



## Evaluación morfométrica y rendimiento de tres especies de hoja en un sistema aeropónico

### Morphometric evaluation and production of three leaf species in an aeroponic system

Isabel Alemán Chávez<sup>1</sup>, José Leonardo Ledea-Rodríguez<sup>2</sup> y Liliana Lara-Capistrán<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana, Campus Xalapa, Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria, cp. 91090 Xalapa, Veracruz, México.

<sup>2</sup>Investigador postdoctoral de la Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al Sur km. 5.5. cp. 23080. La Paz, Baja California Sur, México. Grupo de Nano Biotecnología y Control Biológico.

\*Autor de correspondencia: [llara\\_capistran@hotmail.com](mailto:llara_capistran@hotmail.com)

Recibido 20 de junio 2023; recibido en forma revisada 08 de agosto 2023; aceptado 30 de octubre 2023

#### RESUMEN

El agua es un recurso limitado para la producción agrícola y ganadera; por este motivo se requieren técnicas sustentables que permitan utilizar el agua con mayor eficiencia, en este sentido la hidroponía puede ser una alternativa al ahorro de agua tal como los sistemas aeropónicos mediante riego presurizado. Por lo anterior se planteó como objetivo evaluar parámetros morfofisiológicos y rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L), acelga (*Beta vulgaris* var. 'Cicla') y espinaca (*Spinacia oleracea*) en un sistema aeropónico en invernadero. Se instaló un sistema aeropónico de 1.8 m. de alto con 7 módulos de cultivo y capacidad para 30 plantas. Se trasplantaron plántulas de acelga, espinaca y lechuga de aproximadamente 5 cm de altura en un diseño completamente al azar

dentro del sistema, éstas fueron regadas con solución Steiner, cada 2 horas por 15 min. A los 28 días después del trasplante se evaluó altura, diámetro, longitud de raíz, número de hojas, y contenido de clorofila ( $\text{mg}\cdot\text{cm}^2$ ). El análisis estadístico se desarrolló mediante el programa Statistica v12.0, como prueba de comparación de medias se consideró Duncan a un 95% de confianza. El análisis de varianza arrojó diferencias significativas en las variables evaluadas ( $P\leq 0.001$ ) teniendo la mejor respuesta morfofisiológicas y de rendimiento *L. sativa* con altura promedio de 25 cm, diámetro del tallo de 2.8 cm de grosor, longitud de raíz de 11 cm., entre 10-12 hojas, contenido de clorofila total de  $26.26 \text{ mg}\cdot\text{cm}^2$  y un peso promedio de 350 g/planta. Además, este tipo de sistema tiene una característica relevante que es el ahorro de solución nutritiva, agua y espacio., condicionando la aeroponía permite un buen desarrollo de plantas.

**Palabras Clave:** Lechuga, acelga, espinaca, clorofila, solución nutritiva.

## ABSTRACT

Water is a limited resource for agricultural and livestock production; For this reason, sustainable techniques are required that allow water to be used more efficiently and, in this sense, hydroponics can be an alternative to saving water like aeroponic systems using pressurized irrigation. Therefore, the objective was to evaluate morphophysiological parameters and production of lettuce (*Lactuca sativa* L), chard (*Beta vulgaris* var. 'Cicla') and spinach (*Spinacia oleracea*) in a greenhouse aeroponic system. A 1.8 m aeroponic system was installed. high with 7 growing modules and a capacity for 30 plants. Chard, spinach and lettuce seedlings approximately 5 cm high were transplanted in a completely randomized design within the system. They were watered with Steiner solution every 2 hours for 15 min. At 28 days after transplanting, height, diameter, root length, number of leaves, and chlorophyll content ( $\text{mg}\cdot\text{cm}^2$ ) were evaluated. The statistical analysis was developed using the Statistica program, as a Dunca test for comparison of means at 95%. The analysis of variance showed significant differences in the variables evaluated ( $P\leq 0.001$ ), with *L. sativa* having the best morphophysiological and yield response with an average height of 25 cm, stem diameter of 2.8 cm thickness, and root length of 11 cm., and between 10-12 leaves, and total chlorophyll content of  $26.26 \text{ mg}\cdot\text{cm}^2$  and an average weight of  $350 \text{ g}\cdot\text{plant}$ . In addition, this type of system has a main characteristic which is the saving of nutrient solution, water, and space, so aeroponics allows good plant development.

**Keywords:** Lettuce, chard, spinach, chlorophyll, nutrient solution.

## INTRODUCCIÓN

La hidroponía es un sistema de cultivo sin suelo donde las plantas se desarrollan utilizando soluciones nutritivas en lugar del suelo (Anbarasu et al., 2020). Dentro de los sistemas hidropónicos destacan la aeroponía que es una estrategia para desarrollar plantas en tubos de PVC perforados, y colocados verticalmente. Dentro de estos se encuentran los nebulizadores, encargados del riego. El sistema es altamente eficiente para verduras como lechuga, espinacas, y otras. Una de las ventajas de este sistema es el ahorro del espacio, agua, solución nutritiva, además de producir plantas, esquejes y tubérculos libres de partículas de suelo (Kumari y Kumar 2019). La aeroponía es probablemente el tipo de sistema más innovador dentro de la hidroponía, dado que las raíces se presentan en el aire las cuales se secarán rápidamente si se interrumpen los ciclos de riego (Sahoo, 2020), sin embargo, se desconocen la adaptación de diversas especies. Por lo antes mencionado se planteó como objetivo evaluar parámetros morfofisiológicas y rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L), acelga (*Beta vulgaris*

var. 'Cicla') y espinaca (*Spinacia oleracea*) en un sistema aeropónico en invernadero.

## METODOLOGÍA

**Ubicación del experimento:** El estudio se realizó durante el mes de mayo de 2023 dentro de un invernadero tipo capilla de la Facultad de Ciencias Agrícolas, *Campus* Xalapa, ubicado en la ciudad de Xalapa, Veracruz, México, cuyas coordenadas geográficas son 19°30'57.99" N, 96°55'6.22" O y elevación de 1,372 msnm.

**Descripción de los tratamientos:** Se consideraron tres tratamientos consistentes en especies hortícolas de hoja: 1. lechuga (*Lactuca sativa* L), 2. acelga (*Beta vulgaris* var. 'Cicla') y 3. espinaca (*Spinacia oleracea*) cada una con 10 repeticiones y distribuidas en un diseño completamente al azar en la torre de cultivo.

**Establecimiento de los semilleros:** Se utilizaron charolas de unicel de 200 cavidades las cuales fueron llenadas con el sustrato Peat Moss el cual estaba a capacidad de campo y se sembraron las semillas de lechuga, acelga y espinaca., estas se mantuvieron en condiciones de invernadero hasta su utilización.

**Preparación del sistema aeropónico:** Se utilizó una torre de cultivo distribuida con una altura de 1.8 m, con 7 módulos de cultivo y capacidad de 30 canastillas. Este estuvo conectada a un contenedor de 40 L de capacidad con solución nutritiva Steiner, cubierto de plástico negro y un temporizador (timer) digital modelo Steren de 20 tiempos y riegos programados cada 2 horas por 15 min, durante el tiempo que duro el experimento (Fig. 1).



**Figura 1.** Sistema aeropónico

**Trasplante en los contenedores:** Se trasplantaron en canastillas para hidroponía las plántulas de acelga, espinaca y lechuga de aproximadamente 5 cm de altura, éstas fueron regadas con solución Steiner, cada 2 horas por 15 min.

**Solución nutritiva utilizada:** Se utilizó una solución nutritiva modificada de Steiner (1984) de

acuerdo con las demandas nutricionales para especies de hoja, nitrógeno total 9.20%, fósforo asimilable ( $P_2O_5$ ) 2.70%, potasio asimilable ( $K_2O$ ) 10.90%, S 2.00%, Mg 1.40%, Calcio 11.00%, Fe 0.10%, B 0.02 %, Zn 0.003%, Cu 0.004% y Mn 0.02% con un pH de 6.5 y una conductividad eléctrica de  $2.5 \text{ dS m}^{-1}$ , con el fin de que la irrigación contara con los elementos esenciales que coadyuvasen al crecimiento y desarrollo de las plantas.

**Variables evaluadas:** A los 28 días después del trasplante se evaluó altura de las plantas con un flexómetro (cm), diámetro del tallo con un vernier (mm), longitud de raíz con una regla (cm), número de hojas conteo visual y contenido de clorofila con un medidor de clorofila portátil CHL Plus ( $\text{mg}\cdot\text{cm}^2$ ) y rendimiento (g/planta).

**Diseño experimental y análisis estadístico:** Se consideraron como tratamientos las especies de hoja, las cuáles fueron dispuestas en un diseño completamente aleatorizado tres réplicas y tres observaciones por réplica. El análisis estadístico se desarrolló mediante el software Statistic v 12.0,

considerándose el cumplimiento de los criterios de normalidad y homocedasticidad antes del desarrollo del ANOVA. Como prueba de comparación de media se empleó Duncan a un 95% de confianza.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En todas las variables consideradas en el presente estudio, *L. sativa* superó ( $P \leq 0.05$ ) en su respuesta al crecimiento y desarrollo a *B. vulgaris* y *S. oleracea* (Cuadro 1). Sin embargo, en la altura de la planta, longitud de la raíz, número de hojas y contenido de clorofila *B. vulgaris* superó ( $P \leq 0.001$ ) a *S. oleracea*, aunque el diámetro del tallo fue similar en ambas ( $P \geq 0.05$ ).

**Cuadro 1.** Respuestas morfológicas de las especies

Variables	Especies de hoja			±EE	P
	<i>L. sativa</i>	<i>B. vulgaris</i>	<i>S. oleracea</i>		
AP (cm)	25.30±0.82 <sup>a</sup>	22.10±0.10 <sup>b</sup>	16.60±1.71 <sup>c</sup>	2.5	0.001
DT (mm)	2.84±0.05 <sup>a</sup>	1.83±0.13 <sup>b</sup>	1.86±0.05 <sup>b</sup>	0.1	0.0011
LR (cm)	11.50±0.47 <sup>a</sup>	8.80±0.42 <sup>b</sup>	7.30±0.48 <sup>c</sup>	1.2	0.001
NH (U)	12.30±0.48	10±0.67 <sup>b</sup>	8.50±0.53 <sup>c</sup>	1.1	0.001
Cl	26.26±0.40 <sup>a</sup>	15.84±0.49 <sup>b</sup>	12.08±1.62 <sup>c</sup>	0.5	0.001

<sup>a,b,c</sup> Letras diferentes en una misma fila, sugieren diferencias significativas según Duncan para  $P < 0.05$ . AP: Altura de la planta; DT: Diámetro del tallo; LR: Longitud de la raíz; NH: Número de hojas; Cl: Clorofila; ±EE: Error estándar; P: valor productoras de hoja cultivadas en sistema aeropónico.

Los resultados obtenidos en forma general son alentadores para el cultivo de estas tres especies productoras de hojas en sistema hidropónicos. *L. sativa* ha sido una de las más estudiadas en este tipo de sistemas, de lo cual ya se tiene experiencia, es por ello que los valores de altura obtenidos para esta especie están acorde a los estándares que exige el mercado para su comercialización (20-30 cm) (Girón-Carrillo et al., 2018), así mismo el desarrollo radicular que alcanzó la planta coincide con los rasgos genotípicos de esta especie, cuyas raíces no se desarrollan más 25 cm de longitud (Rodrigo-Mendoza, 2021), los valores para altura de la planta, desarrollo radicular y número de hojas coinciden con resultados obtenidos en este tipo de especie y variedades como Crespa y Romana, mismas que al

ser evaluadas arrojaron promedios entre 22.7-22.20 cm, 17.40-16.67 cm y 12.07-14.40, respectivamente, para altura, longitud de raíz y número de hojas, en orden (Jaime-Terceros y Blanco-Villacorta, 2019). Para *S. oleracea* por su parte, es un cultivo muy exigente en cuanto a nutrimentos se refiere para su crecimiento y desarrollo (Girón-Carrillo et al., 2018), igualmente posee un sistema radicular poco profundo y no vigoroso, su raíz principal alcanza los 80 cm (Altamirano, 2009), valor muy superior al obtenido en el presente estudio, aspecto que se va mostrando como patrón, según lo que también se observó para *L. sativa*. Para el número de hojas por planta, *S. oleracea* mostró el valor significativamente inferior ( $P \leq 0.001$ ), lo cual se relaciona con un rasgo distintivo de la especie expresado como cobertura foliar (Girón-Carrillo et al., 2018), y que en función del presente estudio puede estar relacionado con la compensación de evitar pérdida de agua mediante la evaporación debido al bajo desarrollo radicular que le predispuso el sistema de manejo o la edad de la planta. En este sentido Martínez-Jiménez (2018)

señalaron rangos de 26.11-42.2 cm de altura a los 70 días de edad en plantas expuestas a diferentes volúmenes de formulaciones para cultivos en hidroponía, lo cual si se extrapola a la edad de evaluación del presente estudio (28 días) coincide con los valores se reportan para *S. oleracea*, y siguiendo la misma lógica, el número de hojas reportados por estos autores es muy inferior (8-13.6 hojas/planta) a los del presente estudio (8 hojas/planta) considerando su edad de evaluación (70 días vs 28 días del presente estudio), de lo que se puede inferir que el sistema de cultivo hidropónico condiciona la expresión de algunos rasgos morfológicos maximizándolos, mientras que limita o retarda otros en el cultivo de *S. oleracea*. En cultivo de *B. vulgaris* en sistema de hidroponía también se ha abordado. Como rasgos fisiológico de esta especie se menciona su altura, que puede llegar a ser de 120 cm (Véliz, 2008), para el presente estudio y edad de evaluación la planta alcanzó una altura promedio de 22.5 cm, lo cual es un indicador de respuesta en la planta ante los elementos nutritivos del medio hidropónico, y es un valor que

supera al reportado por Martínez-Jiménez (2018) en plantas de acelga, si se extrapola el resultado a la edad del cultivo del presente estudio, lo autores citados desarrollaron su evaluación a los 70 días después del trasplante. Respecto al contenido de clorofila, se vio favorecido por la presencia de hojas más grandes como las que presenta *L. sativa*, respecto a *B. vulgaris* y *S. oleracea*, denotando el rasgo distintivo de la especie, donde el tamaño de la hoja tiene una estrecha relación con el contenido de pigmentos fotosintéticos (Ochoa-Espinosa, 2019), de cualquier forma es importante mencionar, que el consumo de verduras, y de especies de hojas principalmente aportan un beneficio sustancial a la salud del consumidor (Acuña et al., 2017).

Para el rendimiento por su parte, se obtuvo un peso promedio de 350 g/planta. Además, este tipo de sistema tiene una característica principal que es el ahorro de solución nutritiva y de agua ya que se utilizó 40 L y hubo un gasto de 4 litros en 28 días que duró el experimento. Por lo que un sistema aeropónico permite un buen desarrollo de plantas de

espinacas, con un ahorro de agua y/o solución nutritiva, además de espacio.

## CONCLUSIONES

La especie que mejor se adaptó en este sistema hidropónico fue *Lactuca sativa* L., para todas las variables evaluadas., además de un ahorro de solución nutritiva, agua y espacio. Aunque las demás especies estuvieron dentro de los estándares de comercialización.

## BILIOGRAFÍA

- Acuña, R., Jara, C., Hen, K. A., & Mathias, K. (2017). Contenido y estabilidad de clorofilas y carotenoides en el zumo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Agro sur*, 45(3), 11-20.
- Altamirano, C. (2009). Establecimiento y evaluación de diez especies hortícolas en huertos familiares en dos comunidades de la parroquia licto. Tesis Ing. Agr. Riobamba, EC. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 29 p
- Anbarasu M., Gurusamy A. and Raghavendran, V.B. (2020). The Techniques of Hydroponic System. *ACTA SCIENTIFIC*



- AGRICULTURE, 4(7), 79-84.  
<https://actascientific.com/ASAG/pdf/ASAG-04-0858.pdf>
- Girón-Carrillo, C. E., Martínez-Olmedo, C. E. F., Monterroza-Domínguez, M. P., Aguirre-Castro, C. A., Hernández-Juárez, M. D. J., & Lara-Ascencio, F. (2018). Influencia de la aplicación de bocashi y lombriabono en el rendimiento de calabacín (*Cucurbita pepo* L.), espinaca (*Spinacia oleracea* L.), lechuga (*Lactuca sativa* L.) y remolacha (*Beta vulgaris* L.), bajo el método de cultivo biointensivo, San Ignacio, Chal. *Revista Agrociencia*, 1(03), 28-40.
- Jaimes T.M., & Blanco V. W. (2019). Establecimiento de un sistema hidropónico con la técnica de película nutritiva (NFT) en el cultivo de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) en la Estación Experimental Patacamaya, La Paz. *Apthapi*, 5(2), 1608–1615. Disponible en:  
<https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/8>
- Kumari, R. y Kumar, R. (2019). *Aeroponics: A Review on Modern Agriculture Technology. Indian Farmer* 6(4), 286-292.
- Martínez J. M. (2018). Aplicación de diferentes dosis de fertilización bajo un sistema hidropónico y sus efectos en la calidad y rendimiento del cultivo de espinaca (*Spinacia oleracea* L.) Y Acelga (*Beta vulgaris*), En La Universidad Cesar Vallejo– Chiclayo, Perú. 78 p.
- Ochoa Espinosa, M. F. (2019). Tamaño de hoja y su relación con la fisiología y absorción de minerales de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla L.) (Master's thesis, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC). Disponible en:  
<http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/2994>
- Rodríguez Mendoza, W. O. (2021). Producción de lechuga (*Lactuca Sativa* L.) en hidroponía cantón Guayaquil, provincia del Guayas (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil).

Disponible en:

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/56265/1/Rodr%C3%ADguez%20Mendoza%20William%20Oswaldo.pdf>

Sahoo, D. (2020). Aeroponics System of Cultivation in Horticultural Crops. *Just Agriculture* 1(1): 32-40.

Véliz C.K., Hidalgo R. García-Seminario Y. (2009).

“Características morfo-productivas de tres variedades de *Beta vulgaris* (L.) “Acelga” cultivada en condiciones hidropónicas”.

Tumbes., Perú. 27 p.