El nitrógeno forma parte estructural de la molécula de clorofila y es el componente principal de proteínas esenciales para la formación de protoplasma, una mayor altura de planta conlleva a un incremento en el número de hojas incidiendo en un aumento de la fotosíntesis (Espinosa-Palomeque *et al.*, 2019).

Longitud y ancho de raíz

La respuesta en crecimiento de la longitud de raíz principal no tuvo un efecto significativo por los tratamientos evaluados (Cuadro 7); no obstante, la mayor longitud de raíz se obtuvo en las plantas en los tratamientos que se aplicó enraizador y la concentración de la solución nutritiva al 100%. Arévalo-Madrigal *et al.* (2019) evaluaron el uso de enraizadores en plántulas de tomate e indican que estos favorecen el número de raíces, área de exploración de la raíz y longitud de raíces.

El ancho de raíz mostró lo contrario, pues los mayores valores se obtuvieron en los tratamientos en donde no se usó enraizador y con la solución nutritiva concentrada al 50% (Cuadro 7). Nava-Pérez *et al.* (2019) mencionan que la mayor longitud de raíz en plántulas de jitomate se observó cuando el riego incluyó mayores concentraciones de fósforo; sin embargo, se presentaron raíces con menor tamaño con una solución concentrada de nitrógeno, una tendencia similar pudo haber ocurrido al evaluar esta variable (Cuadro 7). Aunque no hubo diferencias significativas por el uso de sustratos, el tezontle y peat moss mostraron los mejores resultados y como lo mencionan Fraile-Robayo *et al.* (2012), esto se puede atribuir a que el tiempo de la etapa de germinación es muy corto y los tratamientos no alcanzan a mostrar un efecto significativo sobre dichas variables.

Cuadro 7. Comparación de medias de longitud y ancho de raíz, peso fresco y seco de biomasa y raíz, en plántulas de jitomate producidas en diferentes sustratos, dos concentraciones de solución nutritiva y enraizador.

| Factor | LOR | ANR | PFB | PFR | PSB | PSR |
|-----------------------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|
| | (cm) | (cm) | (g) | (g) | (g) | (g) |
| Solución y enraizador | | | | | | |
| S50 | 7.62 b | 1.278 a | 1.687 a | 0.404 a | 0.27 a | 0.068 a |
| S100 | 8.37 ab | 1.019 c | 1.696 a | 0.357 ab | 0.261 a | 0.052 b |
| S50+E | 9.2 ab | 1.172 b | 1.679 a | 0.404 a | 0.235 a | 0.058 ab |
| S100+E | 9.71 a | 1.088 b | 1.499 a | 0.297 b | 0.223 a | 0.047 b |
| HSD | 1.638 | 0.093 | 0.205 | 0.071 | 0.066 | 0.012 |
| CV | 28.647 | 12.432 | 19.09 | 29.66 | 40.72 | 31.68 |
| Sustrato | | | | | | |
| Tezontle | 8.997 a | 1.566 a | 2.277 b | 0.499 b | 0.365 b | 0.094 a |
| Vermicompost | 7.944 a | 0.947 b | 1.151 c | 0.187 c | 0.1 c | 0.027 b |
| Fibra de coco | 8.9 a | 0.566 c | 0.427 d | 0.106 d | 0.034 c | 0.014 c |
| Peat moss | 9.053 a | 1.478 a | 2.706 a | 0.671 a | 0.489 a | 0.09 a |
| HSD | 1.638 | 0.093 | 0.205 | 0.071 | 0.066 | 0.012 |
| CV | 28.65 | 12.43 | 19.09 | 29.66 | 40.72 | 31.68 |

Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$); HSD= diferencia significativa honesta; CV= coeficiente de variación; LOR= longitud de raíz; ANR= ancho de raíz; PFB= peso fresco de biomasa; PFR= peso fresco de raíz; PSB= peso seco de biomasa; PSR= peso seco de raíz; S50= solución nutritiva Steiner al 50%; S100= solución nutritiva Steiner al 100%, E= enraizador.

Peso seco de biomasa y raíz

Para la variable de peso seco de biomasa y peso seco de raíz, no se presentaron diferencias significativas por la concentración de la solución nutritiva (Cuadro 7). En cambio, al evaluar sustratos si se presentaron diferencias significativas. Los sustratos que propiciaron mayores valores fueron el peat moss y el tezontle, con valores de 0.49 g y 0.37 g respectivamente. Con relación al peso seco de raíz, con los mismos sustratos, se obtuvo un peso de 0.09 g. Las plántulas que se produjeron en presentaron los valores más bajos para esta variable de 0.03 y 0.01 g. Los sustratos vermicompost y fibra de coco muestran algún tipo de deficiencia física o química que afecta el desarrollo de las plántulas (Cruz-Crespo *et al.*, 2013).

Conclusiones

De los sustratos, estudiados en este trabajo, fueron el peat moss (P) y arena de tezontle (T) los que presentaron los mejores resultados en todas las variables evaluadas y características de calidad de la plántula, y con ello, la arena de tezontle representa una alternativa viable para la producción de plántula de jitomate en charolas e invernadero, al considerar la disponibilidad local. La evaluación de los dos niveles de solución nutritiva Steiner no mostraron diferencias significativas en cuanto a la calidad de plántulas en charolas, a pesar de ello, los valores más altos de las variables se obtuvieron con la concentración al 100%, esto abre la posibilidad de utilizar ambas concentraciones. La aplicación de enraizador (E) en la mitad de los tratamientos estudiados no tuvo un efecto significativo sobre las variables de calidad de plántula producida, por lo tanto, es intrascendente aplicar este producto.

Literatura citada

- Arébalo-Madrigal, M.; Domínguez-Ávila, M.; Escalante-González, J. L.; Yáñez-Coutiño, J. B. y Gallegos-Castro, M. C. 2019. Evaluación de tres enraizadores comerciales en la producción de plántulas de tomate indeterminado (*Solanum lycopersicum* (L.) Lam). Agroproductividad. 12(12):81-86. <https://doi.org/10.32854/agrop.v12i9.1491>.
- Berrospe-Ochoa, E. A.; Saucedo-Veloz, C.; Ramírez-Vallejo, P. y 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. <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1170>.
- Cruz, R. W.; Barrios, D. J. M.; Rodríguez, M. M. N.; Espinoza, V. D. y Tirado, T. J. L. 2016. Producción de plántulas de hortalizas con *Azospirillum* sp. y aspersión foliar de miel de abeja. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 7(1):59-70. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/editorial/index.php/agricolas/article/view/370>.
- Crespo, G. M. R.; González, E. D. R.; Rodríguez, M. R.; Ruiz, C. J. A. y Durán, P. N. 2018. Caracterización química y física del bagazo de agave tequilero compostado con biosólidos de vinaza como componente de sustratos para cultivos en contenedor. Rev. Inter. Contaminación Amb. 34(3):373-382. Doi: 10.20937/rica.2018.34.03.01.
- Cruz-Crespo, E.; Can-Chulim., A.; Sandoval-Villa., M.; Bugarín-Montoya, R.; Robles-Bermúdez, A. y Juárez-López, P. 2013. Sustratos en la horticultura. Rev. Bio Cienc. 2(2):17-26. <https://doi.org/10.15741/revbio.02.02.03>.

- Enríquez-Acosta, E. A. y Reyes-Pérez, J. J. 2018. Evaluación de quitomax® en la emergencia, crecimiento y nutrientes de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Rev. Cienc. Tecnol. 11(2):31-37. Doi: 10.18779/cyt.v11i2.227.
- Espinosa-Palomeque, B.; Cano-Ríos, P.; Salas-Pérez, L.; García-Hernández, J. L.; Preciado-Rangel, P.; Sáenz-Mata, J. y Reyes-Carrillo, J. L. 2019. Bioinoculantes y concentración de la solución nutritiva sobre la producción y calidad de tomate. Biotecnia. 21(3):100-107. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i3.1038>.
- Fernández-Bravo, C.; Urdaneta, N.; Silva, W.; Poliszuk, H. y Marín, M. 2006. Germinación de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv `Río Grande sembradas en bandejas plásticas, utilizando distintos sustratos. Rev. Fac. Agron. 23(2):188-196. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/26610>.
- Florido, M.; Bao, L.; Lara, R. M.; Castro, Y.; Acosta, R. and Álvarez, M. 2018. Effect of water stress simulated with peg 6000 on tomato seed germination (*Solanum lycopersicum*). Cultivos Tropicales. 39(1):87-92. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193260614011>.
- Fraile-Robayo, A. L.; Álvarez-Herrera, J. G. y Deaquiz-Oyola, Y. A. 2012. Efecto de las giberelinas en la propagación de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo diferentes sustratos enriquecidos con fertilizante. Rev. Colomb. Cienc. Hortíc. 6(1):41-54. <https://doi.org/10.17584/rcch.2012v6i1.1280>.
- Gaytán-Ruelas, M.; Vargas-Espinoza, E.; Rivera-Arredondo, M. y Morales-Félix, V. de J. 2016. Efecto del raleo de frutos en el rendimiento de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero. Rev. Análisis Cuantitativo y Estadístico. 3(7):18-25.
- Hunt, R.; Thomas, B.; Murray, B. G. and Murphy, D. J. 2017. Growth analysis, individual plants. In: encyclopedia of applied plant sciences, second edition, plant physiology and development. Academic Press, Elsevier Ltd. Amsterdam, Netherlands. Vol. 1. 2nd. (Ed.). 421-429 p. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-394807-6.00226-4>.
- López-Baltazar, J.; Méndez-Matías, A.; Pliego-Marín, L.; Aragón-Robles, E. y Robles-Martínez, M.L. 2013. Evaluación agronómica de sustratos en plántulas de chile 'onza' (*Capsicum annuum*) en invernadero. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 4(6):1139-1150. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i6.1278>.
- Martínez-Rodríguez, O. G.; Can-Chulim, Á.; Cruz-Crespo, E. y García-Paredes, J. D. 2017. Influencia del riego y sustrato en el rendimiento y calidad de tomate. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 8(1):53-65. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.71>.
- Monge, P. J. E. y Loría, C. M. 2019. Producción de tomate (*Solanum lycopersicum*) en invernadero: comparación agronómica entre tipos de tomate. Posgrado y Sociedad. 17(1):1-20. <https://doi.org/10.22458/rpys.v17i1.2488>.
- Nava-Pérez, E.; Valenzuela-Quiñónez, W. y Rodríguez-Quiroz, G. 2019. El vermicompost como sustrato sustituto en la germinación de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Agrociencia. 53(6):869-880. <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1850/1847>.
- Navarro, G. I. y Periago, M. J. 2016. El tomate, ¿Alimento saludable y/o funcional? Rev. Española de Nutrición Humana y Dietética. 20(4):323-335. <http://dx.doi.org/10.14306/renhyd.20.4.208>.
- Ortega, M. L. D.; Martínez, V. C.; Ocampo, M. J.; Sandoval, C. E. y Pérez, A. B. 2016. Eficiencia de sustratos en el sistema hidropónico y de suelo para la producción de tomate en invernadero. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 7(3):643-653. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i3.324>.

- Ortega-Martínez, L. D.; Sánchez-Olarte, J.; Díaz-Ruiz, R. y Ocampo-Mendoza, J. 2010. Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Ra Ximhai*. 6(3):365-372. <http://revistas.unam.mx/index.php/rxm/article/view/24591/23070>.
- Parra-Terraza, S.; Salas-Núñez, E.; Villarreal-Romero, M.; Hernández-Verdugo, S. y Sánchez-Peña, P. 2010. Relaciones nitrato/amonio/urea y concentraciones de potasio en la producción de plántulas de tomate. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 16(1):37-47. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2010.16.005>.
- Pérez, F. A. R.; Ruiz, M. M.; Lobato, C. M. O.; Pérez, V. E. y Rodríguez, S. P. 2017. Sustrato biofísico para agricultura protegida y urbana a partir de compost y agregados provenientes de los residuos sólidos urbanos. *Rev. Inter. Contaminación Amb.* 34(3):383-394. <http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2018.34.03.02>.
- Rodríguez, D. E.; Salcedo, P. E.; Rodríguez, M. R.; González, E. D. R. y Mena M., S. 2013. Reúso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate. *Terra Latinoam.* 31(4):275-284. <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/109>.
- Sarduy, D. M. y Castellanos, G. L. 2011. Combinación de sustrato y solución nutritiva para posturas de pimiento en cepellones. *Centro Agrícola.* 38(1):49-56. <http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V38-Numero.1/cag101111776.pdf>.
- SAS Institute. 2002. *Statistical Analysis System. User's Guide v. 9.0.* Cary NC., USA.
- SIAP. 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Atlas Agroalimentario. <http://www.siap.gob.mx/>.
- Villegas-Torres, O. G.; Sánchez-García, P.; Baca-Castillo, G. A.; Rodríguez-Mendoza, M. N.; Trejo, C.; Sandoval-Villa, M. y Cárdenas-Soriano, E. 2005. Crecimiento y estado nutrimental de plántulas de tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio y potencial osmótico. *Terra Latinoam.* 23(1):49-56. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57323107>.