

Respuesta morfométrica de *solanum lycopersicum* con suelo desconectado en terrazas urbanas

Morphometric response of *solanum lycopersicum* with disconnected soil in urban terraces

Coro-Mendoza, Mercy Jovanna¹; Salazar-Saltos, Alex^{1*}

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná, Ecuador

Recibido: 25/03/2025 | Aceptado: 26/05/2025 | Publicado: 27/06/2025

Correspondencia*: alex.salazar5584@utc.edu.ec

RESUMEN

La contaminación del suelo por metales pesados es un problema creciente debido a la actividad humana, especialmente en cultivos hortícolas como el tomate, ampliamente demandado por la industria y el consumo en fresco. El suelo desconectado, que ha perdido la cohesión natural entre sus componentes, puede causar infertilidad, desertificación y pérdida de biodiversidad. En este contexto, la investigación tuvo como objetivo evaluar la respuesta morfométrica de *Solanum lycopersicum* en suelo desconectado. El estudio se llevó a cabo en el Centro Experimental “La Playita” en La Maná, Ecuador, utilizando un diseño experimental con cuatro tratamientos y cinco repeticiones. Se evaluaron variables como la altura de planta, diámetro del tallo, largo de hojas, número de flores y altura de clúster. Los resultados mostraron que el tratamiento con mayor proporción de sustratos orgánicos (T4) favoreció el crecimiento y desarrollo de las plantas, especialmente en altura, diámetro del tallo y número de flores. Estos hallazgos son relevantes para la optimización de estrategias agronómicas y la mejora del rendimiento de cultivos hortícolas en sistemas agroecológicos urbanos.

Palabras clave: Agricultura sostenible; crecimiento; desarrollo vegetativo; sustratos orgánicos

ABSTRACT

Soil contamination by heavy metals is a growing problem due to human activity, especially in horticultural crops such as tomatoes, which are widely demanded by industry and fresh consumption. Disconnected soil, which has lost the natural cohesion between its components, can cause infertility, desertification and loss of biodiversity. In this context, the research aimed to evaluate the morphometric response of *Solanum lycopersicum* in disconnected soil. The study was carried out at the Experimental Center “La Playita” in La Maná, Ecuador, using an experimental design with four treatments and five replications. Variables such as plant height, stem diameter, leaf length, number of flowers and cluster height were evaluated. The results showed that the treatment with the highest proportion of organic substrates (T4) favored plant growth and development, especially in height, stem diameter and number of flowers. These findings are relevant for the optimization of agronomic strategies and yield improvement of horticultural crops in urban agroecological systems.

Keywords: Sustainable agriculture; growth; vegetative development; organic substrates

Cómo citar este artículo: Coro-Mendoza, M. J. & Salazar-Saltos, A. (2025). Respuesta morfométrica de *solanum lycopersicum* con suelo desconectado en terrazas urbanas. *Revista Científica Dékamu Agropec*, 6(1), 18-28. <https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v6i1.341>

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación que se encuentra en algunos suelos por metales pesados es un problema creciente debido a la actividad humana (Abraham Covarrubias & Peña Cabriales, 2017), por lo que, en Ecuador, las investigaciones sobre extractos vegetales se enfocan especialmente en cultivos hortícolas como el tomate (*Solanum lycopersicum*). El desarrollo y la productividad de los cultivos está directamente relacionada con el aporte de nutricional que reciben (Díaz-Vázquez et al., 2023).

El suelo desconectado se refiere a un tipo de suelo que ha perdido la cohesión o interacción natural entre sus componentes; al volverse desconectado, este sistema pierde funcionalidad, lo que puede llevar a problemas de infertilidad, desertificación y reducción de la biodiversidad (Wall & Lynch, 2000). El suelo desconectado puede implicar un desequilibrio en las relaciones físicas y químicas entre las partículas del suelo, lo que provoca su degradación (ONU, 2020).

El suelo es un recurso esencial para la reproducción de la vida en el planeta, pues proporciona nutrientes, agua y minerales para el desarrollo de plantas y árboles, almacena carbono y es hogar de miles de animales; más aún, es el asiento natural para la producción de alimentos y materias primas de los cuales depende la sociedad y el espacio donde se desarrollan actividades socioeconómicas (Torres Torres & Rojas Martínez, 2018). El sustrato es cualquier medio que sirva de soporte para las raíces de la planta (Quinteros Castellanos et al., 2011). Uno de los sustratos más comunes en la producción hortícola es la cascarilla de arroz carbonizada (CRH) mezclada con un compost orgánico para aumentar la retención de agua y nutrientes (Valdés Zayas et al., 2023).

Esta investigación buscó analizar cómo respondió morfológicamente el cultivo de *Solanum lycopersicum* cuando se desarrolló en suelos degradados o alterados, los cuales presentaban pérdida de funcionalidad. Se evaluaron indicadores de crecimiento como la altura del tallo, el número de hojas y el sistema radicular, con el propósito de entender los efectos de estas condiciones. A partir de los resultados, se propusieron prácticas de manejo, como la incorporación de enmiendas orgánicas, que favorecieron el desarrollo del cultivo y promovieron una producción agrícola sostenible en suelos deteriorados.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Zona de estudio

El estudio se realizó en el Centro Experimental “La Playita”, perteneciente a la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná, ubicado en el cantón La Maná, provincia de Cotopaxi, Ecuador. La zona de investigación se encuentra en las coordenadas geográficas WGS 84: latitud S 0° 56' 27", longitud W 79° 13' 25", a una altitud de 125 m.s.n.m.

Las condiciones climáticas predominantes en la zona incluyen una temperatura promedio de 22 a 26 °C, humedad relativa del 75 % y una heliofanía de 7 horas-luz/año. La topografía es plana y la altitud es de 125 m.s.n.m.

2.2. Manejo de ensayo

El ensayo se estableció en un edificio de cemento armado con techo de hormigón y laterales abiertos, simulando condiciones de una vivienda urbana. El cultivo de *Solanum lycopersicon* se realizó en bolsas tipo maceta con sustratos desconectados del suelo natural, permitiendo un entorno controlado.

Se utilizó la variedad comercial Pietro, caracterizada por su alta producción, vigor, ciclo largo y resistencia a enfermedades como *Phytophthora infestans*, *Fusarium oxysporum*, *Xanthomonas*

campestris, *Pseudomonas syringae* y Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV) (Jaramillo Noreña et al., 2012).

2.3. Diseño experimental

Se empleó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, obteniendo un total de 20 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo conformada por seis plantas de tomate.

2.4. Tratamientos evaluados

T1: 100 % Suelo agrícola (control).

T2: 50 % Suelo agrícola, 30 % sustrato de cacao, 20 % cascarilla de arroz.

T3: 70 % Suelo agrícola, 20 % sustrato de cacao, 10 % cascarilla de arroz.

T4: 20 % Suelo agrícola, 50 % sustrato de cacao, 30 % cascarilla de arroz.

2.5. Variables evaluadas

Se registraron semanalmente las siguientes variables agronómicas:

Altura de planta (cm): Medida desde la base hasta el ápice con un flexómetro.

Diámetro del tallo (mm): Determinado con un vernier a 2 cm del suelo.

Altura del clúster (cm): Distancia del suelo a la base del primer racimo floral.

Número de hojas y flores por planta: Contado a los 15 días del trasplante.

2.6. Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a un Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar diferencias significativas entre tratamientos. En caso de significancia ($p < 0.05$), se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey (95 % de confianza). El procesamiento estadístico se realizó con el software INFOSTAT.

2.7. Análisis desarrollado

Las actividades incluyeron la identificación de la variedad, preparación de sustratos, parcelamiento, limpieza y desinfección del área, labores culturales tutorado, limpieza, y programación de riego.

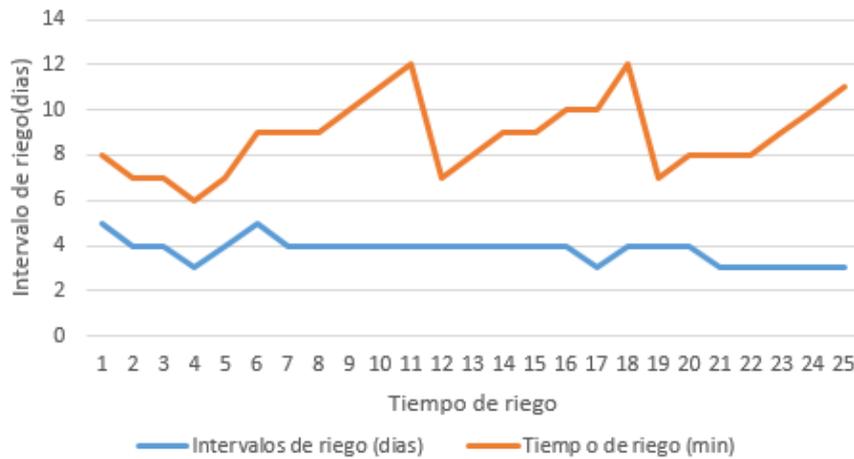


Figura 1. Programación de riego

La figura 1 muestra la evolución de dos variables clave: el intervalo entre riegos (días) y el tiempo de riego (minutos), a lo largo de 25 unidades temporales. Se observa que el intervalo de riego se mantiene relativamente constante, entre 4 y 6 días, lo que indica una frecuencia estable. En contraste, el tiempo de riego presenta variaciones más marcadas, fluctuando entre 7 y 13 minutos, lo que sugiere que la duración del riego se ajusta de acuerdo con factores como la demanda hídrica del cultivo o las condiciones ambientales.

El cultivo de tomate hortícola (*Solanum lycopersicum*) se estableció bajo un manejo homogéneo en cuanto a riego, fertilización y control fitosanitario para todos los tratamientos. La fertilización se realizó de manera manual, aplicando una dosis estimada de 150-200 kg/ha de nitrógeno (N), 50-80 kg/ha de fósforo (P₂O₅) y 200-250 kg/ha de potasio (K₂O), distribuidos a lo largo del ciclo del cultivo. El riego también se efectuó manualmente, suministrando un volumen uniforme de 0-1.9 litros de agua por planta al día, ajustado según las necesidades hídricas del cultivo.

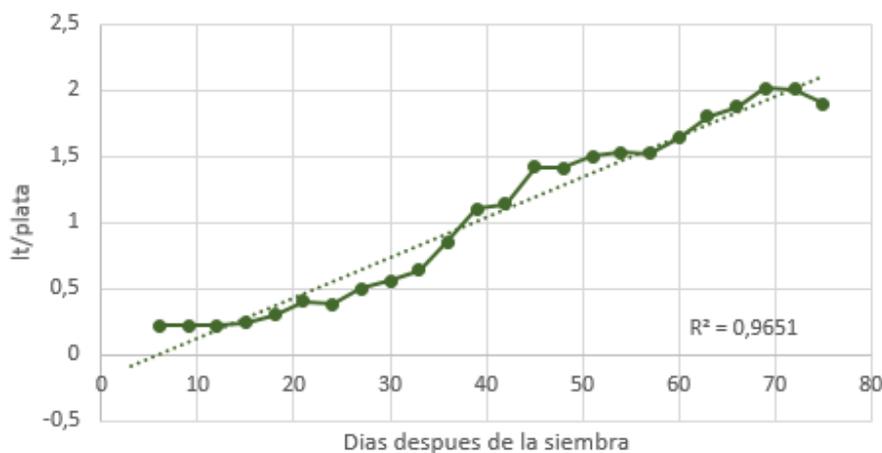


Figura 2. Dotación de agua

El manejo fitosanitario se llevó a cabo bajo un enfoque agroecológico, empleando biocontroladores como *Trichoderma spp.* para el control de enfermedades fúngicas, *Beauveria bassiana* para el manejo de plagas como mosca blanca (*Bemisia tabaci*), y extractos naturales a base de apio (*Apium graveolens*), chilangua (*Eryngium foetidum*) y ajo (*Allium sativum*), los cuales poseen propiedades insecticidas y antifúngicas.

Este enfoque permitió comprender el comportamiento fisiológico y estructural de la planta bajo condiciones semi-controladas de manejo, lo que servirá como base para futuras investigaciones enfocadas en rendimiento y calidad del fruto. Los resultados obtenidos contribuirán a optimizar estrategias agronómicas y a mejorar la eficiencia del cultivo en sistemas agroecológicos a nivel urbano.

3. RESULTADOS

En la tabla 1 se presenta el análisis comparativo de la altura de las plantas de tomate a los 16, 30 y 51 días después del trasplante. A los 16 ddt, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$), agrupándose todos en la misma categoría según la prueba de Tukey, como se indica por la letra 'a'. Sin embargo, a los 30 ddt, el tratamiento T4 alcanzó la mayor altura promedio (62,30 cm), diferenciándose estadísticamente del tratamiento T1 (38,22 cm), el cual presentó el menor crecimiento en esta etapa, reflejado por la letra 'b', mientras que los tratamientos T2 (52,44 cm) y T3 (53,49 cm) se ubicaron en una categoría intermedia ('ab'). a los 51 ddt, aunque se observaron diferencias numéricas entre los tratamientos, todos los valores promedios de altura se agruparon nuevamente bajo la misma categoría estadística (letra 'a'), indicando ausencia de diferencias significativas en esta etapa de evaluación. El tratamiento T4 evidenció consistentemente las mayores alturas en las tres fechas de evaluación (33,62 cm, 62,30 cm y 95,36 cm), lo cual sugiere un comportamiento favorable y constante en el crecimiento del cultivo bajo dicho tratamiento. Por otro lado, el tratamiento T1 mostró el crecimiento más limitado, especialmente a los 30 ddt. Los coeficientes de variación (CV%) fueron de 21,37%, 24,42% y 14,48% para los 16, 30 y 51 ddt respectivamente, lo que indica una variabilidad moderada a alta entre las replicaciones experimentales, siendo menor en la última evaluación. Estos resultados permiten concluir que, si bien las diferencias significativas no fueron consistentes en todos los periodos evaluados, el tratamiento T4 mostró una tendencia general positiva en el desarrollo en altura del cultivo, lo que podría atribuirse a las condiciones específicas del sustrato o manejo asociado a este tratamiento.

Tabla 1. Altura de planta durante los 16, 30 y 51 días después de la siembra

| Tratamientos | Altura de planta/dds (cm) | | |
|--------------|---------------------------|----------|---------|
| | 16 | 30 | 51 |
| 1 | 26,75 a | 38,22 b | 88,68 a |
| 2 | 29,89 a | 52,44 ab | 89,60 a |
| 3 | 32,99 a | 53,49 ab | 90,17 a |
| 4 | 33,62 a | 62,30 a | 95,36 a |
| CV % | 21,37 | 24,42 | 14,48 |

Medias con letras iguales no tienen diferencias estadísticas de Tukey $p < 0,05$

Tabla 2. Diámetro del tallo durante los 16, 30 y 51 días después de la siembra

| Tratamiento | Diámetro de tallo/dds (cm) | | |
|-------------|----------------------------|--------|--------|
| | 16 | 30 | 51 |
| 1 | 3,43 a | 4,54 a | 4,58 b |
| 2 | 4,09 a | 4,89 a | 6,18 a |
| 3 | 4,17 a | 5,17 a | 6,28 a |
| 4 | 4,36 a | 5,28 a | 6,55 a |
| CV % | 20,95 | 16,6 | 13,23 |

Medias con letras iguales no tienen diferencias estadísticas de Tukey $p < 0,05$

En la tabla 2 se presenta el análisis del diámetro del tallo a los 16, 30 y 51 días después de la siembra. A los 16 dds, los tratamientos no mostraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$), ya que los valores promedio de diámetro para los tratamientos T1 (3,43 cm), T2 (4,09 cm), T3 (4,17 cm) y T4 (4,36 cm) se agruparon en una categoría homogénea indicada por la letra 'a'. A los 30 dds, el diámetro del tallo también permaneció estadísticamente similar entre los tratamientos, con valores de 4,54 cm para T1, 4,89 cm para T2, 5,17 cm para T3 y 5,28 cm para T4, todos clasificados dentro de la misma categoría ('a'). Sin embargo, a los 51 dds, el tratamiento T1 presentó un diámetro promedio significativamente menor (4,58 cm) en comparación con los tratamientos T2 (6,18 cm), T3 (6,28 cm) y T4 (6,55 cm), los cuales no mostraron diferencias estadísticas entre sí y se agruparon en la categoría 'a'. El tratamiento T1 se distinguió con la letra 'b', indicando un efecto desfavorable sobre el desarrollo del diámetro del tallo en esta etapa.

El coeficiente de variación (CV%) mostró una disminución progresiva a lo largo del tiempo, con valores de 20,95%, 16,6% y 13,23% a los 16, 30 y 51 dds respectivamente, lo que indica una reducción en la variabilidad entre las repeticiones conforme avanzó el desarrollo del cultivo.

Estos resultados evidencian que, aunque en las primeras etapas el diámetro del tallo fue similar entre tratamientos, a los 51 días el tratamiento T1 tuvo un desempeño significativamente menor, mientras que los tratamientos T2, T3 y T4 favorecieron un mayor crecimiento en el diámetro del tallo, sugiriendo condiciones más favorables para el desarrollo estructural de las plantas bajo estos tratamientos.

Tabla 3. Largo de hojas 51 días después de la siembra

| Tratamiento | Hoja compuesta (cm) |
|-------------|---------------------|
| 1 | 9,09 a |
| 2 | 9,27 a |
| 3 | 9,52 a |
| 4 | 9,95 a |
| CV % | 6,77 |

Medias con letras iguales no tienen diferencias estadísticas de Tukey $p < 0,05$

En la tabla 3 se presenta el análisis del largo de las hojas a los 51 días después de la siembra. Los resultados obtenidos no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, ya que los valores promedio de largo de hoja para los tratamientos T1 (9,09 cm), T2 (9,27 cm), T3 (9,52 cm) y T4 (9,95 cm) se agruparon en una categoría homogénea según la prueba de Tukey, indicados por la letra 'a'. Esto sugiere que, aunque se observaron ligeras variaciones en los valores numéricos entre los tratamientos, ninguno de ellos presentó un efecto significativamente superior sobre el desarrollo del largo de las hojas.

El coeficiente de variación (CV %) fue de 6,77%, lo que denota una variabilidad moderada entre las repeticiones experimentales. Estos hallazgos indican que, a pesar de las diferencias numéricas entre los tratamientos, el impacto de estos sobre el largo de las hojas fue comparable, lo que resalta la homogeneidad de la respuesta de las plantas a las condiciones experimentales. Estos datos son esenciales para la selección de variedades con mejores características agronómicas (Pertíñez Hernández, 2023).

Tabla 4. Número de flores a los 51 días después de la siembra

| Tratamiento | Número de flores |
|-------------|------------------|
| 1 | 2,64 b |
| 2 | 3,64 ab |
| 3 | 4,04 ab |
| 4 | 4,19 a |
| CV % | 23,15 |

Medias con letras iguales no tienen diferencias estadísticas de Tukey $p < 0,05$

En la tabla 4 se presenta el análisis del número de flores a los 51 días después de la siembra. Los resultados muestran que el tratamiento T4 presentó el mayor número promedio de flores (4,19), seguido por los tratamientos T3 (4,04) y T2 (3,64), mientras que el tratamiento T1 registró el valor más bajo con 2,64 flores por planta.

Según la prueba de Tukey T4 se ubicó en una categoría estadística diferente a T1, lo que indica una diferencia significativa entre ambos tratamientos. Los tratamientos T2 y T3 se ubicaron en una categoría intermedia (ab), sin diferencias estadísticas significativas respecto a T4 ni a T1, lo que sugiere una respuesta moderada en la producción floral.

El coeficiente de variación (CV%) fue de 23,15%, lo que indica una variabilidad considerable entre las replicaciones experimentales. Estos resultados permiten concluir que, aunque hubo diferencias numéricas entre todos los tratamientos, solo el tratamiento T4 mostró un efecto significativamente superior en la producción de flores, lo que sugiere un mayor potencial reproductivo bajo las condiciones de dicho tratamiento. En contraste, el tratamiento T1 evidenció un rendimiento floral significativamente menor, posiblemente debido a condiciones menos favorables para la inducción o desarrollo floral.

Tabla 5. Altura de clúster a los 58 días después de la siembra

| Tratamiento | Altura de Clúster (cm) |
|-------------|------------------------|
| 1 | 67,23 b |
| 2 | 76,95 ab |
| 3 | 77,98 ab |
| 4 | 80,02 a |
| CV % | 9,42 |

Medias con letras iguales no tienen diferencias estadísticas de Tukey $p < 0,05$

En la tabla 5 se presenta el análisis de la altura de clúster a los 58 días después de la siembra. El tratamiento T4 mostró el mayor valor promedio con 80,02 cm, seguido por los tratamientos T3 (77,98 cm) y T2 (76,95 cm), mientras que el tratamiento T1 presentó el valor más bajo con 67,23 cm.

De acuerdo con la prueba de Tukey el tratamiento T4 se ubicó en una categoría estadística superior a T1, evidenciando una diferencia significativa. Por su parte, los tratamientos T2 y T3 se ubicaron en una categoría intermedia ('ab'), sin diferencias significativas con respecto a T4 ni a T1, lo que indica una respuesta parcialmente diferenciada en la altura del clúster. El coeficiente de variación (CV%) fue de 9,42%, indicando una baja variabilidad entre las replicaciones, lo que otorga consistencia a los resultados obtenidos.

Estos hallazgos sugieren que el tratamiento T4 favoreció significativamente una mayor altura del clúster, en contraste con T1, que presentó el menor valor. Dado que los clústeres representan conjuntos de frutos asociados a la inflorescencia, una mayor altura podría correlacionarse con un mayor potencial de rendimiento del cultivo.

4. DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 1, el mejor tratamiento fue el T4 con 95,36 cm, en comparación con la investigación realizada por (Herrera Ramirez & Riascos Vallejos, 2024), los cuales utilizaron un sustrato elaborado a partir de residuos orgánicos animales y vegetales, obteniendo 60 cm de altura a los 50 dds., por otro lado, Silva Valqui et al. (2021) evaluaron diferentes mezclas de sustratos, incluyendo una combinación de aserrín y arena, obteniendo que el aserrín, utilizado como sustrato principal, puede no ser ideal para el crecimiento y desarrollo óptimo del tomate en sistemas hidropónicos bajo invernadero. Además, se resalta la importancia de utilizar un

sustrato elaborado a partir de residuos o materiales orgánicos, puesto a que favorece al desarrollo de las plántulas, su germinación, crecimiento y producción (Pertínez Hernández, 2023).

El crecimiento del tallo en tomate se observa en la tabla 2, es un indicador clave del desarrollo de la planta, en la investigación se ha considerado cambios en el diámetro de tallo a los 16, 31 y 51 días después de la siembra, los resultados muestran como mejor al T4 con 6,55 cm, mientras que Silva Valqui et al. (2021) llevaron a cabo una investigación en el que el mejor tratamiento fue el T2, con un sustrato hidropónico en el cultivo de tomate, compuesto por 75% de cascarilla de arroz carbonizada y 25% de arena, favoreciendo al diámetro del tallo con 10,95 mm, indicando que la cascarilla de arroz carbonizada mejora las propiedades físicas del sustrato. Asimismo, Martínez-Rodríguez et al. (2017) mencionan en su investigación la relevancia del uso de un sustrato que tenga buenas características fisicoquímicas, que permita el desarrollo de las plantas y también se debe tener un adecuado riego en las plantas.

En la tabla 3 se indica el largo de hojas en el cultivo de tomate, el T4 fue el mejor tratamiento con un valor de 9,95 cm, mientras que Sarduy Díaz et al. (2016) en su investigación usó turba y fibra de coco en tomate como un sustrato, mencionando que hubo mayores interacciones en TFC (Turba y fibra de coco), e indica que el ancho y largo de hojas, en general son variables que pueden complementar la altura de planta, que una mayor área foliar indica un mejor desarrollo productivo. De acuerdo con lo obtenido por el autor anterior, se enaltece el uso de un sustrato como una alternativa viable para el cultivo de tomate, debido a que promueve una mayor obtención en el largo y ancho de hojas, esto ayuda a promover la capacidad de producir fotoasimilados que benefician a la planta y tener un buen desarrollo. Ayala-Contreras et al. (2022) en su estudio destacan valores entre 18 y 27 cm de largo de hoja, considerado valores normales para el cultivo de tomate, sabiendo que el desarrollo de las variables agronómicas de los cultivos tiene dependencia a factores ambientales y de manejo, en este caso el uso de sustrato tiene una importancia vital desde el establecimiento del cultivo en terrazas, para un buen desarrollo en su área foliar.

En la tabla 4, se observa que el mayor número de flores pertenece de igual manera al T4 con 4,19, en cambio, Segura-Castruita et al. (2011) alcanzaron a los 60 dds 22 flores, con sustrato de arena-pomez 30/70%, con riego moderado no permite que la planta tenga estrés hídrico, y que los procesos fisiológicos no se vean afectados, como la floración. Tiene un índice de floración alto en comparación con la presente investigación. De acuerdo con los resultados obtenidos, sugirieron que la combinación de un sustrato adecuado y riego moderado, mejora significativamente la floración, indicando la necesidad de evaluar y optimizar las condiciones del cultivo para maximizar el rendimiento.

En la tabla 5, se muestran los valores del clúster a los 58 días, el mayor valor lo tiene T4 con 80,02, así como en la investigación por Abad Nieto (2019) donde obtuvieron un total de 105 racimos, con el sustrato de fibra de coco, teniendo un valor mayor, mostrando que la fibra de coco puede tener mayor cantidad de nutrimentos que podrían beneficiar al cultivo de tomate en la etapa de floración y formación de racimos. Por otro lado, Quintana Baquero et al. (2012) menciona que la productividad del cultivo de tomate se ve influenciada por el número de racimos, entre 8 y 10 y 12 racimos, el tratamiento con 12 racimos resultó ser el más productivo, es decir, el porcentaje de producción aumentó, y esto muestra que una gran cantidad de racimos no necesariamente es una variable que defina la producción, sino más bien a donde se dirigen los foto-asimilados de forma adecuada, en pocos racimos, habrá mejor formación de frutos y de buena calidad.

Suárez et al. (2017) destacaron la importancia de la eliminación de racimos en el cultivo de tomate como una práctica para mejorar la calidad y el rendimiento del fruto, mediante tratamientos realizados bajo condiciones de invernadero, asimismo, evaluaron el efecto del número de racimos

sobre la producción observando que una mayor cantidad de racimos favoreció el incremento del rendimiento total, mientras que la reducción en el número de racimos se asoció con una mejora en la calidad del fruto.

CONCLUSIONES

El tratamiento T4, que consistió en una mezcla de 20% suelo agrícola, 50% sustrato de cacao y 30% cascarilla de arroz, mostró un resultado superior en comparación con los demás tratamientos en diversas variables agronómicas clave como la altura de la planta, el diámetro del tallo, el número de flores y la altura de clúster. Estos resultados indican que la combinación de estos sustratos propició un ambiente óptimo para el desarrollo de las plantas, favoreciendo el crecimiento en altura y el desarrollo reproductivo. El notable aumento en la altura de las plantas observada en T4 puede atribuirse a la interacción positiva de los componentes del sustrato. El sustrato de cacao y la cascarilla de arroz aportan nutrientes esenciales, mientras que el suelo agrícola proporciona una estructura estable que facilita la absorción de agua y nutrientes, favoreciendo el crecimiento vigoroso. Además, la mayor cantidad de flores y la superioridad en la altura del clúster observada en T4 indican que este tratamiento proporcionó las condiciones necesarias para un desarrollo óptimo de los órganos reproductivos, lo que podría traducirse en un mayor rendimiento del cultivo.

En comparación, el tratamiento T1, que presentó un bajo rendimiento en la mayoría de las variables, destaca la importancia de la correcta elección de sustratos para el crecimiento saludable de las plantas. Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con investigaciones previas que demuestran que una adecuada combinación de sustratos mejora significativamente el rendimiento y desarrollo de las plantas, el T4 favoreció significativamente el desarrollo de las plantas, tanto en términos vegetativos como reproductivos, lo que lo convierte en una opción prometedora para la mejora del rendimiento de cultivos en condiciones similares.

FINANCIAMIENTO

Los autores no recibieron ningún patrocinio para llevar a cabo este estudio.

AGRADECIMIENTO

Se reconoce la valiosa contribución del proyecto formativo “Estimación de residuos de plaguicidas en tomate riñón (*Lycopersicum esculentum* Mill.)”, el cual brindó respaldo académico y logístico durante el desarrollo de esta investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe ningún tipo de conflicto de interés relacionado con la materia del trabajo.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, software, redacción - borrador original, redacción - revisión y edición: Coro-Mendoza, M. J. & Salazar-Saltos, A.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abad Nieto, E. (2019). *Evaluación de dos sustratos en la producción de tomate chonto (Solanum Lycopersicum) variedad Rio Grande bajo sistema de huerta urbana hidropónica en la ciudad de Ibagué* [Universidad Nacional Abierta y a distancia].

http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI

- Abraham Covarrubias, S., & Peña Cabriales, J. J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(esp01), 7–21. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>
- Ayala-Contreras, C. A., González-Fuentes, J. A., Zermeño-González, A., Benavides-Mendoza, A., Peña-Ramos, F. M., & Hernández-Mauriri, J. A. (2022). Respuesta fisiológica y productiva de tomate en un sistema NTF modificado tipo carrete. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(2). <https://doi.org/10.19136/era.a9n2.3361>
- Díaz-Vázquez, F. A., Cabrera-De la Fuente, M., Benavides-Mendoza, A., Robledo-Torres, V., Juárez-Maldonado, A., García-León, Á., & Sandoval-Rangel, A. (2023). Influencia de cuatro concentraciones de solución Steiner sobre los nutrientes en la solución del suelo y productividad en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 41. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1646>
- Herrera Ramirez, M., & Riascos Vallejos, A. R. (2024). Evaluación de sustratos de Asaí (Euterpe precatoria Mart.) para tomate Cherry en la Amazonía Colombiana. *Revista Científica Del Amazonas*, 7(14), 19–30. <https://doi.org/10.34069/RA/2024.14.02>
- Jaramillo Noreña, J. E., Rodríguez, V. P., Gil Vallejos, L. F., García Muñoz, M. C., Hío, J. C., Quevedo Garzón, D., Sanchez León, G. D., Aguilar Aguilar, P. A., Pinzón Perdomo, L. M., Zapata Cuartas, M. Á., Restrepo, J. F., & Guzmán Arroyave, M. (2012). *Tecnología para el cultivo del tomate bajo condiciones protegidas*.
- Martínez-Rodríguez, O. G., Can-Chulim, A., Cruz-Crespo, E., & García-Paredes, J. D. (2017). Influencia del riego y sustrato en el rendimiento y calidad de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 53–65. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.71>
- ONU. (2020). *La biodiversidad de los suelos es ignorada, pero es fundamental para alimentar al planeta*. <https://news.un.org/es/story/2020/12/1485132>
- Pertínez Hernández, C. (2023). *Estudio sobre el comportamiento fisiológico de 6 variedades de tomate (Solanum lycopersicum L.) sometidas a estrés hídrico en invernadero*. <https://intranet.etsiaab.upm.es/GuiaDocenteBolonias/GuiaDocente.php?Titulacion=R&Anio=2021>
- Quintana Baquero, R. A., Balaguera López, H. E., Álvarez Herrera, J. G., Cárdenas Hernández, J. F., & Pinzón, H. H. (2012). Efecto del número de racimos por planta sobre el rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 4(2), 185–198. <https://doi.org/10.17584/rcch.2010v4i2.1240>
- Quinteros Castellanos, M. F., Gonzales Murillo, C. A., & Guzman, M. (2011). *Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte*.
- Sarduy Díaz, M., Díaz Aguila, I., Castellanos Gónzales, L., Soto Ortiz, R., & Pérez Rodríguez, Y. (2016). Sustratos y soluciones nutritivas para la obtención de plántulas de pimiento y su influencia en la producción en cultivos protegido. *Centro Agrícola*, 43(4), 42–48.
- Segura-Castruita, M. Á., Ramírez-Seañez, A. R., García-Legaspi, G., Preciado-Rangel, P., García-Hernández, J. L., Yescas-Coronado, P., Fortis-Hernández, M., Orozco-Vidal, J. A., & Montemayor-Trejo, J. A. (2011). Desarrollo de plantas de tomate en un sustrato de arena-pómez con tres diferentes frecuencias de riego. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(1), 25–31.
- Silva Valqui, G., Sanchez Santillan, T., Chavez Quintana, S. G., Chichipe Oyarce, J., & Oliva Cruz, S. M. (2021). Influencia de sustratos en el crecimiento y desarrollo de tomate (*Lycopersicum*

esculentum Mill) cultivado bajo un sistema hidropónico en invernadero. *Revista de La Universidad Del Zulia*, 12(32), 317–329. <https://doi.org/10.46925//rdluz.32.19>

Suárez, O., Hurtado Salazar, A., & Ceballos Aguirre, N. (2017). Número de racimos y la sostenibilidad económica del tomate bajo condiciones semicontroladas. *Temas Agrarios*, 23(1), 55–61. <https://doi.org/10.21897/rta.v23i1.1144>

Torres Torres, F., & Rojas Martínez, A. (2018). Suelo Agrícola en México: Retrospección y Prospectiva para la Seguridad Alimentaria. In *Data and Space International Journal of Statistics and Geography* (Vol. 9, Issue 3). <https://rde.inegi.org.mx/wp-content/uploads/2018/pdfs/RDE26.pdf>

Valdés Zayas, D., Rodríguez González, L., Ortiz Arboláez, A., Carrera Sotero, O. L., Pomares Ortega, U. C., & Hernández Quesada, M. C. (2023). Efecto combinado de cascarilla de arroz carbonizada con fertilizante de liberación controlada en el desarrollo de posturas de Coffea arábica L. Variedad "Isla 6_14". *Temas Agrarios*, 28(1), 82–94. <https://doi.org/10.21897/rta.v28i1.3347>

Wall, D., & Lynch, J. (2000). Soil Biodiversity and ecosystem functioning. In *Biological Resource Management Connecting Science and Policy* (pp. 283–290). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-04033-1_24