



Análisis de crecimiento de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) en respuesta a la concentración de nitrógeno †

[Basil (*Ocimum basilicum* L.) growth analysis in response to nitrogen concentration]

Cid Aguilar-Carpio¹, Porfirio Juárez-López^{2*}, Irán Alia-Tejagal²,
Víctor López-Martínez², Adriana Pérez-Ramírez²
and José Alberto Salvador Escalante-Estrada¹

¹Programa de Botánica. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Estado de México, México.

²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México. C.P. 62210. E-mail: porfirio.juarez@uaem.mx

*Corresponding author

SUMMARY

Background: Basil (*Ocimum basilicum* L.) is an aromatic and medicinal plant that can be grown in greenhouses due to its economic importance and demand in national and international markets, while nitrogen is an essential nutrient for plants and the most required element in leafy vegetables. **Objective:** To evaluate the effect of different nitrate levels in the Steiner nutrient solution on the growth of basil grown under greenhouse conditions. **Methodology:** The study was conducted in Cuernavaca, Morelos, Mexico. The crop used was 'Nufar' basil, to which the Steiner nutrient solution was applied at different nitrate levels: 0, 4, 8, 12, and 16 mEq L⁻¹. The crop growth was evaluated with destructive sampling carried out at 7, 14, 21, 28, 35, and 42 days after transplanting. In each sampling, leaf area, dry and fresh matter, absolute growth rates, relative growth rates, net assimilation rates, and leaf area ratio were measured and calculated. The variables were subjected to regression analysis using Excel[®] software. **Results:** The highest dry matter production, absolute growth rate, relative growth rate, and leaf area ratio were obtained with nitrate levels of 16 and 12 mEq L⁻¹; for leaf area and fresh matter, the highest was with a dose of 16 mEq L⁻¹ of nitrates, at 42 DAT. Growth indices indicate that the highest daily dry matter and leaf area production was achieved with a nitrate level of 16 mEq L⁻¹. **Implications:** The results of this study are limited to basil cultivation under greenhouse conditions and for the cultivar used. **Conclusions:** Based on the results and the conditions under which the study was conducted, it is suggested to use the Steiner nutrient solution at 12 and 16 mEq L⁻¹ of nitrate to obtain the highest growth and production in basil crops.

Key words: mineral nutrition; biomass; aromatic plant; production.

RESUMEN

Antecedentes: La albahaca (*Ocimum basilicum* L.) es una planta aromática y medicinal, que puede ser una alternativa de producción en condiciones de invernadero, por su importancia económica y a su demanda en los mercados nacional e internacional, mientras que el nitrógeno es un nutriente esencial para las plantas y el elemento más requerido en hortalizas de hoja. **Objetivo:** Evaluar el efecto de diferentes niveles de nitratos de la solución nutritiva Steiner sobre el crecimiento de albahaca bajo condiciones de invernadero. **Metodología:** El estudio se realizó en Cuernavaca, Morelos, México. El cultivo utilizado fue albahaca 'Nufar' en donde se aplicó la solución nutritiva de Steiner a diferentes niveles de nitrato 0, 4, 8, 12 y 16 mEq L⁻¹. El crecimiento del cultivo se evaluó mediante muestreos destructivos a los 7, 14, 21, 28, 35 y 42 días después del trasplante; en cada muestreo se midió y calculó el área foliar, materia seca y fresca, tasas absolutas de crecimiento, tasa relativa de crecimiento, tasa de asimilación neta y razón de área foliar. A las variables se les realizó un análisis de regresión con el programa Excel[®]. **Resultados:** La mayor producción de materia seca, tasa absoluta de crecimiento, tasa relativa de crecimiento y razón de área foliar se obtuvo con los niveles de nitratos a 16 y 12 mEq L⁻¹, para al área foliar y materia fresca la más alta fue con 16 mEq L⁻¹ de

† Submitted August 20, 2025 – Accepted April 16, 2026. <http://doi.org/10.56369/tsaes.6544>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = C. Aguilar-Carpio: <http://orcid.org/0000-0003-0318-4653>; P. Juárez-López: <http://orcid.org/0000-0002-4241-1110>; I. Alia-Tejagal: <http://orcid.org/0000-0002-2242-2293>; V. López-Martínez: <http://orcid.org/0000-0002-9328-8810>; A. Pérez-Ramírez: <http://orcid.org/0009-0002-2960-9859>; J.A.S. Escalante-Estrada: <http://orcid.org/0000-0003-1529-2803>

nitratos, a los 42 ddt. Los índices de crecimiento señalan que con el nivel de nitrato a 16 mEq L⁻¹ se obtiene la mayor producción de materia seca y área foliar por día. **Implicaciones:** Los resultados del presente trabajo están limitados al cultivo de la albahaca en condiciones de invernadero y para el cultivar utilizado. **Conclusión:** De acuerdo con los resultados encontrados y las condiciones en que se realizó el estudio, se sugiere emplear la solución nutritiva de Steiner a 12 y 16 mEq L⁻¹ de nitrato para obtener el mayor crecimiento y producción en el cultivo de albahaca.

Palabras clave: nutrición mineral; biomasa; planta aromática; producción.

INTRODUCCIÓN

La albahaca (*Ocimum basilicum* L.) es una planta aromática, medicinal y de usos culinarios, que pertenece a la familia Lamiaceae. Presenta diversos usos farmacéuticos por sus propiedades diuréticas, antioxidantes, digestivos entre otros (Reyes *et al.*, 2014; Ruiz *et al.*, 2016; Aguilar *et al.*, 2023). En México se siembran a nivel nacional de 354.6 ha de albahaca, con una producción durante el año de 2,859.8 t y un rendimiento promedio de 8.0 t ha⁻¹. Los estados productores son Baja California Sur, Puebla, Morelos, Nayarit y Baja California. De los cuales, el estado de Morelos ocupa el tercer lugar en producción con 365 t y un rendimiento promedio de 7.0 t ha⁻¹ (SIAP, 2024). Actualmente, se ha observado que la albahaca presenta una alta demanda en el mercado nacional e internacional, siendo los Estados Unidos de America el principal mercado de exportación (Yépez-Hernández *et al.*, 2016; Flórez-Martínez *et al.*, 2025), por lo que, es indispensable elevar la producción de esta especie, lo que generaría un mayor ingreso para los agricultores.

Para lograr lo antes mencionado, es fundamental estudiar el crecimiento y producción de la planta, para así mejorar la productividad del cultivo; comprender como y cuando crece una planta permite entender aspectos fenológicos y fisiológicos de la misma. Técnicas como el análisis de crecimiento de plantas ha sido usado ampliamente para el estudio de los factores (nutrición mineral) que influyen en el desarrollo de la planta, a través del seguimiento de la acumulación del peso durante el ciclo del cultivo (Aguilar-Carpio *et al.*, 2021). El análisis de crecimiento usa medidas directas como el peso de la materia seca, la cual depende del tamaño, actividad y duración del área foliar (Rakesh *et al.*, 2017). El crecimiento de la planta es el aumento de tamaño, y se incrementa mediante condiciones favorables (humedad, nutrientes y temperatura adecuados, etc.) y disminuye mediante condiciones de estresantes (temperaturas anormales, deficiencias en nutrientes, humedad, etc.) (Di Benedetto y Tognetti, 2016). Por lo que, un manejo adecuado de la nutrición asegura que la planta tenga los nutrientes necesarios para un crecimiento óptimo y una mejor calidad del producto a cosechar (Valentín *et al.*, 2013; Aguilar *et al.*, 2023). Solo ciertos elementos son esenciales para las plantas, dentro de ellos el nitrógeno es el elemento mineral más requerido por las plantas para su crecimiento y desarrollo, por ser un componente estructural de los aminoácidos, ácidos nucleicos,

nucleótidos, coenzimas, proteínas, clorofila, entre otros (Ontiveros-Capurata *et al.*, 2022; Taiz *et al.*, 2024). La albahaca al ser un cultivo cosechado por su parte aérea (hojas), necesita del constante suministro de nitrógeno para su máxima producción, una deficiencia del elemento generaría plantas pequeñas y amarillentas (Yépez-Hernández *et al.*, 2016; Combatt *et al.*, 2018).

Existen diversos estudios en albahaca relacionados a la producción con el uso de sustratos orgánicos (Moncayo *et al.*, 2015; Vázquez-Vázquez *et al.*, 2015; Ruiz *et al.*, 2016), evaluación de variedades de albahaca en condiciones salinas (Reyes *et al.*, 2014; Siura *et al.*, 2014; Ojeda-Silvera *et al.*, 2015), así como la distribución de la biomasa por efecto del nitrógeno y potasio (Yépez-Hernández *et al.*, 2016; Combatt *et al.*, 2018; Combatt-Caballero *et al.*, 2020). Sin embargo, los antecedentes indican que los estudios acerca del análisis de crecimiento en función de la nutrición nitrogenada en albahaca son escasos, implementar este tipo de estudios fortalecería la optimización del manejo agronómico de este cultivo, lo que permite ajustar el riego y nutrición nitrogenada dependiendo las necesidades de la planta, así como predecir la máxima producción, al saber cuándo la planta alcanza su mayor tasa de crecimiento y época adecuada para cosechar. Con los resultados obtenidos se pueden establecer modelos que ayuden en la predicción del rendimiento, así como a planificar futuras plantaciones. Por consiguiente, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de diferentes niveles de nitratos de la solución nutritiva Steiner sobre el crecimiento de albahaca bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y establecimiento del experimento

El experimento se realizó en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, que se localiza en Cuernavaca, Morelos, México (18° 58' 51" latitud norte y 99° 13' 55" longitud oeste a 1866 msnm). En invernadero tipo túnel de plástico color blanco, sombreado (30%) y malla anti-áfidos. El 05 de abril de 2021 se sembraron semillas de albahaca "Nufar" de la empresa Johnny's Selected Seeds® en charolas de germinación de 200 cavidades, se utilizó sustrato de musgo de turba, perlita y vermiculita para la germinación (BM2 Berger®), en donde se colocó una semilla por cavidad. El trasplante se realizó a los 30

días después de la siembra en bolsas de polietileno de 8 L de capacidad, con sustrato de tezontle rojo (granulometría de 1 a 10 mm).

Tratamientos

Los tratamientos se formularon con base en la solución nutritiva universal de Steiner (Steiner, 1984). Se evaluaron cinco concentraciones de nitrato: 0, 4, 8, 12 y 16 meq·L⁻¹ (Mercado-Luna, 2010). En todos los tratamientos se mantuvo constante el balance catiónico, con 7 meq L⁻¹ de K⁺, 9 meq·L⁻¹ de Ca²⁺ y 4 meq L⁻¹ de Mg²⁺. En el balance aniónico se conservó 1 meq L⁻¹ de H₂PO₄⁻, mientras que el SO₄²⁻ se utilizó como ion de ajuste para mantener la electroneutralidad de la solución nutritiva (20 aniones y 20 cationes) (Steiner, 1984). Las fuentes de fertilizantes comerciales empleadas fueron nitrato de calcio tetrahidratado Ca(NO₃)₂·4H₂O, nitrato de potasio (KNO₃), sulfato de potasio (K₂SO₄), sulfato de magnesio heptahidratado (MgSO₄·7H₂O), sulfato de calcio dihidratado (CaSO₄·2H₂O), nitrato de magnesio hexahidratado (Mg(NO₃)₂·6H₂O) y fosfato monopotásico (KH₂PO₄). La cantidad de cada fertilizante se calculó con base en su peso molecular y en la concentración iónica deseada para cada tratamiento. En la tabla 1 se presenta la composición química de los tratamientos con base en la solución nutritiva de Steiner.

Los micronutrientes se aplicaron en las siguientes dosis, en mg L⁻¹: Fe (3), Mn (1.48), Zn (0.24), Cu (0.12), B (0.16) y Mo (0.08), esas concentraciones se suministraron mediante la aplicación de 40 mg L⁻¹ de una mezcla comercial quelatada (Ultrasol[®] Micro Rexene[®] BSP Mix, SQM) (Juárez-López *et al.*, 2025). Cabe mencionar que el agente quelatante de los micronutrientes es el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA, por sus siglas en inglés). Después de agregar los micronutrientes a las soluciones nutritivas (tratamientos) el pH se ajustó entre 5.6 y 6.0 con ácido sulfúrico. Las plantas de albahaca se regaron manualmente con 0.5 L por planta durante los primeros 7 días, con 1.0 L del día 8 al 21, y con 1.5 L del día 22 al 42, de acuerdo con lo recomendado por Mendoza-Tafolla *et al.* (2022) y Vázquez-Vázquez *et al.* (2015). Se consideró un volumen de drenaje de 15 a 20 % para evitar la acumulación de sales.

Diseño experimental y variables evaluadas

El diseño experimental fue completamente al azar con cinco tratamientos y seis repeticiones. La unidad experimental se conformó de 7 bolsas de polietileno color negro, en donde cada bolsa contenía una planta de albahaca. En el estudio se utilizaron un total de 210 plantas.

Durante el ciclo del cultivo se midió la temperatura (°C) y humedad relativa (%) en el invernadero con un registrador de datos ambientales Hobo Modelo U12-012 (Onset[®]). El crecimiento de la planta se evaluó en función de los cinco niveles de nitratos de la solución nutritiva, mediante muestreos destructivos de 6 plantas por tratamiento a los 0, 7, 14, 21, 28, 35 y 42 días después del trasplante (ddt); en cada muestreo se midió el área foliar, con un medidor de área (LI-COR[®] 3100), el peso fresco y seco por planta (g) obtenido con una báscula digital (OHAUS[®]), con aproximación de 0.0001 g. Las muestras obtenidas se introdujeron en un horno de secado con aire de circulación forzado durante 72 horas a 70 °C. Con los datos de área foliar y materia seca se calculó la tasa absoluta de crecimiento (TAC, g día⁻¹), tasa de asimilación neta (TAN, g cm⁻² día⁻¹) tasa de crecimiento relativo (TCR, g g⁻¹ día⁻¹) y razón de área foliar (RAF, cm² g⁻¹), mediante las siguientes ecuaciones (Escalante y Kohashi, 2015):

$$TAC = \frac{PS_2 - PS_1}{T_2 - T_1}$$

Dónde: PS_2 y PS_1 indican el peso de la materia seca de la planta en los tiempos T_2 y T_1 , respectivamente.

$$TAN = \left(\frac{PS_2 - PS_1}{AF_2 - AF_1} \right) \left(\frac{\ln AF_2 - \ln AF_1}{T_2 - T_1} \right)$$

Dónde: PS_2 y PS_1 representan el peso de la materia seca total de la planta, el $\ln AF_2$ y $\ln AF_1$ indican el logaritmo natural del área foliar (AF) de la planta en los tiempos T_2 y T_1 , respectivamente.

Tabla 1. Composición química de los tratamientos con base en la solución nutritiva de Steiner.

Tratamiento	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺
	-----mEq L ⁻¹ -----					
1	0	1	19	9	7	4
2	4	1	15	9	7	4
3	8	1	11	9	7	4
4	12	1	7	9	7	4
5	16	1	3	9	7	4

$$TCR = \left(\frac{\ln PS_2 - \ln PS_1}{T_2 - T_1} \right)$$

Dónde: $\ln PS_2$ y $\ln PS_1$ indican el logaritmo natural del peso de la materia seca total de la planta en los tiempos T_2 y T_1 , respectivamente.

$$RAF = \frac{(AF_1 / PS_1) + (AF_2 / PS_2)}{2}$$

Dónde: PS y AF indican el peso de la materia seca y área foliar de la planta en los tiempos T_2 y T_1 , respectivamente.

Análisis estadísticos

Los datos obtenidos de la materia seca, área foliar y materia fresca a los 42 ddt, se les realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias por el método de Tukey ($\alpha \leq 0.05$), mediante el programa estadístico SAS. Asimismo, un análisis de regresión fue aplicado a los datos de las variables evaluadas, en donde se obtuvo el modelo correspondiente de acuerdo con el mejor ajuste definido por el coeficiente de determinación (R^2), el cual señala que valores cercanos a uno indican un ajuste perfecto, esto analizado con el programa Excel®, Microsoft Office 2023 de Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura y humedad relativa

En el transcurso del estudio, las temperaturas que se presentaron fueron entre 40 y 14 °C, mientras que para la humedad relativa fue de 80 y 40 % correspondientes a máxima y mínima, respectivamente. Dichas condiciones ambientales se relacionan con las de Reyes *et al.* (2020) y Aguilar *et al.* (2023) quienes, en el cultivo de albahaca establecido en invernadero, reportaron temperaturas que osciló entre 42 a 10 °C, con humedad relativa de 73 a 80%. Lo que indica condiciones ambientales adecuadas para el crecimiento de la albahaca.

Materia seca, tasa absoluta del crecimiento y tasa relativa de crecimiento relativo

Para la materia seca, con la aplicación de 16 y 12 mEq L⁻¹ no se observaron diferencias significativas (13.2 y 12.5 g, respectivamente), pero sí en comparación a la aplicación de 8, 4 y 0 mEq L⁻¹, a los 42 ddt ($P \leq 0.05$) (Figura 1). El peso de la planta presentó un crecimiento ascendente en relación con los niveles de nitratos hasta cierto punto, esto se adecuó a un modelo cuadrático. En donde se observa, que la más alta producción de materia seca por planta por día fue de 0.039 g con las dosis de 16 mEq L⁻¹ de NO₃, seguido de la dosis de 12,

8, 4 y 0 mEq L⁻¹ de NO₃. Esta respuesta muestra que la generación de la materia seca está directamente relacionada con la disponibilidad y aprovechamiento de los nutrientes en el suelo o en el medio de cultivo, ya que, el nitrógeno es el elemento más importante y fundamental en el crecimiento y producción de la planta (Taiz *et al.*, 2024). Por su parte, Combatt-Caballero *et al.* (2020) reportaron un incremento en la materia seca con el aumento de nitrógeno en las plantas de albahaca. En contraste, Yépez-Hernández *et al.* (2016) observaron en albahaca una producción limitada de materia seca por efecto de diferentes concentraciones de nitrógeno, lo cual posiblemente se deba al sustrato utilizado y tiempo de aplicación (120 ddt), el exceso nutriente y principalmente el nitrógeno influyo de forma negativa en la producción de biomasa en el cultivo de albahaca.

La mayor tasa absoluta de crecimiento (TAC) se observó a los 42 ddt (Figura 2), con la dosis de 16 mEq L⁻¹ de NO₃ (0.63 g día⁻¹), efecto que también se vislumbró durante el ciclo de desarrollo de las plantas. La TAC se ajustó a un modelo polinómico de segundo grado, donde la aplicación de 8 mEq L⁻¹ de NO₃ presentó el mayor incremento en la materia seca por día de 0.009 g, lo que demuestra un mejor aprovechamiento de los nutrientes, esto se relaciona con un aumento en la actividad fotosintética que es el proceso responsable de producir materia seca (Taiz *et al.*, 2024). Al respecto, Aguilar-Carpio *et al.* (2021) en epazote, reportaron la mayor TAC con la aplicación de la solución de Steiner al 100 % en comparación al 75 y 50%. Cabe indicar, que la menor TAC se encontró con el uso de 0 mEq L⁻¹, con una producción de materia seca de 0.008 g día⁻¹. En relación con lo anterior Reyes *et al.* (2020) registraron una TAC de 0.024 g día⁻¹ en un sustrato de peat moss + perlita sin aplicación de nutrientes, a los 60 días.

La máxima tasa relativa de crecimiento (Figura 3) se presentó a los 21 ddt con la aplicación de 16 mEq L⁻¹ de NO₃ (0.066 g día⁻¹), en el cual, se observó el mayor incremento en la materia seca por unidad de peso por día (0.0074 g día⁻¹), esto indica, que dicho tratamiento promovió una mayor velocidad de producción de materia seca por materia existente (Escalante y Kohashi, 2015; Rakesh *et al.*, 2017). Cabe mencionar, que la menor TRC se registró con 0 mEq L⁻¹ de NO₃, ya que la velocidad de producción por día fue de 0.0054 g día⁻¹, lo que señala que la nula disponibilidad de los nutrientes se reflejó en una deficiencia nutricional en la planta de albahaca. Cabe mencionar, que los datos se acoplaron a un modelo de tercer grado. Lo previo, concuerda con lo encontrado por Combatt *et al.* (2018) quienes obtuvieron el mayor peso del dosel vegetal con la aplicación creciente de nitrógeno en plantas de albahaca.

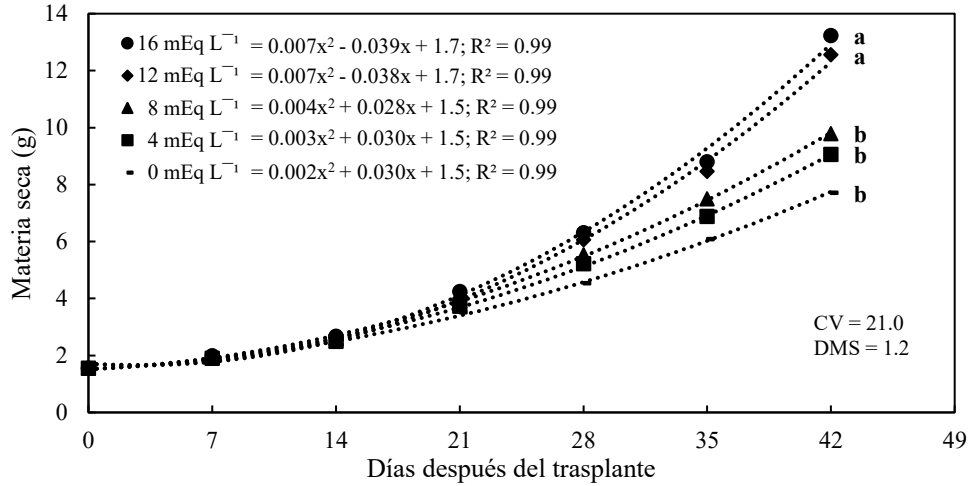


Figura 1. Efecto de la concentración de NO₃ de la solución nutritiva Steiner en la materia seca de plantas de albahaca.

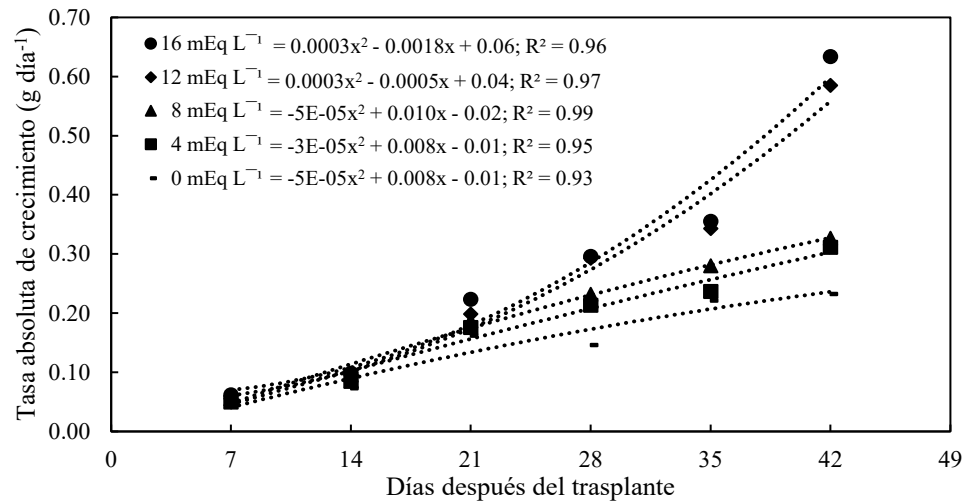


Figura 2. Efecto de la concentración de NO₃ de la solución nutritiva Steiner en la tasa absoluta de crecimiento de plantas de albahaca.

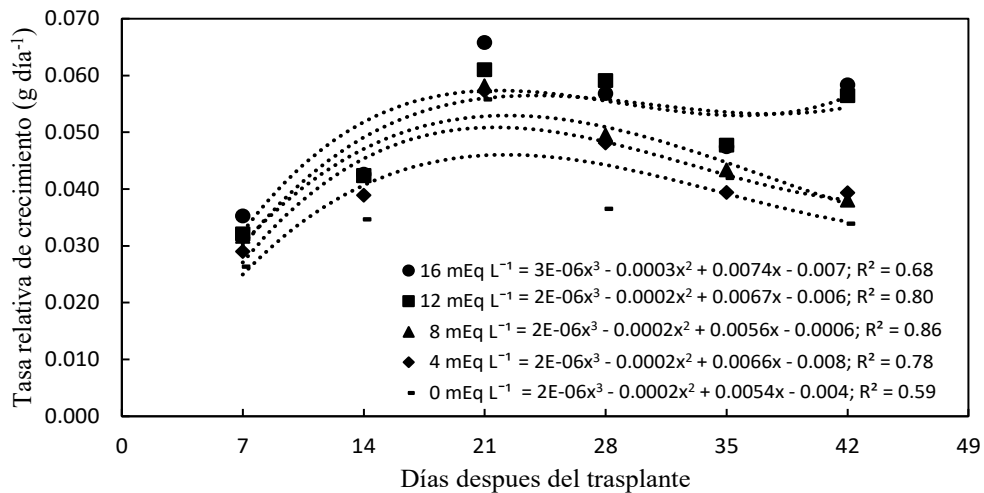


Figura 3. Dinámica de la tasa relativa de crecimiento en función de la concentración de NO₃ de la solución nutritiva Steiner en plantas de albahaca.

Área foliar, tasa de asimilación neta y razón de área foliar

El área foliar aumentó por el efecto de las concentraciones de nitratos de la solución nutritiva (Figura 4). Esta respuesta a los niveles de nitratos se adecuó a un modelo cuadrático. Puede apreciarse que con 16 mEq L⁻¹ de NO₃ se produjo la mayor área foliar por día (0.84 cm²), respecto a las demás concentraciones. El incremento en los niveles de nitrato influyó en el área foliar, lo cual se relaciona con el aumento en el dosel vegetal, que es un indicador de la calidad del producto comercial (tamaño y número de hojas) (Siura *et al.*, 2014; Moncayo *et al.*, 2015; Yépez-Hernández *et al.*, 2016). Cabe mencionar, que el máxima dosel foliar se observó a los 42 ddt con la aplicación de 16 mEq L⁻¹ (173 cm²), estadísticamente fue diferente a los demás niveles de nitratos. Lo anterior señala, que la aplicación nitrógeno promueve un aumento en el área foliar, lo que directamente se relaciona con una mayor fotosíntesis, siendo uno de los procesos fundamentales de la planta para producir biomasa u hojas, además de impulsar la división celular, lo que genera hojas más grandes capaces de captar una alta energía lumínica (Fathi, 2022).

Los niveles de nitrato utilizados generaron un aumento en la tasa de asimilación neta (Figura 5), en donde la aplicación de 16 mEq L⁻¹ de NO₃ promovió una mayor producción de materia seca en las plantas de albahaca, en relación con los demás tratamientos, a los 21 ddt; tendencia que también se observó durante el crecimiento de la planta. Los valores se adaptaron a un

modelo polinómico de tercer grado. Es relevante mencionar, que los modelos en la figura indican que la más alta producción de materia seca por unidad de área foliar se obtuvo con 16 mEq L⁻¹ y fue de 0.0014 g cm⁻² día⁻¹. Lo expuesto señala, que la disponibilidad de nitratos generó una mayor eficiencia para producir materia seca en las plantas de albahaca a través de la fotosíntesis (Escalante y Kohashi, 2015; Yépez-Hernández *et al.*, 2016; Taiz *et al.*, 2024). Cabe mencionar, que entre los niveles de 4 y 8 mEq L⁻¹ de NO₃ no mostraron diferencia en la eficiencia para producir materia seca por día, ya que esta fue de 0.0010 g cm⁻² día⁻¹, respectivamente.

En cuanto a la RAF (Figura 6), se observó que a los 35 ddt se presentaron los valores más altos con la aplicación de 16 mEq L⁻¹. Es importante indicar, que los datos se ajustaron a un modelo de segundo orden, donde se observa que la aplicación de 16 y 12 mEq L⁻¹ generaron la mayor RAF por día (0.19 cm² g⁻¹), contrario a la aplicación de 4 y 0 mEq L⁻¹ por presentar los resultados más bajos (0.06 cm² g⁻¹). Esto señala, que el suministro de nitrógeno es indispensable para lograr un incremento en el grosor y tamaño de la hoja, lo que se relaciona con una mayor capacidad por la planta para realizar el proceso de la fotosíntesis (Escalante y Kohashi, 2015; Taiz *et al.*, 2024). Estos resultados coinciden con lo reportado por Yépez-Hernández *et al.* (2016) y Combatt *et al.* (2018) quienes encontraron que el peso de las hojas aumenta con relación a la adición creciente de nitrógeno en plantas de albahaca.

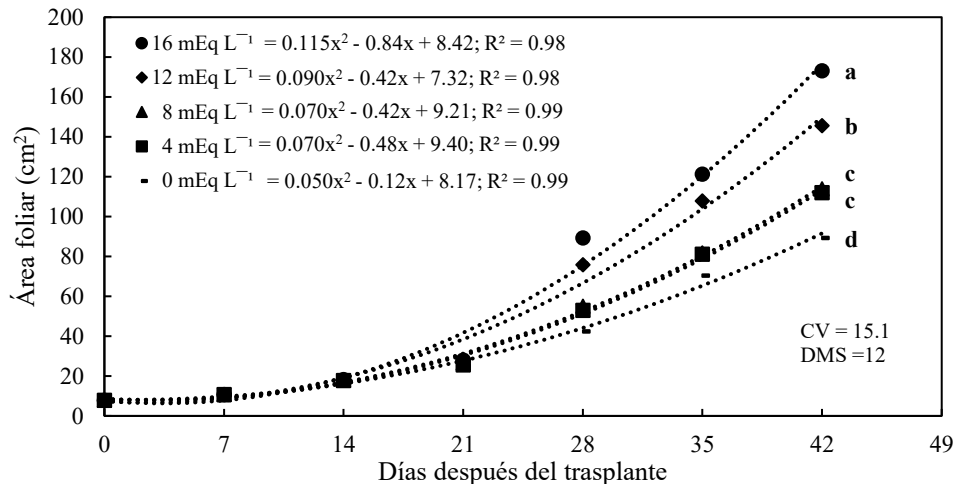


Figura 4. Efecto de la concentración de NO₃ de la solución nutritiva Steiner en área foliar de plantas de albahaca.

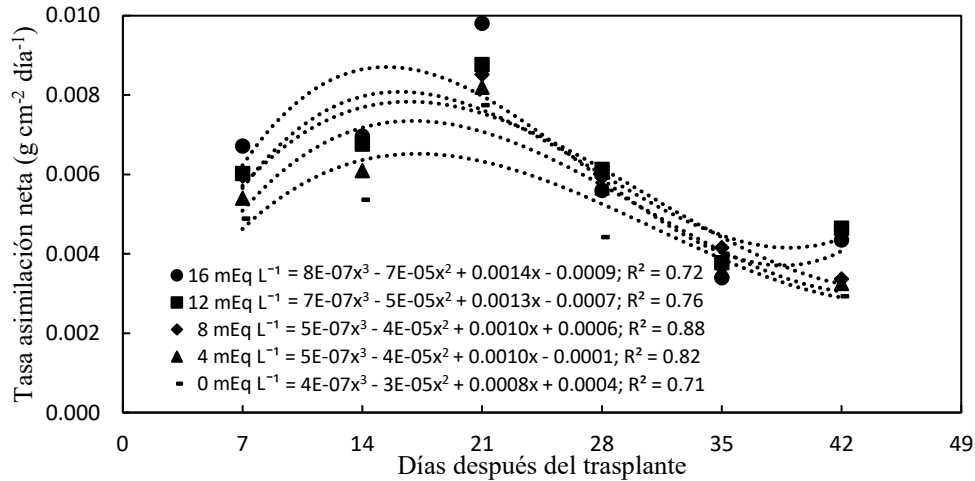


Figura 5. Efecto de la concentración de NO_3 de la solución nutritiva Steiner en la tasa de asimilación neta de plantas de albahaca.

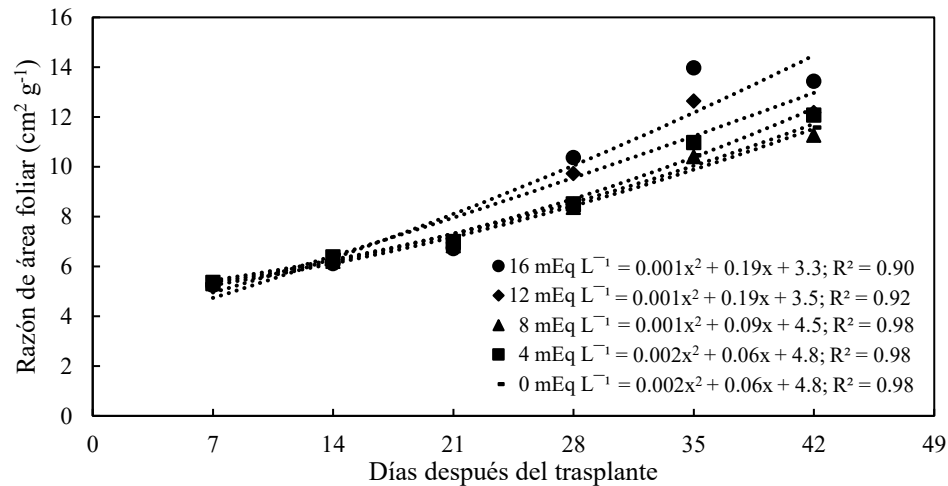


Figura 6. Dinámica de la razón de área foliar en función de la concentración de NO_3 de la solución nutritiva Steiner en plantas de albahaca.

Materia fresca

La materia fresca registrada a los 42 ddt, indica que la aplicación de 16 mEq L^{-1} (185.6 g por planta), mostró diferencias significativas respecto a los niveles de 12, 8, 4 y 0 mEq L^{-1} de NO_3 (Figura 7). Cabe mencionar, que los datos se ajustaron a un modelo cuadrático, el cual señala, que la mayor producción de materia fresca por día fue de 2.7 g con 16 mEq L^{-1} seguido de 12, 8, 4 y 0 mEq L^{-1} . A medida que se incrementaron los niveles de nitratos también se obtiene una mejor producción en la materia fresca de la planta de albahaca. Esta respuesta está influenciada por un aumento en el dosel vegetal provocado por la solución Steiner, que repercute en la expansión y peso foliar. Estos resultados confirman que la solución nutritiva puede afectar de manera significativa el crecimiento de las plantas de albahaca (Moncayo *et al.*, 2015). Al respecto, Vázquez-Vázquez *et al.* (2015) indican que

con la solución Steiner a 12 mEq L^{-1} de NO_3 presento un aumento en el peso fresco de hojas y tallo con respecto a los tratamientos sin aplicación química en plantas de albahaca.

En general, con la aplicación de 16 mEq L^{-1} de NO_3 se obtuvieron los mejores resultados en las variables registradas, en comparación a los niveles de 12, 8 y 4 mEq L^{-1} . Al respecto, muchos compuestos bioquímicos presentes en las células vegetales contienen nitrógeno, el cual se encuentra en los nucleósidos fosfato y los aminoácidos que son componentes básicos de los ácidos nucleicos y las proteínas, respectivamente. La mayoría de los agroecosistemas muestran un aumento considerable de la producción tras la fertilización nitrogenada, lo que demuestra la importancia de este elemento (Leghari *et al.*, 2016; Taiz *et al.*, 2024).

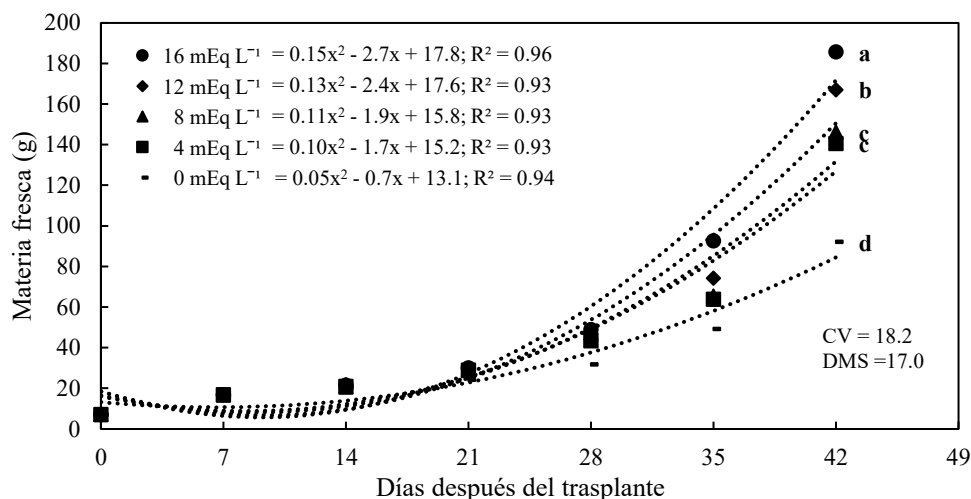


Figura 7. Efecto de la concentración de NO₃ de la solución nutritiva Steiner en la materia fresca de plantas de albahaca.

Los resultados obtenidos en el presente estudio tienen implicaciones prácticas relevantes para la producción de albahaca bajo condiciones de invernadero, ya que permiten establecer rangos óptimos de fertilización nitrogenada (de 12 a 16 mEq L⁻¹ de nitrato) que maximizan el crecimiento y la acumulación de biomasa. Esto contribuye a mejorar el rendimiento comercial, la calidad del producto y la eficiencia del sistema productivo. Asimismo, la información generada facilita la programación del manejo del cultivo y la toma de decisiones en fertirriego, promoviendo sistemas de producción más eficientes y técnicamente sustentados. No obstante, es necesario considerar el monitoreo de la solución nutritiva para evitar posibles efectos negativos asociados al exceso de nitrógeno.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del presente estudio, la aplicación de la solución nutritiva de Steiner con 12 y 16 mEq L⁻¹ de nitrato favoreció significativamente el crecimiento, la producción de biomasa y en los índices de crecimiento (tasa absoluta y relativa de crecimiento, tasa de asimilación neta y razón de área foliar) en albahaca, donde destacó la dosis de 16 mEq L⁻¹ de nitrato por generar los valores más altos en materia seca y área foliar. Estos resultados confirman la importancia del nitrógeno en el funcionamiento fisiológico del cultivo y permiten establecer recomendaciones prácticas de nutrición nitrogenada en sistemas bajo invernadero, donde el uso de 12 a 16 mEq L⁻¹ de nitrato representa una estrategia viable para optimizar el rendimiento de esta especie aromática y medicinal.

Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Morelos por las instalaciones y las facilidades otorgadas para el desarrollo de la investigación.

Funding. This work did not receive any funding.

Conflict of interest: The authors declare that they have no conflicts of interest.

Compliance with ethical standards. Not applicable.

Data availability. Supporting data can be requested to the corresponding author.

Author contribution statement (CRediT): C. Aguilar Carpio – Investigation, Methodology, Writing – original draft. P. Juárez López – Conceptualization, Project administration, Supervision. I. Alia Tejacal – Validation. V. Lopez Martinez – Formal analysis. A. Perez Ramirez – Writing – review & editing, J.A.S. Escalante Estrada – Writing – review & editing.

REFERENCES

- Aguilar, C.C., Juárez, L.P., Pérez, R.A. and Escalante, E.J.A.S., 2023. Producción de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) con relación a la nutrición química y biológica. *Artículos del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Fresnillo 2023*, 15(3), pp. 1-5.
- Aguilar-Carpio, C., González-Maza, S.V., Juárez-López, P., Alia-Tejacal, I., Palemón-Alberto,

- F., Arenas-Julio, Y.R. and Escalante-Estrada, A.S., 2021. Análisis de crecimiento de epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.) cultivado en invernadero. *Biotecnia*, 23(2), pp. 113-119. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i2.1394>
- Combatt-Caballero, E., Pérez-Polo, D., Villalba-Arteaga, J., Mercado-Lázaro, J. and Jarma-Orozco, A., 2020. Macronutrientes en el tejido foliar de albahaca *Ocimum basilicum* L. en respuesta a la aplicación de nitrógeno y potasio. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, 23(2), pp. e1325. <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1325>
- Combatt, C.E., Pérez, P.D.J. and Jarma-Orozco, A., 2018. Efecto del nitrógeno y el potasio sobre el intercambio gaseoso y la distribución de biomasa en albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1), pp. 192-201. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7871>
- Di Benedetto, A. and Tognetti, J., 2016. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 42(3), pp. 258-281.
- Escalante, E.J.A.S. and Kohashi, S.J., 2015. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Fathi, A., 2022. El rol del nitrógeno (N) en el crecimiento de las plantas, pigmentos de fotosíntesis y eficiencia del empleo del nitrógeno. *Agrisost*, 28, pp. 1-8. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8164584>
- Flórez-Martínez, D.H., Cárdenas-Solano, L.J., Ávila-Cárdenas, J., Montes, N.L., Criollo-Nuñez, J. and Beltrán Medina, J.I., 2025. La ruta de la albahaca (*Ocimum basilicum*): aproximación a una estrategia de diversificación de usos para los excedentes de producción. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia)*. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7407761>
- Juarez-Lopez, P., Ontiveros-Capurata, R.E., Mendoza-Tafolla, R.O., and Alia-Tejacal, I., 2025. Use of low-cost RGB images to estimate nitrogen, chlorophyll, and leaf area status in basil 'Nufar'. *Journal of Plant Nutrition*, <https://doi.org/10.1080/01904167.2025.2505224>
- Laghari, S.J., Wahocho, N.A., Laghari, G.M., Laghari, A.H., Bhabhan, G.M., Talpur, K.H., Bhutto, T.A., Wahocho, S.A. and Lashari, A.A., 2016. Role of nitrogen for plant growth and development: A review. *Advances in Environmental Biology*, 10, pp. 209-218.
- Mendoza-Tafolla, R., Juarez-Lopez, P., Ontiveros-Capurata, R., Alia-Tejacal, I., Guillén-Sánchez, D., Villegas-Torres, O., and Chávez-Bárceñas, A., 2022. Estimación de la concentración de clorofila, nitrógeno y biomasa en arúgula (*Eruca sativa* Mill.) mediante mediciones portátiles no destructivas. *Bioagro*, 34 (2), pp:151-162. <https://doi.org/10.51372/bioagro342.5>
- Mercado-Luna, A., Rico-García, E., Lara-Herrera, A., Soto-Zarazúa, G., Ocampo-Velázquez, R., Guevara-González, R., Herrera-Ruiz, G., and Torres-Pacheco, I., 2010. Nitrogen determination on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seedlings by color image analysis (RGB). *African Journal of Agricultural Research*, 9(33), pp. 5326-5332.
- Moncayo, L.M.R., Álvarez, R.V.P., González, C.G., Salas, P.L. and Chávez, S.J.A., 2015. Producción orgánica de albahaca en invernadero en la Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana*, 33(1), pp. 69-77.
- Ojeda-Silvera, C.M., Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., Troyo-Diéguez, E., Reynaldo-Escobar, I.M., Ruíz-Espinoza, F.H. and García-Hernández, J.L., 2015. Emergencia y crecimiento de plántulas de variedad de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) sometidas a estrés hídrico. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(5), pp. 151-161. <https://doi.org/10.19136/era.a2n5.766>
- Ontiveros-Capurata, R.E., Juarez-Lopez, P., Mendoza-Tafolla, R.O., Alia-Tejacal, I., Villegas-Torres, O.G., Guillén-Sánchez, D., and Cartmill, A.D., 2022. Relación entre concentraciones de clorofila y nitrógeno, y producción de materia fresca en albahaca 'Nufar' (*Ocimum basilicum*), con lecturas de tres medidores manuales de clorofila: SPAD, atLEAF y MC-100. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 28(3), pp. 189-202. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2021.09.018>

- Rakesh, P., Vijay, P., Madurima, D., Mahesh, M. and Ramesh, C.M., 2017. Plant Growth Analysis. Manual of ICAR Sponsored Training Programme on “Physiological Techniques to Analyze the Impact of Climate Change on Crop Plant”. pp. 103–107.
- Reyes, A.D.Y., Mora, H.M.E., Lugo, J. and Del Águila, P., 2020. Estabilización por vermicomposteo de lodos residuales aplicados en la productividad de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(2), pp. 371-381. <https://doi.org/10.20937/RICA.53537>
- Reyes, P.J.J., Murillo, A.B., Nieto, G.A., Troyo, D.E., Reynaldo, E.I.M., Rueda, P.E.O. and Cuervo, A.J.L., 2014. Crecimiento y desarrollo de variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) en condiciones de salinidad. *Terra Latinoamericana*, 32(1), pp. 35-45.
- Ruiz, E.F.H., Hernández, E.R., Beltran, M.F.A., Zamora, S.S., Loya, R.J.G. and Luna, O.J.G., 2016. Macroalgas como componente en el sustrato para producción de plántula de albahaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 17, pp. 3543-3555.
- Siura, S., Reynafarje, X. and Avila, F., 2014. Evaluación de la incorporación de residuos de cosecha sobre la producción orgánica de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) en el valle de Mala. *Anales Científicos*, 75(2), pp.365-369. <https://doi.org/10.21704/ac.v75i2.976>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024. Cierre de la producción agrícola. Consultado en: https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/ (Fecha de consulta: 01 de junio de 2025).
- Steiner, A. A., 1984. The universal nutrient solution. In Proc. 6th International Congress on Soilless Culture (pp: 633–649). ISOSC. Wageningen, The Netherlands.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M. and Murphy, A., 2024. Fundamentals of Plant Physiology. Sinauer Associates Inc. 2nd edition. 621 p.
- Vázquez-Vázquez, C., Ojeda-Mijares, G.I., Fortis-Hernández, M., Preciado-Rangel, P. and Antonio-González, J., 2015. Sustratos orgánicos en la producción de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y su calidad fitoquímica. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16(8), pp. 1833-1844. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i8.499>
- Valentín, M.M.C., Castro, B.R., Rodríguez, P.J.E. and Pérez, G.M., 2013. Extracción de macronutrientes en chile de agua (*Capsicum annum*). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19, pp. 71-78. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.02.013>
- Yépez-Hernández, F.J., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Delgadillo-Martínez, J., Mendoza-López, M.R. and García-Barradas, O., 2016. Fertilización nitrogenada en el crecimiento, contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de albahaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(1), pp. 33-40.