

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE ARÚGULA (*Eruca sativa* Mill.) CON RELACIÓN A LA NUTRICIÓN QUÍMICA ^a

GROWTH ANALYSIS OF ARUGULA (*Eruca sativa* Mill.) IN RELATION TO CHEMICAL NUTRITION

Aguilar-Carpio, C.¹; Juárez-López, P.^{2*}; Escalante-Estrada, J.A.S.³

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Posgrado de Botánica. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Edo. de México.

²Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Av. Universidad No. 1001, Chamilpa, 62210 Cuernavaca, Mor.

³Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Posgrado de Botánica. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Edo. de México.

* E-mail: porfiriojlopez@yahoo.com

Fecha de envío: 20, mayo, 2025

Fecha de publicación: 20, septiembre, 2025

Resumen:

La arúgula ha mostrado una demanda creciente en la última década debido a la tendencia mundial de consumir alimentos sanos y de fácil preparación; sin embargo, existe escasa información acerca de su crecimiento en sustrato y en condiciones de invernadero. El objetivo fue determinar la dinámica de crecimiento del cultivo de arúgula (*Eruca sativa* Mill.), en función de cuatro concentraciones (50, 75, 100 y 125 %) de la solución nutritiva de Steiner. El experimento se llevó a cabo en Cuernavaca, Morelos, de febrero a marzo de 2020. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con seis repeticiones. Se realizaron muestreos destructivos semanales durante 28 días después del trasplante, las variables evaluadas fueron: área foliar, peso de materia fresca y seca, se estimaron la tasa de asimilación neta (TAN) y la tasa absoluta de crecimiento (TAC). Los mayores valores para peso de materia fresca y seca se obtuvieron con las soluciones 75, 100 y 125 %, con las mismas soluciones el área foliar fue de 2008, 2215 y 2639 cm², respectivamente, a los 28 días después del trasplante. La mayor TAN se observó con la solución al 125 % (298.0 g cm⁻² día⁻¹), la TAC presentó mayor acumulación de materia seca por día, con las concentraciones de la solución nutritiva de Steiner al 75, 100 y 125 % (0.10, 0.08 y 0.11 g día⁻¹, respectivamente). Se concluye que la solución nutritiva de Steiner a concentración de 75 % favorece el crecimiento de arúgula en sustrato y en invernadero.

Palabras clave: área foliar, producción, peso fresco.

^a La presente investigación presenta resultados preliminares de una tesis de licenciatura.

Abstract:

Arugula has shown increasing demand in the last decade due to the global trend towards healthy, easy-to-prepare foods; however, there is little information about its growth in substrate and greenhouse conditions. The objective was to determine the growth dynamics of arugula (*Eruca sativa* Mill.) cultivation based on four concentrations (50, 75, 100, and 125%) of Steiner's nutrient solution. The experiment was carried out in Cuernavaca, Morelos, from February to March 2020. A random complete block design with six replications was used. Weekly destructive sampling was carried out for 28 days after transplanting. The variables evaluated were leaf area, fresh and dry matter weight, and the net assimilation rate (NAR) and absolute growth rate (AGR). The highest values for fresh and dry matter weight were obtained with the 75, 100, and 125% solutions. With these solutions, the leaf area was 2008, 2215, and 2639 cm², respectively, at 28 days after transplant. The highest TAN was observed with the 125% solution (298.0 g cm⁻² day⁻¹); the AGR showed greater accumulation of dry matter per day with the Steiner nutrient solution concentrations of 75, 100, and 125% (0.10, 0.08, and 0.11 g day⁻¹, respectively). It is concluded that the Steiner nutrient solution at a concentration of 75% favors the growth of arugula in substrate and in a greenhouse.

Keywords: leaf area, production, fresh weight.

INTRODUCCIÓN

La arúgula (*Eruca sativa* Mill.) es una hortaliza de hoja que pertenece a la familia Brassicaceae. Se ha utilizado desde tiempo atrás como ingrediente en la cocina de varios países como Italia, Marruecos, Portugal y Turquía, hacia la década de los 90 se inició el cultivo de arúgula a gran escala tanto al aire libre como en invernaderos desde Estados Unidos de Norte América hasta Sudamérica, se consume como ensalada, es apreciada por su característico aroma y sabor picante (Jasper et al., 2020). En México la arúgula es una especie exótica, introducida y diseminada en la época de la conquista, crece silvestre en varios estados de la República Mexicana sobre todo en suelos alcalinos (CONABIO, 2009). La arúgula es potencialmente saludable por su contenido en fitoquímicos como los glucosinolatos y compuestos fenólicos que actúan como poderosos antioxidantes y antitumorales; además, contiene fibra, proteínas, calcio, hierro, magnesio, vitaminas A, C y K, carotenoides y flavonoides (Elsadek et al., 2021). No obstante, el conocimiento sobre los niveles de fertilización en arúgula son escasos. Por lo que, evaluar el nivel adecuado de fertilización es fundamental para satisfacer las necesidades nutricionales del cultivo. Las hortalizas requieren una disponibilidad equilibrada de nutrientes para expresar su potencial genético en términos de rendimiento y calidad. Una evaluación precisa

permite identificar carencias o excesos, y aplicar fertilizantes en la cantidad y momento adecuados. Una fertilización deficiente puede reducir los rendimientos, mientras que una fertilización excesiva representa un gasto innecesario en insumos.

Por otro lado, Para poder evaluar la producción de un cultivo, se utilizan técnicas matemáticas de análisis de crecimiento vegetal por medio de las cuales se obtienen datos sobre los procesos fisiológicos de la planta, cambios estructurales y bioquímicos específicos que ocurren de acuerdo con los patrones de división y diferenciación celular y que tienen relación con el ambiente natural o controlado (Barraza et al., 2015).

El análisis de crecimiento permite interpretar el desarrollo y funcionamiento de la planta a través del tiempo y definir criterios para su manejo agronómico a partir de medidas directas del crecimiento como peso seco (PS), área foliar (AF) y tiempo (T), mientras que las medidas derivadas como tasa de asimilación neta (TAN), y tasa absoluta de crecimiento (TAC), son calculadas a partir de las medidas directas. Estos índices permiten analizar el crecimiento de la planta a través de la acumulación de materia seca, la cual depende del tamaño del área foliar, de la tasa a la cual funcionan las hojas y el tiempo que el follaje persiste (Barrientos-Llanos et al., 2014).

Varios estudios reportan que la arúgula es un cultivo de rápido crecimiento que se produce con éxito durante todo el año en hidroponía e invernadero y que su manejo agronómico aumenta la calidad comercial y la continuidad en su producción para cubrir la demanda anual, lo que a su vez proporciona características de crecimiento y desarrollo que incrementan su rendimiento (Grasso et al., 2017).

La información sobre el manejo del cultivo de arúgula en condiciones protegidas y sin suelo es limitada, es por ello por lo que el objetivo de la presente investigación fue determinar la dinámica de crecimiento y rendimiento del cultivo de arúgula en función de cuatro concentraciones (50, 75, 100 y 125 %) de la solución nutritiva de Steiner.



MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, que se localiza en Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México; en marzo del 2020, en un invernadero tipo túnel con cubierta plástica blanquecina con sombreo de 30 % y malla antiáfidos, situado a 18° 58' 51" latitud norte, 99° 13' 55" longitud oeste y altura de 1,866 msnm.

La plántula que se utilizó fue de arúgula, cultivar 'Wild rocket'. En el trasplante se colocó una plántula por maceta (bolsa negra de polietileno) de 10 L de capacidad, que contenía sustrato de tezontle rojo (roca volcánica con granulometría de 1 a 8 mm).

Los tratamientos (Cuadro 1), fueron cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner (50, 75, 100 y 125 %), que corresponden a 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 dS m⁻¹ de conductividad eléctrica (Steiner, 1984).

Cuadro 1. Composición química de las soluciones nutritivas empleadas en el cultivo de arúgula (*Eruca sativa* Mill.) (Steiner, 1984).

Table 1. Chemical composition of the nutrient solutions used in the arugula crop (*Eruca sativa* Mill.) (Steiner, 1984).

Solución nutritiva de Steiner (%)	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻
	-----mEq L ⁻¹ -----					
50	4.50	3.50	2.0	6.0	0.50	3.50
75	6.75	5.25	3.0	9.0	0.75	5.25
100	9.00	7.00	4.0	12.0	1.00	7.00
125	11.25	8.75	5.0	15.0	1.25	8.75

El diseño experimental que se utilizó fue en bloques completos al azar con cuatro tratamientos y seis repeticiones. La unidad experimental fue de 5 plantas (30 plantas por tratamiento).

Para la preparación de las soluciones nutritivas se emplearon fertilizantes comerciales solubles que fueron nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de magnesio, sulfato de potasio y fosfato monopotásico. Los micro nutrientes se suministraron mediante la mezcla comercial Microsol Rexene[®] Mix SQM, a dosis de

4 g por cada 100 L de solución nutritiva. El pH de las soluciones nutritivas se ajustó con ácido sulfúrico a 5.5. Los riegos se aplicaron dos veces al día de acuerdo con los tratamientos. El volumen de riego fue de 0.5 L de solución nutritiva por planta por día desde el trasplante hasta los 10 ddt, después incrementó a 1.0 L hasta los 18 ddt y a 1.5 L por día hasta los 28 ddt.

VARIABLES EVALUADAS (MEDIDAS DIRECTAS)

El crecimiento del cultivo se evaluó mediante muestreos destructivos semanales de seis plantas por tratamiento, cada 7 días hasta los 28 ddt. En cada muestreo se determinó el área foliar (AF, cm²) con un medidor de AF (LI-COR® 3100). También se evaluó el peso de materia fresca por planta (PF, g), y el peso de materia seca por planta (PS, g), ambas se cuantificaron con una báscula digital (OHAUS®). Las muestras de materia fresca (tallos y hojas), se deshidrataron en una estufa a 67 °C con aire forzado hasta peso constante.

CÁLCULO DE ÍNDICES DE CRECIMIENTO (MEDIDAS INDIRECTAS)

Con los datos registrados del área foliar y materia seca, se estimaron los índices: tasa de asimilación neta (TAN) y tasa absoluta de crecimiento (TAC), con base en las ecuaciones del Cuadro 2.

Cuadro 2. Índices de crecimiento utilizados en el cultivo de arúgula.

Table 2. Growth indices used in the arugula crop.

Índice de crecimiento	Símbolo	Ecuación	Unidades
Tasa de asimilación neta	TAN	$TAN = \left(\frac{PS2 - PS1}{T2 - T1}\right) / \left(\frac{Ln AF2 - Ln AF1}{AF2 - AF1}\right)$	$g\ cm^{-2}\ dia^{-1}$
Tasa absoluta de crecimiento	TAC	$TAC = \frac{PS2 - PS1}{T2 - T1}$	$g\ dia^{-1}$

PS= peso de materia seca, AF= área foliar, T= tiempo, Ln= logaritmo natural.

A los datos obtenidos del área foliar, TAN, TAC, peso seco y fresco a los 28 ddt, se les realizó un análisis de varianza y comparación de medias por el método de Tukey ($\alpha \leq 0.05$), mediante el programa estadístico SAS. A las variables en estudio se les realizó un análisis de regresión y se obtuvo la ecuación correspondiente, con el programa Excel®, Microsoft Office.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El área foliar de arúgula aumentó a medida que se incrementaron las concentraciones de la solución nutritiva, en donde se observó una tendencia ascendente a partir de los 14 ddt (Figura 1). Las concentraciones de 100 y 125 % generaron los mayores valores de área foliar a los 28 ddt, los cuales mostraron diferencias significativas respecto a la concentración del 50%. Así, la concentración al 125 % produjo la mayor área foliar por día respecto a la concentración del 50, 75 y 100 %. Esta respuesta, se ajustó a un modelo polinómico de segundo grado. De acuerdo con Aguilar-Carpio et al. (2021), esta respuesta está asociada al estado nutricional de la planta el cual promovió un aumento en el aparato fotosintético y en consecuencia favoreció el tamaño de las hojas.

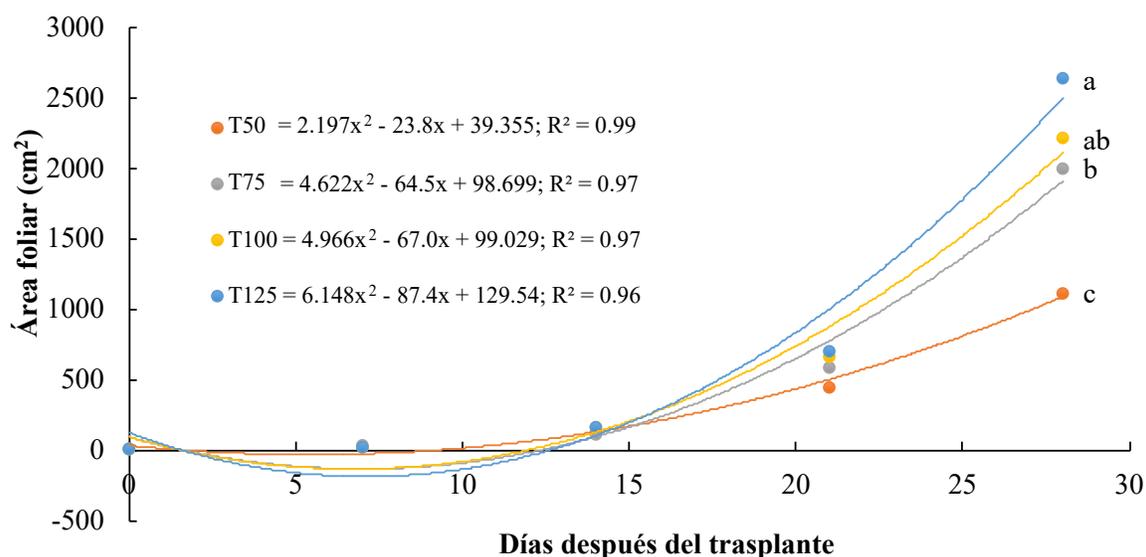


Figura 1. Área foliar del cultivo de arúgula en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner.

Figure 1. Leaf area of arugula as a function of the concentration of the Steiner nutrient solution.

En el peso fresco se observó que a partir del día 14 ddt, hubo un incremento acelerado de biomasa, en donde casi se duplicó el peso a los 28 ddt (Figura 2). Los mayores valores de materia fresca de arúgula se presentaron con las concentraciones 75, 100 y 125 % de la solución nutritiva de Steiner; siendo estadísticamente diferentes a la concentración al 50 %, a los 28 ddt, lo que permite definir que las soluciones nutritivas 75, 100 y 125 % son óptimas para el cultivo de

arúgula. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Juárez-Rosete et al. (2014), en el cultivo de menta (*Mentha spicata* L.), donde a los 40 ddt obtuvieron la mayor ganancia de peso en biomasa aérea con la solución nutritiva a 125 % de concentración.

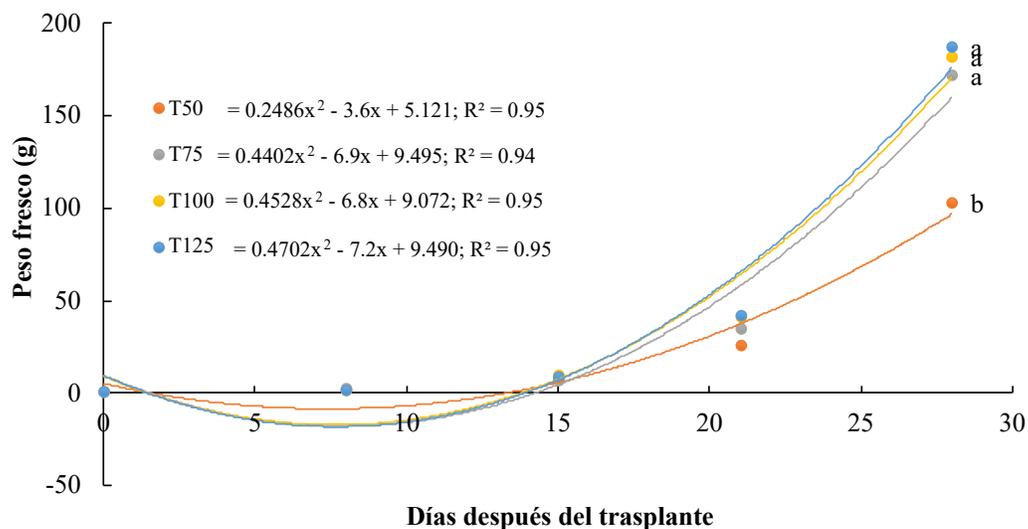


Figura 2. Peso de materia fresca del cultivo de arúgula en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner.

Figure 2. Fresh matter of arugula as a function of the concentration of the Steiner nutrient solution.

La mayor TAN se observó con la solución nutritiva al 125 % (Figura 3), el cual mostró diferencias significativas a las concentraciones de 75 y 100 %, que presentaron valores casi similares. A partir de los 21 ddt se observa una eficiencia fotosintética alta con una elevada acumulación de materia seca de hojas y tallos. De acuerdo con lo reportado por Colorado et al. (2010) en arúgula, la TAN está influenciada por el área foliar, ya que estos autores reportaron que, a mayor área foliar, mayor TAN y que factores como el número de hojas, el área foliar, la nutrición, así como la morfología de la planta favorece la incidencia de la radiación debido a que las reacciones bioquímicas se aceleran al aumentar la temperatura y el número de hojas por planta.



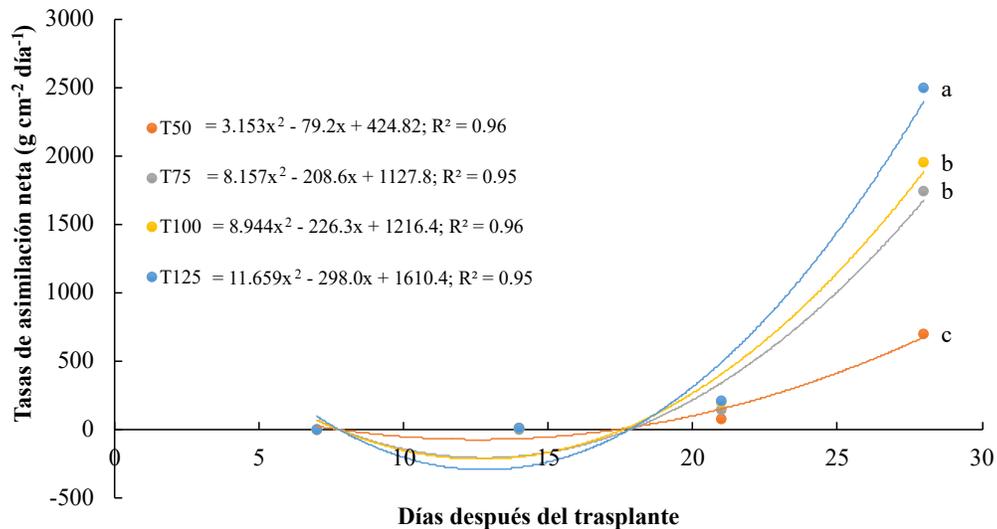


Figura 3. Tasa de asimilación neta del cultivo de arúgula en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner.

Figure 3. Net assimilation rate of arugula as a function of the concentration of the Steiner nutrient solution.

La TAC (Figura 4) presentó mayor acumulación de materia seca por día, con las concentraciones de la solución nutritiva de Steiner al 75, 100 y 125 %, siendo significativas a la concentración del 50%, a los 28 ddt. Para todos los tratamientos el crecimiento fue lento en un inicio (hasta 21 ddt), esto se reflejó en una lenta acumulación de materia seca que aumentó a medida que transcurrió el tiempo. Cabe señalar, que la más alta acumulación de materia seca por día se registró con la solución al 125 %, la cual fue casi similar a la concentración del 75 y 100 %. Aguilar-Carpio et al. (2021) observaron que en el cultivo de epazote la más alta acumulación de materia seca por día se presentó a los 74 dds con la solución nutritiva de Steiner al 100 %, en comparación con la concentración al 75 % y al 50 %.

Los mayores valores del peso seco (Figura 5) se presentaron en las concentraciones 75, 100 y 125 %, los cuales fueron significativos a la solución al 50%, a los 28 ddt. Esto indica que la mayor disponibilidad de nutrientes promovió la acumulación de materia seca generada por un incremento en la actividad metabólica (Farias & Tasquetto, 2023). Estos resultados coinciden con los de Juárez-Rosete et al. (2014) quienes obtuvieron la mayor ganancia de materia seca con la concentración de la solución nutritiva al 75, 100 y 125 % en menta.

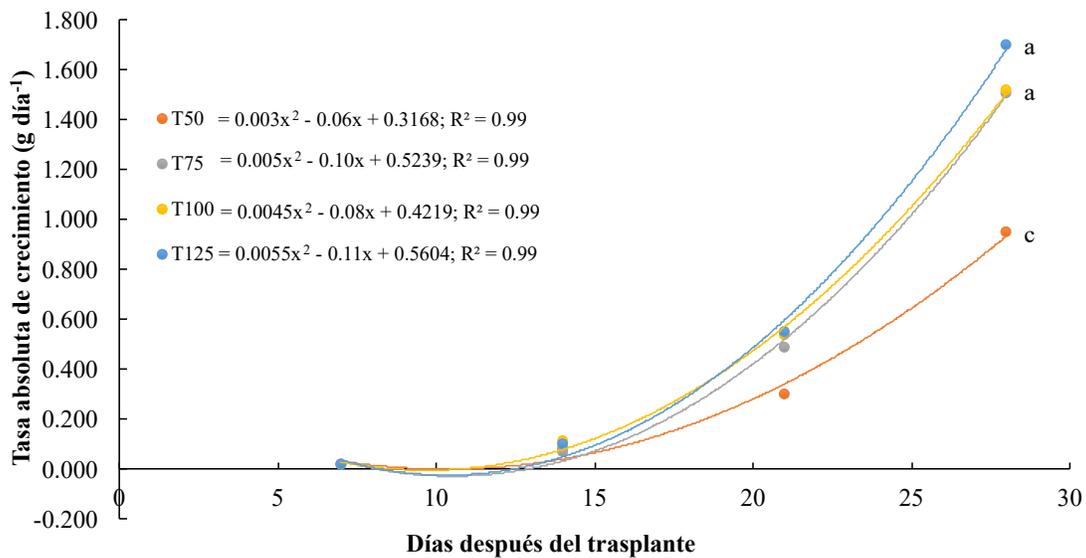


Figura 4. Tasa absoluta de crecimiento del cultivo de arúgula en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner.

Figure 4. Absolute growth rate of arugula as a function of the concentration of the Steiner nutrient solution.

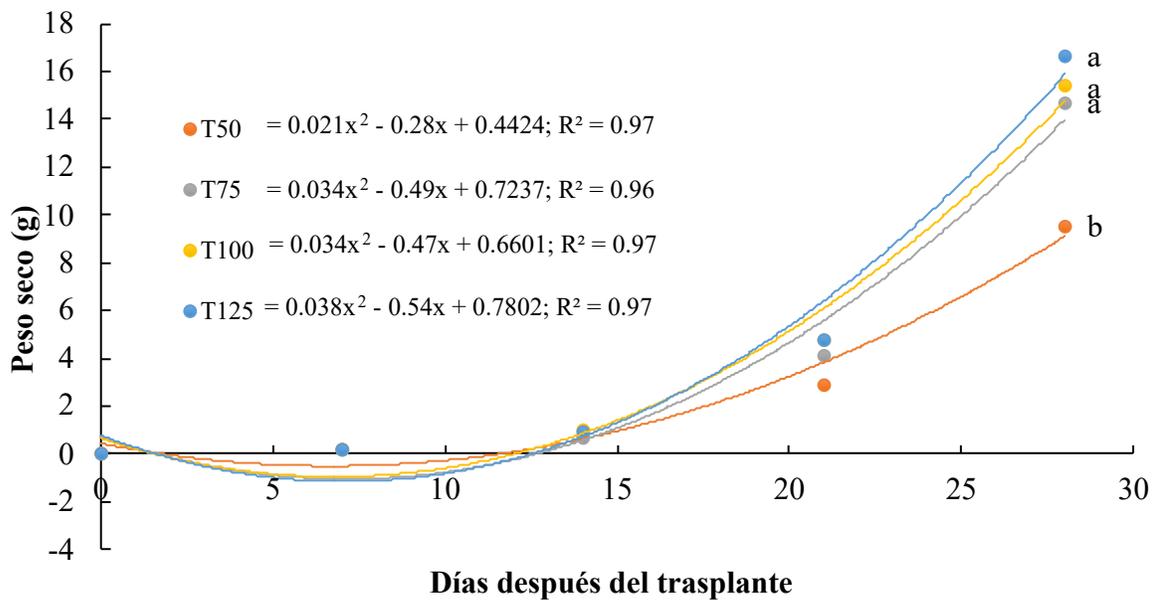


Figura 5. Peso de materia seca del cultivo de arúgula en función de la concentración de la solución nutritiva de Steiner.

Figure 5. Dry matter weight of the arugula crop as a function of the concentration of the Steiner nutrient solution.

CONCLUSIÓN

La solución nutritiva de Steiner a concentraciones de 75, 100 y 125 % mejoraron el área foliar y la producción de materia fresca y seca; sin embargo, la concentración de 75 % resulta más favorable debido a que representa menor uso de fertilizantes para la producción de arúgula en sustrato y en condiciones de invernadero. Las tasas de asimilación neta y tasa absoluta de crecimiento se ajustaron a un modelo polinomial de segundo grado.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Carpio, C., González-Maza, S. V., Juárez-López, P., Alia-Tejacal, I., Palemón-Alberto, F., Arenas-Julio, Y. R., & Escalante-Estrada, J. A. S. (2021). Análisis de crecimiento de epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.) cultivado en invernadero. *Biotecnia*, 23(2), 113–19.
- Barraza, A., Benavides, B., & Tamayo, Y. (2015). Análisis de crecimiento del cultivo de balsamina (*Momordica charantia* L.) en semillero. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(1), 24.
- Barrientos-Llanos, H., Del Castillo-Gutiérrez, C. R., & García-Cárdenas, M. (2014). Análisis de crecimiento funcional, acumulación de biomasa y traslocación de materia seca de ocho hortalizas cultivadas en invernadero. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, La Paz*, 2(1), 7-118.
- Colorado, F., Rodríguez, D., & Cortés, J. (2010). Análisis de crecimiento de rúgula (*Eruca sativa* Mill.) en la Sabana de Bogotá, bajo dos condiciones ambientales. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 13(1), 105-113.
- CONABIO. (2009). Malezas de México (*Eruca sativa* Mill.) Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F., México.
- Elsadek, M. F., El-Din, M. E., & Ahmed, B. M. (2021). Evaluation of anticarcinogenic and antioxidant properties of *Eruca sativa* extracts versus ehrlich ascites carcinoma in mice. *Journal of King Saud University – Science*, 33(4), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101435>
- Farias, M. J., & Taschetto, F. T. (2023). Efecto de diferentes densidades de siembra y sustratos en el crecimiento de plántulas de rúcula. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 17(1), 1-10. <https://doi.org/10.17584/rcch.2023v17i1.15648>
- Grasso, R., Ortiz-Mackinson, M., Rotondo, R., Mondino, M. C., Calani, P., Firpo, I., Balaban, D., & Vita-Larieu, E. (2017). Productividad de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) en diferentes sistemas productivos. *Agromensajes*, 47, 30-35.
- Jasper, J., Wagstaff, C., & Bel, L. (2020). Growth temperature influences postharvest glucosinolate concentrations and hydrolysis product formation in first and

second cuts of rocket salad. *Postharvest Biology and Technology*, 163(2), m 111-157.

Juárez-Rosete, C., Olivo-Rivas, A., Aguilar-Castillo, J. A., Bugarín-Montoya, R., & Arrieta-Ramos, B. G. (2014). Nutrition assessment of N-P-K in mint (*Mentha spicata* L.) cultivated in soilless system. *Annual Research & Review in Biology*, 4(15), 2462–70.

Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. In Proc. 6th International Congress on Soilless Culture (pp: 633-649). ISOSC. Wageningen, The Netherlands.

