

PRODUCTIVIDAD DEL AGUA EN PLANTAS DE TOMATE CULTIVADAS EN VERDEPONIA Y CON ACCIONAMIENTO AUTOMÁTICO DE RIEGO

Daniel Fonseca de Carvalho¹, Michel Douglas Santos Ribeiro², Leonardo Oliveira
Medici³, Jaidson Gonçalves da Rocha⁴

RESUMEN: El tomate es una de las hortalizas más consumidas en el mundo y su cultivo en Verdeponia constituye una alternativa al sistema orgánico tradicional. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la productividad del agua de plantas de tomate cultivadas en fitomasa no compostada de recortes de césped (RC) y hojas de gliricidia (GLI). El cultivo se realizó en hoyos rellenos con diferentes proporciones de RC y GLI, además del tratamiento control (sólo tierra), totalizando 7 tratamientos. Las plantas de tomate híbrido Dominador F1 fueron regadas por goteo, utilizando emisores (PCJ-LCNL/Netafim) de 2,0 L h⁻¹, operando a 80,0 kPa. La gestión del riego se realizó mediante actuador automático, con el sensor de potencial matricial instalado en 2 plantas del tratamiento control. El monitoreo del riego se realizó a través de un sistema de recolección y almacenamiento de datos utilizando un controlador Arduino. Se realizaron 10 cosechas, las cuales iniciaron en la semana 11 de cultivo. La productividad del agua se calculó mediante la relación entre la producción total en cada tratamiento y el volumen de agua recibido por la planta (riego + precipitación). A pesar de la ocurrencia de 324,8 mm de precipitación, el sistema de riego se activó 143 veces, a lo largo del ciclo de 144 días, aplicando un volumen de agua de 58,48 L por planta. La producción varió desde 79,0 Mg ha⁻¹, para plantas cultivadas con 100% RC (T2), hasta 119,0 Mg ha⁻¹, para 50% RC, 50% GLI y termofosfato (T6). En estas condiciones, la productividad del agua alcanzó, respectivamente, 17,89 y 26,95 kg m⁻³. Se pudo constatar que la producción de tomate en Verdeponia y con activación automática proporciona productividad y

¹Profesor Titular del Departamento de Ingeniería/Instituto de Tecnología, Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, Seropédica, Río de Janeiro, daniel.fonseca.carvalho@gmail.com; carvalho@ufrj.br. (Autor que presenta)

²Estudiante de doctorado en Ciencias Vegetales, Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, Seropédica, Río de Janeiro, mycheldouglass@gmail.com

³Profesor Titular del Departamento de Fisiología Vegetal, Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, Seropédica, Río de Janeiro, lmedici@gmail.com

⁴Ingeniero Agrónomo, Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, Seropédica, Río de Janeiro, jaidsongr@gmail.com

eficiencia en el uso del agua compatibles con los valores obtenidos en cultivos convencionales, además de las ventajas ambientales que aporta el cultivo orgánico.

PALABRAS CLAVE: *Solanum lycopersicum*, manejo de riego automático, fertilización orgánica.

WATER PRODUCTIVITY IN TOMATO PLANTS GROWN IN GREENPONICS AND WITH AUTOMATIC IRRIGATION

ABSTRACT: Tomato is one of the most consumed vegetables in the world and its cultivation in Greenponics is characterized as an alternative to the traditional organic system. This study aimed to evaluate the water productivity of tomato plants grown in non-composted phytomass of grass clippings (AP) and gliricidia leaves (GLI). The cultivation was carried out in holes filled with different proportions of AP and GLI, in addition to the control treatment (only soil), totaling 7 treatments. The plants of the Dominador F1 hybrid tomato were irrigated by drip, using emitters (PCJ-LCNL/Netafim) of 2.0 L h^{-1} , operating at 80.0 kPa. Irrigation management was performed by automatic actuator, with the matric potential sensor installed in 2 plants of the control treatment. Irrigation monitoring was performed through a data collection and storage system using an Arduino controller. Ten harvests were carried out, starting in the 11th week of cultivation. Water productivity was calculated by the ratio between the total production in each treatment and the volume of water received by the plant (irrigation + precipitation). Despite the occurrence of 324.8 mm of precipitation, the irrigation system was activated 143 times, throughout the 144-day cycle, applying a volume of water of 58.48 L per plant. Production ranged from 79.0 Mg ha^{-1} , for plants cultivated with 100% AP (T2), to 119.0 Mg ha^{-1} , for 50% AP, 50% GLI and addition of thermophosphate (T6). Under these conditions, water productivity reached, respectively, 17.89 and 26.95 kg m^{-3} . It was possible to confirm that tomato production in Greenponics and with automatic activation provided productivity and water use efficiency compatible with the values obtained in conventional crops, in addition to the environmental advantages provided by organic cultivation.

KEYWORDS: *Solanum lycopersicum*, automatic irrigation management, organic fertilization.

INTRODUCCIÓN

En el sistema de producción agrícola, el agua es uno de los recursos más críticos y para mantener altos rendimientos de los cultivos es necesario satisfacer sus necesidades hídricas en las diferentes etapas de desarrollo (UDDAMERI et al., 2020). La gestión del riego puede implementarse mediante sensores de humedad del suelo, que permiten, de forma manual o automática, el suministro y/o reposición de agua al suelo en la cantidad adecuada y en el momento adecuado (DIAS et al., 2013; GOMES et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2022), contribuyendo a la optimización del uso del agua en la agricultura, además de posibilitar una mayor productividad y, en consecuencia, una mayor eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes.

La planta de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), perteneciente a la familia Solanaceae, es una de las hortalizas más consumidas en el mundo (CAPOBIANCO-URIARTE et al., 2021), y es considerada una especie con altos costos de producción, con una larga temporada de crecimiento y altos requerimientos de agua y nutrientes. La producción de tomate orgánico ha ido en aumento a nivel mundial, especialmente por su calidad nutricional, vida útil y sostenibilidad del rendimiento (VERMA et al., 2023), dada la necesidad del sector productivo de garantizar la seguridad alimentaria de la población asociada a la eficiencia productiva y sostenibilidad ambiental (KABIR et al., 2024). En la agricultura orgánica, los insumos utilizados, ya sean de origen animal o vegetal, descompuestos o en etapa de descomposición (ROCHA et al., 2019), se caracterizan por ser fuentes de energía y nutrientes para los procesos químicos y biológicos de los organismos del suelo, manteniendo el estado dinámico y jugando un papel importante en su fertilidad (QUIROZ & FLORES, 2019). Ante el crecimiento de la agricultura orgánica, Verdeponia surge como una nueva propuesta sustentable, ya que utiliza insumos orgánicos que aportan mejoras en la calidad del suelo y un adecuado desarrollo de las plantas. SOUZA et al. (2021) demostraron la eficiencia de la técnica utilizando biomasa vegetal no compostada con recortes de césped (*Paspalum notatum*) como fuente de fertilizante en cultivos de tomate en maceta, sin necesidad de compostaje previo.

Por tanto, el estudio tiene como objetivo evaluar la productividad y la eficiencia del uso del agua de la planta de tomate “Dominador F1” con activación automática del sistema de riego y cultivada en Verdeponia, con diferentes combinaciones de gramíneas y leguminosas.

MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el campus de la Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, ubicado en Seropédica-RJ, Brasil ($22^{\circ}46'29.55''$ S y $43^{\circ}41'12.16''$ O), de mayo a septiembre de 2023, en un área experimental de 200 m² cuyo suelo está clasificado como Planossolo. El clima de la región es de tipo Aw, según Köppen, con lluvias en verano, temperaturas altas e invierno seco con temperaturas suaves (ALVARES et al., 2013).

Durante el período experimental, el monitoreo meteorológico se realizó mediante una estación automática INMET (A601 – Ecología Agrícola), ubicada cerca del sitio del experimento. Las temperaturas máximas y mínimas y la humedad relativa del aire fueron 35,3 y 14,0 °C, y 92,1 y 85,9%, respectivamente (Figura 1). Las precipitaciones totalizaron 324,8 mm, mientras que la evapotranspiración de referencia (ET_o), según Allen et al. (1998), fue de 454,3 mm.

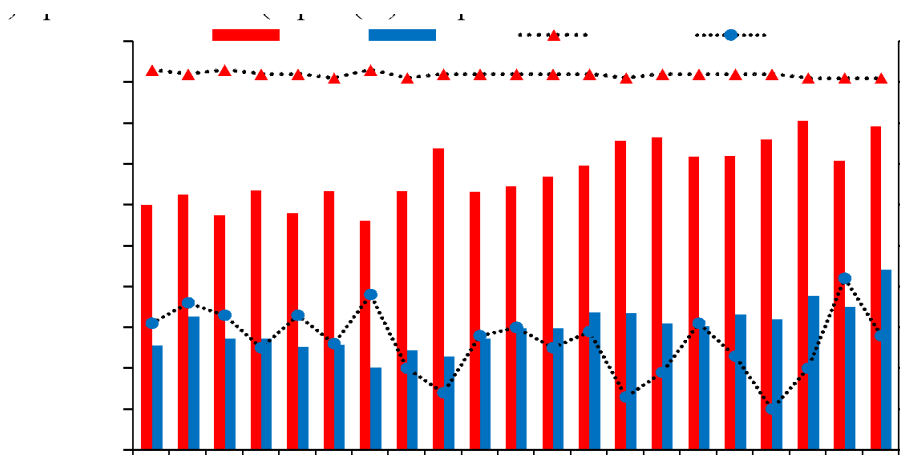


Figura 1. Temperaturas máximas (Tmax) y mínimas (Tmin), y humedad relativa del aire máxima (URmax) y mínima (URmin) en el período experimental de mayo a septiembre de 2023.

Para implementar la técnica de Verdeponia, el área fue previamente preparada para la siembra en sistema de hoyos, a través de agujeros realizados con una

motoexcavadora, con dimensiones de 0,25 m de diámetro y 0,30 m de profundidad, simulando una maceta de aproximadamente 8,0 L.

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar, conformado por siete tratamientos y cuatro réplicas, con cuatro plantas por parcela. Las plantas fueron cultivadas con un espaciamiento de 0,5 m x 1,0 m, constituyendo una parcela experimental de 2,0 m². Los tratamientos se caracterizaron por: T1 – suelo + compost fermentado tipo Bokashi (BK) (tratamiento del control); T2 – 100% recortes de césped (RC); T3 - 100% hojas de gliricidia (GLI) + termofosfato (Y); T4 - 100% RC + Y; T5 - 75% RC y 25% GLI + Y; T6 - 50% RC y 50% GLI + Y; T7 - 75% GLI y 25% RC + Y.

Los recortes de césped (*Paspalum notatum*) y gliricidia (*Gliricidia sepium*) se recolectaron en el campus de la UFRRJ y en la Fazendinha Agroecológica km 47, respectivamente, y los materiales se secaron a plena luz del sol durante aproximadamente 48 horas. Luego del secado se recogieron muestras de ambos materiales para su análisis, cuyas composiciones químicas indicaron 1,6 (N); 0,19 (P) y 1,98 (K) dag kg⁻¹ para RC, y 3,84 (N); 0,22 (P) y 1,64 (K) dag kg⁻¹ para GLI. El compost fermentado tipo Bokashi (BK) se preparó con 20% de salvado de trigo, 40% de salvado de biomasa de gliricidia y 40% de residuo de cervecería (PIAN et. al., 2023).

El estudio se realizó con la planta de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), un híbrido Dominador F1 de Topseed, del grupo Caqui. Las plantas fueron regadas mediante riego por goteo, con líneas de polietileno de 16 mm y emisores autocompensantes con un caudal nominal de 2,0 L h⁻¹ (PCJ-LCNL/Netafim). Luego de la evaluación en campo, el sistema mostró un caudal promedio de 1,92 L h⁻¹, a una presión de 80,0 kPa y una uniformidad de distribución del 92%. La gestión del agua se realizó mediante el disparador automático de riego (AAR) (MEDICI et al., 2010) que, según la configuración, activa el sistema de riego cuando se alcanza una determinada tensión de agua en el suelo. El AAR se instaló en la parcela correspondiente al tratamiento 1 (control), utilizando una tensión de accionamiento de 4,0 kPa. Los riegos fueron monitoreados a través de un sistema de recolección y almacenamiento de datos desarrollado a partir de un controlador (Arduino), el cual recibía la información emitida por el actuador, permitiendo cuantificar el volumen de agua aplicado y el tiempo de actuación. Las cosechas se realizaron a los 70 días después del trasplante, al iniciar el proceso de maduración, cuando los frutos presentaban un color verde rosado. A partir de los datos promedio recolectados de las cuatro plantas útiles, se

determinó la productividad del cultivo (PROD) y la eficiencia en el uso del agua, a través de la relación entre la PROD y el volumen de agua aplicado, sumado a la precipitación ocurrida durante el período experimental.

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza, utilizando la plataforma R Studio (R CORE TEAM, 2022). Las medias factoriales se compararon mediante la prueba de Scott-Knott, a un nivel de probabilidad del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para cubrir las necesidades hídricas de las plantas, el volumen promedio de riego semanal aplicado en el experimento fue de 2,87 L por planta (aproximadamente 0,47 L por planta por día), mientras que el volumen acumulado a lo largo del ciclo (21 semanas) fue de 58,48 L por planta, con 143 activaciones del sistema de riego. El volumen aplicado varió a lo largo del experimento, alcanzando 4,56 L por planta en la octava semana. De acuerdo con la Tabla 1, las plantas del tratamiento T6 mostraron la mayor productividad promedio a lo largo de las cosechas, totalizando 119,06 Mg ha⁻¹, mientras que las plantas cultivadas sólo con recortes de pasto (T2) proporcionaron la menor productividad total (79,04 Mg ha⁻¹). En el tratamiento control (T1), que representa la técnica utilizada en cultivos orgánicos, la productividad promedio alcanzó 83,56 Mg ha⁻¹, sólo ligeramente superior al tratamiento T2 (Tabla 1).

Tabla 1. Productividad (Mg ha⁻¹) de la planta de tomate “Dominador F1”, acumulada a lo largo de las cosechas realizadas

TRAT	Cosechas a lo largo del tiempo									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T1	6,18	15,98	21,56	29,10	35,76	42,32	47,26	57,16	69,88	83,56 d
T2	6,56	11,96	20,08	28,02	38,08	44,06	50,28	58,78	65,24	79,04 e
T3	14,98	26,80	34,14	46,56	53,22	59,62	65,14	78,00	91,38	111,62 b
T4	8,28	16,00	24,40	35,48	42,22	46,92	53,58	64,18	79,10	102,08 c
T5	9,18	17,74	24,26	35,86	42,06	47,64	55,14	67,22	80,54	99,78 c
T6	16,54	27,54	34,24	46,46	55,34	63,12	70,42	86,28	100,82	119,06 a
T7	13,36	25,30	31,98	41,68	50,16	56,58	61,56	78,08	93,80	113,30 b

*Las medias seguidas de la misma letra en la columna no difieren entre sí mediante la prueba de Scott-Knott, al nivel de probabilidad del 5%. TRAT: tratamientos: T1 – suelo + compost tipo Bokashi (BK) fermentado (control); T2 - 100% recortes de césped (RC); T3 - 100% hojas gliricidas (GLI) + termofosfato (Y); T4 - 100% RC + Y; T5 - 75% RC y 25% GLI + Y; T6 - 50% RC y 50% GLI + Y; T7 - 75% GLI y 25% RC + Y.

Yang et al. (2023) indican una reducción promedio del 5,5% en la productividad de las plantas de tomate cultivadas con fertilizantes orgánicos en comparación con los fertilizantes inorgánicos. A pesar de esto, el rendimiento obtenido en el cultivo con recortes de pasto (T2) fue superior al encontrado en muchos estudios realizados en sistemas agrícolas convencionales, como el realizado por WANG & XING (2017), en cultivo protegido (78,0 Mg ha⁻¹).

Las eficiencias de uso de agua fueron 18,92 (T1), 17,89 (T2), 25,27 (T3), 23,11 (T4), 22,59 (T5), 26,95 (T6) y 25,65 kg m⁻³ (T7), y son similares a las obtenidas por WU et al. (2021) (de 23,10 a 27,83 kg m⁻³), en cultivos de tomate en diferentes épocas del año. Los resultados demuestran que el cultivo de tomate en Verdeponia puede proporcionar una eficiencia en el uso de agua comparable a los sistemas convencionales.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, es posible concluir que la producción de tomate en Verdeponia proporcionó productividad y eficiencias en el uso de agua comparables a los valores obtenidos en cultivos convencionales, además de las ventajas ambientales obtenidas en el cultivo orgánico, y el uso de AAR, lo que contribuye al ahorro de agua en la producción de frutos de tomate.

EXPRESIONES DE GRATITUD

El estudio fue financiado por el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) (Proceso 165755/2021-0).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements** - FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome: FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations 1998. 301p.

ALVARES, C. A.; SATATE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **MeteorologischeZeitschrift**, v. 22, n.6, p.711–728, 2013.

CAPOBIANCO-URIARTE, M.; APARICIO, J.; VALENCIANO, J. P.; BELMONTE, M. P. The European tomato Market Na approach by export competitiveness maps. **PLoS One**, v. 16, n. 5, p. 0250867, 2021.

DIAS, G.C.O.; MEDICI, L.O.; VASCONCELLOS, M.A.S.; CARVALHO, D.F.; PIMENTEL, C. Papaya seedlings growth using a low-cost, automatic watering controller. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal**, v.35, n. 2, p. 527-535, 2013.

GOMES, D. P.; CARVALHO, D. F.; ALMEIDA, W. S.; MEDICI, L. O.; GUERRA, J. G. M. Organic carrot-lettuceintercroppingusingmulchanddifferentirrigationlevels. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v.12, n.1, p.323-328, 2014.

KABIR, A.H.; BAKI, M. Z. I.; AHMED, B.; MOSTOFA, M. G.Current, faltering, and future strategies for advancing microbiome-assisted sustainable agriculture and environmental resilience. **New Crops**, v. 1, p. 100013, 2024.

MEDICI, L. O.; ROCHA, H. S.; CARVALHO, D. F.; PIMENTEL, C.; AZEVEDO, R.A. Automatic controller to water plants. **Scientia Agricola**, v. 67, p. 727–730. 2010.

NASCIMENTO, F. A. L.; SILVA, A. J. P.; FREITAS, F. T. O.; FERNANDES, R. D. M.; VEIMROBER JUNIOR, L. A. Sensors and frequencies of soil water content measurement affecting agro-hydrological simulations and irrigation management. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 194, p. 106763, 2022.

PIAN, L. B., GUERRA J. G. M.; BERBARA, R. L. L.; JESUS, M. S. C.; JUNIOR-BARBOSA, J. Characterization, nitrogen, availability, and agronomic efficiency of fermented composts in organic vegetable production. **Organic Agriculture**, v. 13, p. 461-481, 2023.

QUIROZ, M. & FLORES, F. Nitrogen availability, maturity and stability of bokashi-type fertilizers elaborated with different feedstocks of animal origin. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 65, p. 867-875, 2019.

R CORE TEAM: **The R Project for Statistical Computing**, 2022. Available from: <https://www.r-project.org/>.

ROCHA, A. A.; ARAUJO, E.S.; SANTOS, S.S.; GOULART, J.M.; ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALVES, B. J. R.; ROUWS, J. R.C. Ammonia volatilization from soil-applied organic fertilizers. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, e0180151, 2019.

SOUZA, E. F. F. S.; MEDICI, L. O.; GENTILE, M. A. D.; HASSANPOURAGHDAM, M. B.; CARVALHO, D. F. SILVA, L. D. B. S. Grass (*paspalum notatum*) clippings, with and without cattle wastewater, supported production of organic cherry tomatoes in pots. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 38, p. 29-39, 2021.

UDDAMERI, V.; CHASEMINEJAD, A.; HERNANDES, E. A. A tiered stochastic framework for assessing crop yield loss risks due to water scarcity under different uncertainty levels. **Agricultura Water Management**, v. 238, p. 106226, 2020.

VERMA, S. B.; KUMAR, C.; NARAYAN, R. P. Sustaining soil health and tomato production through organic inputs and bacterial inoculations in alluvial soils detoxifying plant contaminants. **South African Journal of Botany**, v. 161, p. 404-417, 2023.

WANG, X.; XING, Y. Evaluation of the effects of irrigation and fertilization on tomato fruit yield and quality: a principal component analysis. **Scientific Reports**, v. 7, p. 350. 2017.

WU, Y.; YAN, S.; FAN, J.; ZHANG, F.; XIANG, Y.; ZHENG, J.; GUO, J. Responses of growth, fruit yield, quality and water productivity of greenhouse tomato to deficit drip irrigation. **Scientia Horticulturae**, v. 275, p. 109710, 2021.