

Aprovechamiento de los tallos de caña india (*Dracaena fragans*) como sustrato para la producción de tomate en hidroponía

Use of chopped stems of *Dracaena fragans* as a substrate for tomato production in hydroponics

Rubén Calderón-Cerdas¹, José María Alvarado-Vargas², Roel Campos-Rodríguez³

Fecha de recepción: 27 de mayo, 2025

Fecha de aprobación: 3 de octubre, 2025

Calderón-Cerdas, R; Alvarado-Vargas, J.M; Campos-Rodríguez, R. Aprovechamiento de los tallos de caña india (*Dracaena fragans*) como sustrato para la producción de tomate en hidroponía. *Tecnología en Marcha*. Vol. 39 Nº 2. Abril-Junio, 2026. Pág. 54-62.

<https://doi.org/10.18845/tm.v39i2.8003>



1 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Agronegocios, Cartago, Costa Rica.

racalderon@itcr.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0002-2791-0106>

2 Facultad de Ingeniería Química y Tecnología. Politechnika Krakowska. Cracovia, Polonia.

josemalvaradov@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-8723-0493>

3 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Agronegocios, Cartago, Costa Rica.

rocampos@itcr.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0003-4460-2313>

Palabras clave

Valorización de residuos; *Dracaena fragans*; sustratos hidropónicos; producción de tomate.

Resumen

Se probó el tallo de caña india troceado como sustrato para la producción de tomate en hidroponía en un ambiente protegido. Para ello, se sembró tomate variedad JR. Los tratamientos consistieron en utilizar distintas proporciones de caña india como sustrato. Se rellenaron macetas al 100, 75, 50, 25 y 0 % de caña india, el resto de la proporción fue completado con fibra de coco. Todos los tratamientos recibieron la misma fertilización y riego, esto a través de un sistema de goteo. Como resultados, se obtuvo que todas las plantas de tomate crecieron de la misma manera, independientemente de la proporción de caña india que tuvieron. El desarrollo foliar no mostró diferencias entre los tratamientos. En cuanto al rendimiento, las proporciones de 50:50 y 25:75 caña india: fibra de coco, respectivamente, resultaron en la mayor productividad, lo que demostró la capacidad de este residuo agroindustrial de fungir como sustrato. No se presentó ninguna enfermedad asociada al uso de los tallos de caña india.

Keywords

Waste valorization; *Dracaena fragans*; hydroponic substrate; tomato production.

Abstract

The chopped stem of *Dracaena fragans* plant was tested as a substrate for tomato production in hydroponics in a greenhouse. The variety of tomato called JR was planted and different proportions of chopped stem mixed with coconut fiber were used as a substrate. The treatments consisted of using different proportions of cornstalk plant as substrate: pots were filled at 100, 75, 50, 25% and 0%, the rest of the proportion was completed with coconut fiber. All treatments received the same fertilization and irrigation, this through a drip system. As a result, it was obtained that all tomato plants grew in the same way regardless of the proportion of cornstalk plant they had. Leaf development was the same for all treatments. Regarding performance, the proportions of 50:50 and 25:75 cornstalk plant: coconut fiber respectively, resulted in the highest productivity, which demonstrated the capacity of this agro-industrial waste to serve as a substrate. There was no disease associated with the use of cane stalks plant stubble.

Introducción

El tomate es una de las hortalizas con mayor relevancia a nivel mundial, tanto en lo económico como en lo productivo [1]. Datos de la FAO indicaron que durante el 2022 se produjeron más de 180 millones de toneladas de tomate en el mundo. Además, entre 2019 y 2021, se registró un crecimiento de 13.5% anual con respecto a años anteriores. Costa Rica, durante el 2021, produjo 58459 toneladas de tomate y su consumo per cápita fue de 18,8 kg, lo que refleja la importancia de este cultivo a nivel nacional. En Costa Rica, la producción la encabeza la región Central Occidente (Alajuela y Heredia) y la región Central Oriental (Cartago); las cuales abarcan un 61% y 12% de la producción nacional, respectivamente

La producción de tomate se realiza en ambientes semiprottegidos o protegidos. En los ambientes semiprottegidos se utilizan bandas plásticas que protegen al cultivo de la lluvia y su respectivo salpique. Esto reduce los problemas relacionados a enfermedades fúngicas y bacteriales como

la fusariosis, marchitez bacterial y el tizón tardío. Por su parte, los ambientes protegidos más usados son los invernaderos, los cuales aportan una mayor protección, además de permitir la producción durante todo el año [2].

La producción hidropónica de tomate forma parte de las técnicas de cultivo bajo sistemas de ambiente protegido. Las técnicas hidropónicas utilizan sustratos inertes como piedra, roca volcánica o fibras naturales sin presencia de suelo. Para nutrir las plantas, se aplica una solución nutritiva con los compuestos necesarios para el desarrollo de las plantas; en donde se puede, o no, utilizar un medio sólido de cultivo. La producción bajo estos sistemas ha tenido un crecimiento en los últimos años debido a que hay una menor incidencia de infecciones, mejor manejo del crecimiento de los cultivos y se obtienen cosechas de mejor calidad [3].

Los sustratos utilizados para la siembra pueden ser orgánicos o sintéticos (poliuretano y poliestireno). Las fibras, cortezas de madera, fibra de coco y turba son ejemplos de sustratos orgánicos comunes en la producción hidropónica. Cada sustrato presenta una diferente permeabilidad al aire y de retención de humedad [3]. Al poseer fibras de diversos tamaños se consigue una importante capacidad de retención de agua (entre 60-120%), además de poseer una alta porosidad que permite el flujo de gases como el oxígeno y dióxido de carbono [4].

La fibra de coco es uno de los medios orgánicos utilizados en hidroponía. Es obtenida de la cáscara del fruto; muchas veces es un subproducto agroindustrial [3]. La fibra de coco es una opción viable especialmente en regiones tropicales y subtropicales ya que la presencia de materia prima es abundante. Este medio de cultivo es efectivo por su estructura física, al ser capaz de permitir el flujo de aire y su capacidad de retener agua y nutrientes, lo que evita problemas relacionados a la asfixia y estrés por sequía en las raíces [5]. La principal ventaja de usar fibra de coco en la producción hidropónica es que contiene entre 30-40% de lignina [6], un polisacárido conocido, junto con la celulosa, por ser resistentes a la degradación microbiológica [5].

La caña india (*Dracaena L.*) es una planta monocotiledona de la familia taxonómica *Asparagaceae*. Esta familia cuenta con cerca de 13 especies registradas [7]. Usualmente, se usa como ornamental, sobre todo en interiores y como cerca viva en cultivos de café. En Costa Rica, se exporta como planta ornamental. Durante la etapa de selección de los tallos que serán exportados, los que no cumplen con los criterios de calidad son descartados. Esto genera residuos que generan lixiviados. La caña india residual no registra actualmente ningún proceso de aprovechamiento que logre disminuir el impacto ambiental. Investigaciones previas indicaron que la fibra de hojas de caña india puede resultar en una opción innovadora para la obtención de fibras orgánicas al poseer un 70% de celulosa, 11% de hemicelulosa y 11% de lignina [8]. Con base en la necesidad de opciones para valorizar los subproductos de caña india y en su composición química, en este estudio se evaluó su uso como sustrato orgánico en la producción hidropónica de tomate.

Materiales y métodos

Se sembraron 126 plantas de tomate dentro de un ambiente protegido tipo invernadero. La unidad experimental consistió en una planta de tomate sembrada en una maceta. El ensayo tuvo cinco tratamientos: sustrato con 100% caña india, 100% fibra de coco, 75% caña india + 25% fibra de coco; 50% caña india + 50% coco y 25% caña india + 75% de coco. Las mezclas corresponden a medidas volumétricas. Las plantas se sembraron el mismo día. El diseño experimental fue un irrestricto al azar con 18 repeticiones por tratamiento para un total de 90 plantas. Por tanto, se utilizaron 18 unidades experimentales por tratamiento. El resto de las plantas sembradas (36 plantas) pretendió evitar el efecto del borde.

Como material de siembra se utilizó la variedad JR, un tomate de crecimiento determinado. Las plántulas se adquirieron con 35 días de sembradas y 12 cm de altura. El trasplante se realizó manualmente colocando una única planta por cada maceta. Las plantas se sembraron en macetas plásticas de 4,5 L de capacidad. Con respecto a la distribución espacial de las plantas, la distancia entre plantas fue de 1,4 m entre hileras y 0,4 m entre plantas. Se colocaron siete hileras con 18 plantas cada una.

El ambiente protegido se ubicó en las instalaciones de la Escuela de Agronegocios del Tecnológico de Costa Rica. Las paredes estuvieron forradas con malla anti-áfidos. El techo tenía plástico transparente. El piso estaba cubierto con un protector sintético de polipropileno. El sistema de fertirrigación suplió a las plantas de tres riegos y de una fertilización diaria. La cantidad de agua aportada al cultivo varió según el desarrollo de las plantas. La cantidad de riego fue estimada con la evapotranspiración potencial (Eto) y con un coeficiente del cultivo (Kc) de entre 0,3 para plantas pequeñas, 1,3 para plantas en máxima producción y de 0,7 para etapas finales de producción.

El plan de fertilización se realizó con base en las curvas de absorción de los nutrientes descrita por Quesada y Bertsch [9]. Se calculó y se sumó la cantidad de cada nutriente requerida por la planta por semana. Esta cantidad semanal se suministraba con un sistema de riego por goteo. La dosis de fertilizante aplicado se basó en un rendimiento de 60 Tm/ha. Se utilizó 263 Kg/ha de potasio, 180 Kg/ha de nitrógeno, 125 Kg/ha de calcio, 32 Kg/ha de magnesio, 27 Kg/ha de azufre y 13 Kg/ha de fósforo. Las variables evaluadas semanalmente fueron la altura de las plantas, el índice de área foliar, la producción de tomates, número de tomates por planta y la cantidad de tomates dañados. Los datos fueron analizados según estadística descriptiva e inferencial. Se utilizó el software Infostat Profesional + R 3.6.3. Se realizaron pruebas de Shapiro-Wilk para la normalidad, prueba de Levigne para la heterocedasticidad y de Residuos para la aditividad. Se analizó la varianza de los datos y se utilizó la prueba de DMS como separador de medias.

Por otro lado, se calculó la capacidad de retención de agua de los sustratos. Para ello, se colocaron cinco macetas por cada tratamiento y se saturaron con agua durante 4 horas. Posteriormente, cada maceta fue retirada del agua y se dejó 30 minutos para que el agua escurriera. Se pesaron e inmediatamente se colocaron en una estufa 90 C durante 36 horas. Pasado el tiempo, cada repetición fue pesada. La humedad gravimétrica fue determinada a partir de la medición de suelo húmedo y luego del mismo suelo seco en estufa, mediante la fórmula:

Para determinar el tamaño de la partícula prevalente en el sustrato de Caña India, se tomaron siete muestras de sustrato, se clasificó las partículas en distintos tamaños (de 0 a 10 mm; 11 a 20 mm; 21 a 30 mm y 31mm o más) y se pesó cada fracción. Además, durante el desarrollo de las plantas, se evaluó semanalmente la presencia de síntomas de la infección por parte de los hongos *Fusarium* spp. *Rhizoctonia*, *Phyitium*, *Phythophtora* sp, *Alternaria* sp y de la deficiencia de Ca en frutos. Se evaluó la incidencia de todas ellas.

Resultados y discusión

Las plantas de tomate sembradas en sustrato de fibra de coco y fibra de caña se desarrollaron con normalidad. No se presentó clorosis, enfermedades asociadas al sustrato ni bajo vigor.

Caña india como sustrato

El tallo de caña india es semileñoso, por lo que al ser molido en trozos puede fungir como sustrato. El tallo semileñoso retiene más humedad que los tallos leñosos. La proporción carbono nitrógeno del tallo de la caña india fue de 38, esto le confiere porosidad, retención de humedad

y un tiempo de descomposición mayor a los 2 años. La humedad gravimétrica calculada para el sustrato de caña india fue de 218%; por lo que se clasifica como un sustrato de alta retención de humedad. Otros sustratos como la fibra de coco tienen un 110% de humedad, mientras que la humedad gravimétrica del suelo ronda del 40 al 75%. La mezcla 1:1 de la caña india con fibra de coco proporcionó una humedad gravimétrica de 145%, mientras que la mezcla 3:1 brindó 193% (ver figura 1).

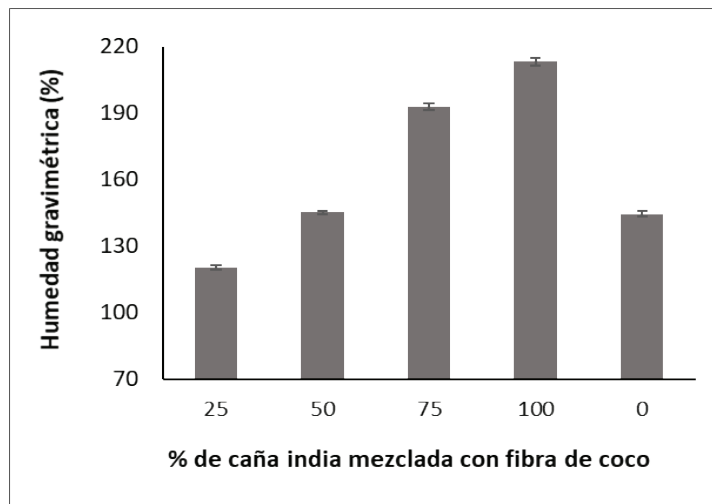


Figura 1. Humedad gravimétrica de distintas proporciones de tallo de caña india y fibra de coco (n=18).

La relación entre el tamaño de la partícula y la humedad gravimétrica es un tema de interés en diversos campos, como la agronomía, la geología y la ciencia del suelo. Tradicionalmente, se ha asumido que a medida que el tamaño de las partículas disminuye, aumenta la capacidad de retención de humedad del sustrato debido a una mayor superficie específica disponible para la adsorción de agua. Sin embargo, la relación entre estas dos variables puede ser más compleja.

Estudios de las propiedades de los sustratos, demostraron que la relación entre el tamaño de partícula y la retención de humedad influye significativamente. Por ejemplo, la estructura del sustrato, la porosidad y la composición química pueden afectar la capacidad de retención de humedad de manera independiente al tamaño de partícula, [10] encontraron que la forma de las partículas también puede influir en la retención de humedad. Partículas más angulares o irregulares pueden crear espacios intersticiales que favorecen la retención de agua, incluso si el tamaño de las partículas es relativamente grande.

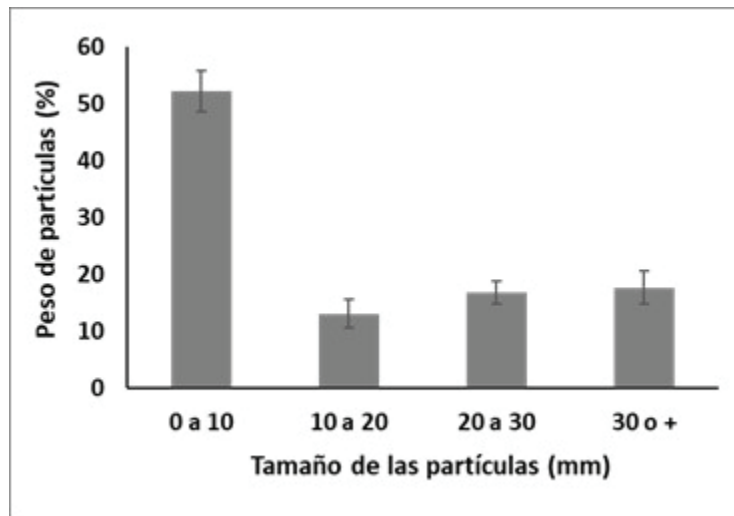


Figura 2. Distintos tamaños de partículas del sustrato de caña india de una muestra aleatoria del sustrato (n=7).

Reducir la retención de humedad del sustrato mediante el picado del tallo en partículas más grandes es una estrategia comúnmente utilizada en la agricultura y la horticultura para controlar el nivel de humedad del suelo o sustrato. Esta práctica se basa en la teoría de que el tamaño de las partículas influye significativamente en la capacidad de retención de agua y en la porosidad del sustrato, [10] se demostraron que el tamaño de las partículas del sustrato afecta directamente la capacidad de retención de humedad. Los investigadores encontraron que a medida que el tamaño de las partículas aumenta, disminuye la capacidad de retención de humedad del sustrato.

Además, otro estudio realizado por Tang et al. [11] examinó la relación entre el tamaño de las partículas y el espacio poroso en el sustrato. Los resultados mostraron que las partículas más grandes creaban una estructura porosa con más espacio entre ellas, lo que facilita el drenaje del agua y reducía la retención de humedad. Por lo tanto, al picar el tallo en partículas más grandes, se aumenta el tamaño de las partículas en el sustrato, lo que a su vez disminuye su capacidad de retención de humedad y promueve un mejor drenaje.

Índice de área foliar del tomate

En cuanto al área foliar, no se encontró diferencia entre los distintos tratamientos. El área foliar creció paulatinamente sin mostrar diferencias entre los tratamientos. El índice de área foliar fue de 0,52 durante la segunda semana después del trasplante y alcanzó valores de 3,9 durante el inicio de la fructificación (10 semanas después de trasplante). Para plantas de tomate, se estima que el índice de área foliar adecuado debe estar entre 4 y 5. Entre estos valores se garantiza el máximo rendimiento, aprovechamiento de la radiación solar sin que exista competencia entre las plantas o que se generen condiciones propicias para la infección de patógenos.

En estudios recientes se ha observado que la dinámica del índice de área foliar (*LAI*) está relacionada con la variación del rendimiento en cultivos. Yamamoto et al. [12] encontraron que los parámetros derivados del *LAI* en soya explicaron parte de la variación espacial y anual del rendimiento en parcelas de agricultores, lo que respalda la utilización del *LAI* como indicador para estimar tendencias de productividad bajo condiciones de campo. En un estudio realizado por Hashimoto et al. [13] se encontró una correlación significativa entre el índice de área foliar y el rendimiento del tomate. Se observó que a medida que aumentaba el IAF (índice de área foliar) también lo hacía el rendimiento de frutos por planta.

Cabe destacar, que el aumento en la densidad de siembra promovería el índice de área foliar, sin embargo, al haber mayor cantidad de plantas, habrá que invertir en mayor número de recursos como agua, semilla, nutrientes, infraestructura de riego (figura 3).

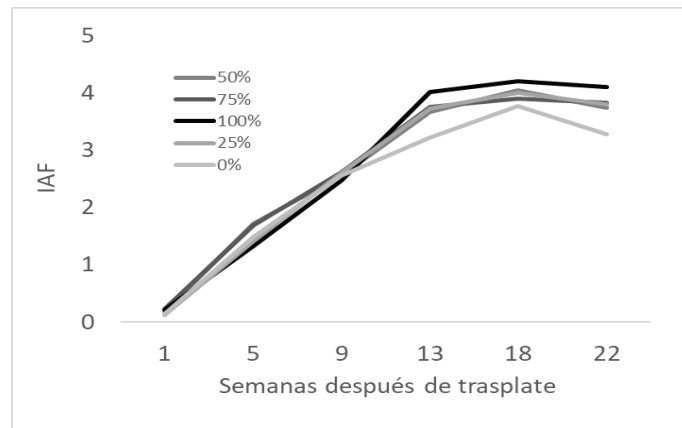


Figura 3. Índice de área foliar de las plantas de tomate creciendo en sustratos de fibra de coco y caña india a distintas proporciones respecto a la caña india (n=18).

Rendimiento del cultivo de tomate

El rendimiento de un cultivo es el resultado de la eficiencia de las plantas en el uso de los recursos. Los recursos del suelo, en este caso del sustrato, principalmente son los nutrientes, agua y espacio aéreo. El tallo molido de caña india demostró ser capaz de fungir como sustrato para la producción hidropónica de tomate (Figura 4). Las proporciones de 50:50 y 25:75 caña india:fibra de coco, resultaron en la mayor producción de tomate (3,5 Kg/planta), esto manteniendo la calidad del fruto. El uso exclusivo de fibra de coco y de caña india mostró valores inferiores al uso de mezclas (2,7 vs 3,5 Kg/planta).

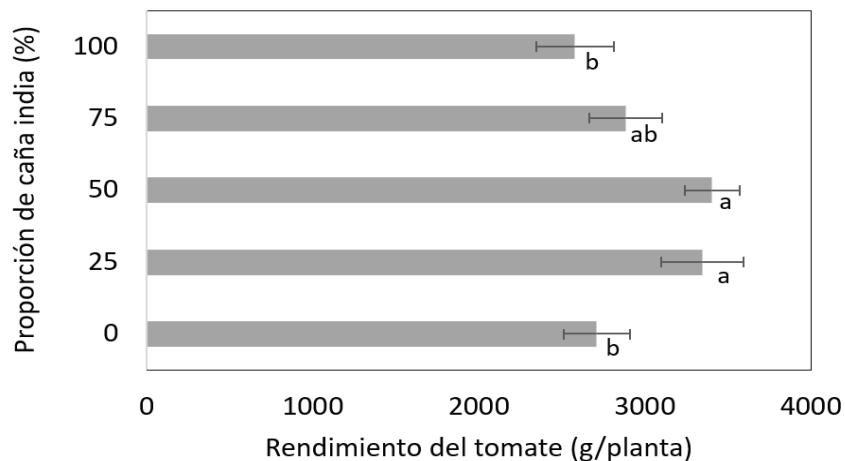


Figura 4. Producción de plantas de tomate sembradas en distintas proporciones de dos sustratos: tallos de caña india molidos y fibra de coco. Los porcentajes refieren a la cantidad de caña india en una mezcla volumétrica (n=18).

Al moler el tallo de la caña india, quedaron trozos de distintos tamaños, algunos de hasta 5 cm de longitud por 1 cm de ancho. El tallo de la caña posee tejido conductivo y estructural por lo que la humedad del sustrato se debe al agua del xilema, agua con azúcares provenientes del

floema y el agua contenida en las células. Por ello, los azúcares podrían fermentar el sustrato y liberar ácidos orgánicos [14]. Para evitar el efecto tóxico de los ácidos orgánicos, es prudente que el tiempo entre la corta de la caña y la molienda sea de al menos 10 días, con este tiempo, el proceso de respiración hará que los tejidos consumen los azúcares y el tallo pierda humedad. Dicha recomendación concuerda con Tixier et al. [15], quien argumentó que los azúcares de un tallo son consumidos por el tallo a través de procesos de respiración.

Las mezclas entre fibra de coco y de caña india proporcionaron mejores condiciones para las raíces que los sustratos puros. Esto en cuanto a la humedad del sustrato, retención de la humedad, espacio aéreo, y retención de los nutrientes.

Conclusiones

Al evaluar caña india molida como sustrato en la producción de tomate hidropónico se demostró que al ser añadida hasta en un 50% se aumentó la productividad del tomate. Sin embargo, al ser utilizado en proporciones mayores al 50% (75% y 100%) se encontró que disminuyó la producción total. Por su parte, el sustrato no afectó la calidad del fruto, tampoco el desarrollo de la planta.

Recomendaciones

Se recomienda tomar en cuenta el tiempo transcurrido entre la cosecha de la caña y la siembra del tomate. La caña fresca libera sabia y sustancias de reserva del tallo. La descomposición inicial de estos líquidos podría generar algún problema a las plántulas de tomate.

El aprovechamiento de los residuos vegetales derivados de la agroindustria puede usarse para generar abonos, materiales, combustibles, entre otros. Por lo que se deben promover las investigaciones en esta línea ambiental.

El residuo de tallo de caña india está disponible y su uso como sustrato en la agricultura hidropónica tiene un potencial ante la escasez y precio de sustratos como la fibra de coco.

Agradecimientos

Agradecemos al Centro de Investigación y Extensión en Gestión Agroindustrial y Agronegocios CIGA, a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica, por el apoyo al proyecto Evaluación del uso Potencial de Fibras Naturales como Biomaterial, Código: 1431034, a Compendia R.L. y a la Escuela de Agronegocios. Además, a Wendy Rivera Jiménez por su colaboración en la elaboración de gráficos y figuras.

Referencias

- [1] F. Martínez-Ruiz, L. Cervantes-Díaz, C. Aíl-Catzim, L. Hernández-Montiel, C. Sánchez, and E. Rueda-Puente, "Hongos *fitopatógenos* asociados al tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) en la zona árida del noroeste de México: la importancia de su diagnóstico," *European Scientific Journal*, vol.12, no. 18, 2016.
- [2] INTA. "Manual técnico del cultivo de tomate (*Solanum Lycopersicum*)," 2017. [Online]. Available: <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>
- [3] S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, and G. Burnell, "Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future," Springer Nature, 2019.
- [4] J. Wallach, "Physical characteristics of soilless media". in *Soilless culture, theory and practice*, Y. Raviv and J. Lieth, Eds. Amsterdam: Elsevier, 2008, pp41-116.
- [5] S. Patil, U. Kadam, M. Mane, D. Mahale, and J. Dhekale, "Hydroponic growth media (substrate): a review", *Int. Res. J. Pure Appl. Chem*, vol. 21, pp106-113, 2020.

- [6] A. Mankar, A. Pandey, and K. Pant, "Microwave-assisted extraction of lignin from coconut coir using deep eutectic solvents and its valorization to aromatics," *Bioresource Technology*. Vol.345, p.126528, 2022.
- [7] ITIS, "Integrated Taxonomic Information System – Report: *Dracaena* L.," 2023. [Online]. Available: https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt.jsessionid=47ACF8B0E738C6026740B6B5DF3F9BD7?search_topic=TSN&search_value=500631#null. [Accessed: Feb. 05, 2025].
- [8] P. Manimaran, S. Saravanan, M. Sanjay, S. Siengchin, M. Jawaid, and A. Khan, "Characterization of new cellulosic fiber: *Dracaena reflexa* as a reinforcement for polymer composite structures," *Journal of Materials Research and Technology*, vol.8, no.2, pp. 1952-1963,2019.
- [9] G. Quesada-Roldán and F. Bertsch-Hernández, "Fertirriego en el rendimiento de híbridos de tomate producidos en invernadero," *Agronomía Mesoamericana*, vol. 23, no. 1, pp. 1–11, 2012.
- [10] H. Li, Y. Li, and S. Liu, "Influence of Particle Shape and Particle Size on Soil Water Retention". *Soil Science Society of America Journal*, vol.81, no.2, pp. 345-356, 2017.
- [11] Y. Tang, Y. Shen, W. Ai, Z. Wu, R. Mao, H. Wu, W. Hu y H. Feng, "Effects of Different Particle Sizes on the Bulk Density, Porosity Character, Water Suction of Substrates (in Chinese)," *Chinese Journal of Space Science*, vol. 42, no. 6, pp. 1161–1170, 2022, doi: 10.11728/cjss2022.06.220125009.
- [12] S. Yamamoto, N. Hashimoto and K. Homma, "Evaluation of LAI dynamics by using plant canopy analyzer and its relationship to yield variation of soybean in farmer field," *Agriculture*, vol. 13, no. 3, art. 609, 2023, doi: 10.3390/agriculture13030609.
- [13] N. Hashimoto, Y. Saito, S. Yamamoto, T. Ishibashi, R. Ito, M. Maki y K. Homma, "Relationship between Leaf Area Index and Yield Components in Farmers' Paddy Fields," *AgriEngineering*, vol. 5, no. 4, pp. 1754–1765, 2023, doi: 10.3390/agriengineering5040108.
- [14] Salami, Y., Jaafri, R. Correlation between shape parameters of particle size distribution and soil water retention curves. *Geo-Engineering* 16, 21 (2025). <https://doi.org/10.1186/s40703-025-00251-7>
- [15] A. Tixier, G. A. Gambetta, J. Godfrey, J. Orozco y M. A. Zwieniecki, "Non-structural Carbohydrates in Dormant Woody Perennials; The Tale of Winter Survival and Spring Arrival," *Frontiers in Forests and Global Change*, vol. 2, art. 18, May 2019, doi: 10.3389/ffgc.2019.00018.

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Los autores aquí firmantes declaramos que no se utilizó ninguna herramienta de IA para la conceptualización, traducción o redacción de este artículo.