



Desempeño morfológico de lechuga cultivada con tres soluciones hidropónicas en sistema NFT recirculante

Morphological Performance of Lettuce with Hydroponic Solutions in Recirculating NFT

Desempenho Morfológico de Alface com Soluções Hidropônicas em NFT Recirculante

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil

o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i28.437>

Miltao Edelio Campos Alborno¹

mcamposa@undac.edu.pe

Abel Quispe Gonzalo²

abelq131@gmail.com

Julio César Huamán Tapara²

julio.huamant@unsaac.edu.pe

Edgar Huamán Tapara³

edgarht2020@hotmail.com

Agustina Valverde Rodríguez⁴

avalverde@unheval.edu.pe

¹Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Cerro de Pasco, Perú

²Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Ciudad de Santo Tomas, Perú

³Instituto de Educación Superior Tecnológico Público de Santa Rosa. Puno, Perú

⁴Universidad Nacional Hermilio Valdizan. Huánuco, Perú

Artículo recibido: 6 de noviembre 2025 / Arbitrado: 22 de diciembre 2025 / Publicado: 7 de enero 2026

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar el desempeño morfológico de plantas de lechuga cultivadas con tres soluciones hidropónicas en un sistema de película nutritiva recirculante, identificando la formulación más eficiente en condiciones de invernadero. Se utilizaron plantas de dos variedades de lechuga y se aplicaron tres soluciones nutritivas. Se midieron la altura de planta, número de hojas, diámetro, peso fresco y peso seco. El análisis estadístico permitió comparar los tratamientos e identificar diferencias significativas. Los resultados evidenciaron que la solución experimental mostró los valores más altos en la mayoría de las variables con diferencias significativas ($p < 0.05$). En la variedad Boston Blanca, la altura promedio alcanzó 27,8 centímetros, superior a los 24,3 centímetros obtenidos con la solución La Molina. El número de hojas llegó a 19,6 unidades, en contraste con 16,2 unidades en la solución Hidroponika. El diámetro de planta registró 31,4 centímetros, superando los 27,9 centímetros de las otras formulaciones. El peso fresco alcanzó 221,5 gramos, frente a 188,7 gramos de La Molina y 176,4 gramos de Hidroponika. El peso seco alcanzó 12,4 gramos, significativamente mayor que los 9,1 gramos logrados con las soluciones comparativas. Estos resultados confirman que la solución experimental favorece el crecimiento morfológico de manera consistente. En conclusión, la solución experimental optimiza el desarrollo de las plantas de lechuga en el sistema de película nutritiva recirculante, demostrando el mejor rendimiento en todas las variables analizadas. Su eficacia la posiciona como una alternativa recomendada para mejorar la producción hidropónica en regiones altoandinas con limitaciones climáticas.

Palabras clave: Lechuga; Hidroponía; Solución nutritiva; Crecimiento vegetal; Película nutritiva recirculante

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the morphological performance of lettuce plants grown with three hydroponic solutions in a recirculating nutrient film system, identifying the most efficient formulation under greenhouse conditions. Plants from two lettuce varieties were used, and three nutrient solutions were applied. Plant height, number of leaves, diameter, fresh weight, and dry weight were measured. Statistical analysis enabled comparison among treatments and identification of significant differences. The results showed that the experimental solution exhibited the highest values in most variables, with significant differences ($p < 0.05$). In the Boston Blanca variety, average height reached 27.8 centimeters, higher than the 24.3 centimeters obtained with the La Molina solution. The number of leaves reached 19.6 units, in contrast to 16.2 units with the Hidroponika solution. Plant diameter reached 31.4 centimeters, surpassing the 27.9 centimeters recorded with the other formulations. Fresh weight reached 221.5 grams, compared to 188.7 grams for La Molina and 176.4 grams for Hidroponika. Dry weight reached 12.4 grams, significantly higher than the 9.1 grams achieved with the comparative solutions. These results confirm that the experimental solution consistently enhances morphological growth. In conclusion, the experimental solution optimizes the development of lettuce plants in the recirculating nutrient film system, demonstrating the best performance in all variables analyzed. Its effectiveness positions it as a recommended alternative to improve hydroponic production in high-Andean regions with climatic limitations.

Key words: Lettuce; Hydroponics; Nutrient solution; Plant growth; Recirculating system

RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar o desempenho morfológico de plantas de alface cultivadas com três soluções hidropônicas em um sistema de filme nutritivo recirculante, identificando a formulação mais eficiente em condições de estufa. Foram utilizadas plantas de duas variedades de alface e aplicadas três soluções nutritivas. Mediram-se a altura das plantas, o número de folhas, o diâmetro, o peso fresco e o peso seco. A análise estatística permitiu comparar os tratamentos e identificar diferenças significativas. Os resultados mostraram que a solução experimental apresentou os maiores valores na maioria das variáveis, com diferenças significativas ($p < 0.05$). Na variedade Boston Blanca, a altura média atingiu 27,8 centímetros, superior aos 24,3 centímetros obtidos com a solução La Molina. O número de folhas atingiu 19,6 unidades, em contraste com 16,2 unidades na solução Hidroponika. O diâmetro da planta registrou 31,4 centímetros, superando os 27,9 centímetros das demais formulações. O peso fresco atingiu 221,5 gramas, em comparação com 188,7 gramas da solução La Molina e 176,4 gramas da Hidroponika. O peso seco alcançou 12,4 gramas, significativamente maior que os 9,1 gramas obtidos com as soluções comparativas. Esses resultados confirmam que a solução experimental favorece de maneira consistente o crescimento morfológico. Em conclusão, a solução experimental otimiza o desenvolvimento das plantas de alface no sistema de filme nutritivo recirculante, demonstrando o melhor desempenho em todas as variáveis analisadas. Sua eficácia a posiciona como uma alternativa recomendada para melhorar a produção hidropônica em regiões alto-andinas com limitações climáticas.

Palavras-chave: Alface; Hidroponia; Solução nutritiva; Crecimiento de plantas; Sistema recirculante

INTRODUCCIÓN

La producción hortícola en regiones altoandinas se enfrenta a limitaciones relacionadas con la variabilidad térmica, la baja disponibilidad de agua y la escasa fertilidad de los suelos, factores que restringen el rendimiento de hortalizas de hoja como la lechuga. Investigaciones recientes han reportado que la vulnerabilidad climática en estas zonas reduce la eficiencia de los sistemas de cultivo tradicionales, generando variaciones marcadas en calidad y productividad (1, 2). En este contexto, la hidroponía se ha consolidado como una estrategia productiva que mejora el control nutricional y reduce la dependencia del suelo, posicionándose como una alternativa viable para regiones con condiciones ambientales adversas (3, 4).

La literatura ha demostrado que la formulación de soluciones nutritivas es determinante para el desarrollo morfológico y fisiológico de la lechuga, afectando directamente la expansión foliar, la absorción mineral y la acumulación de biomasa (5, 6). Además, estudios de Thapa, Nandi (7), y Nicoletto, Santagata (8), señalan que la disponibilidad balanceada de nitrógeno, potasio, calcio y micronutrientes puede incrementar de manera significativa el rendimiento del cultivo, siendo esencial para promover una arquitectura foliar adecuada en ambientes de producción controlados.

El sistema de película nutritiva recirculante ha demostrado ser altamente eficiente para el cultivo de hortalizas, pues mantiene un flujo constante de nutrientes y favorece la oxigenación radicular, permitiendo obtener plantas más vigorosas y productivas (9, 10). Investigaciones comparativas han revelado que soluciones nutritivas formuladas con criterios fisiológicos pueden aumentar el peso fresco y seco de la lechuga entre 15 y 30 por ciento respecto a soluciones convencionales (7, 11).

Diversos estudios latinoamericanos han mostrado resultados similares en condiciones de altura, destacando la necesidad de ajustar las formulaciones nutritivas a la variabilidad ambiental específica de estas regiones (12, 13). Por su parte, investigaciones internacionales han resaltado que la respuesta varietal influye de manera importante en la eficiencia del uso de nutrientes, lo que justifica el desarrollo de estudios experimentales que comparen varias soluciones nutritivas para identificar la formulación más eficiente (8, 14).

En consecuencia, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el desempeño morfológico de plantas de lechuga cultivadas con tres soluciones hidropónicas en un sistema de película nutritiva recirculante, con la finalidad de determinar la formulación más eficiente para las condiciones productivas de invernadero en zonas altoandinas. Su relevancia radica en que aporta evidencia experimental que puede contribuir a mejorar la

sostenibilidad, competitividad y adaptabilidad de la horticultura hidropónica en regiones vulnerables a la variabilidad climática.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio tuvo un enfoque cuantitativo y un diseño experimental completamente aleatorizado. La investigación se desarrolló en un invernadero de ambiente controlado ubicado en el Centro de Investigación, Formación e Innovación para el Desarrollo Agrario (CIFO), Huánuco, Perú. El período de ejecución comprendió los meses de abril a julio de 2024, abarcando las fases de germinación, trasplante, crecimiento y cosecha.

El invernadero presentó temperaturas promedio entre 18 y 24 grados Celsius, humedad relativa del 60 al 80 por ciento y fotoperiodo natural. Se utilizó un sistema hidropónico de película nutritiva recirculante, compuesto por canales inclinados, un tanque de reserva, una bomba de impulsión y líneas de retorno. La renovación de solución se realizó cada siete días para garantizar niveles adecuados de oxigenación y salinidad.

La población estuvo conformada por plantas de lechuga correspondientes a dos variedades: Boston Blanca y Costina. La muestra total fue de 180 plantas, distribuidas proporcionalmente en tres tratamientos con 60 plantas cada uno. Se empleó un muestreo probabilístico aleatorio simple para la selección de las plantas evaluadas.

Cada tratamiento incluyó tres repeticiones con 20 plantas por repetición.

Se evaluaron tres soluciones hidropónicas:

- **Solución 1:** Formulación La Molina, empleada como referencia técnica estándar.
- **Solución 2:** Formulación Hidroponika, de uso comercial.
- **Solución 3:** Solución experimental, desarrollada con ajuste de macronutrientes y micronutrientes para optimizar el crecimiento foliar y radicular.

Cada solución presentó una conductividad eléctrica entre 1,3 y 1,7 decisiemens por metro y un pH entre 5,5 y 6,5. Las soluciones se aplicaron en circuito cerrado con oxigenación permanente mediante bomba sumergible. Las variables del estudio fueron: Altura de planta (centímetros), número de hojas (unidades), diámetro de planta (centímetros), peso fresco (gramos), peso seco (gramos). Los datos fueron procesados mediante análisis de varianza de una vía (ANOVA) para identificar diferencias entre tratamientos. Cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey con un nivel de significancia del 5 por ciento. El procesamiento se realizó con los programas SPSS versión 26 y R versión 4.3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre las soluciones nutritivas evaluadas para todas las variables morfológicas ($p < 0.05$). La solución experimental registró los valores más altos en altura de planta, número de hojas, diámetro, peso fresco y peso seco en comparación con las soluciones La Molina y Hidroponika. Las plantas cultivadas con la solución experimental mostraron un crecimiento más uniforme y una estructura foliar más compacta, particularmente en la variedad Boston Blanca.

En la altura de planta, la solución experimental alcanzó un promedio de 27,8 cm, superando significativamente a La Molina (24,3 cm) y a Hidroponika (23,7 cm). Un patrón similar se observó en el número de hojas, donde la solución experimental obtuvo 19,6 hojas, en contraste con 16,2 en Hidroponika y 17,4 en La Molina. En

el diámetro de planta, la solución experimental alcanzó 31,4 cm, diferencia significativa frente a los valores obtenidos por La Molina (27,9 cm) y Hidroponika (26,8 cm).

El peso fresco mostró incrementos marcados en la solución experimental, alcanzando 221.5 g, mientras que La Molina produjo 188,7 g y Hidroponika 176,4 g. El peso seco siguió el mismo patrón, con valores de 12,4 g; 9,1 g y 8,7 g, respectivamente. Estos resultados reflejan una mayor acumulación de biomasa en plantas nutridas con la solución experimental.

Los resultados secundarios como la uniformidad del cultivo y el comportamiento radicular también mostraron ventajas para la solución experimental, que presentó raíces más desarrolladas, mayor densidad y una coloración blanca homogénea, indicadores asociados al óptimo intercambio gaseoso y absorción de nutrientes.

Tabla 1. Resultados morfológicos promedio de plantas de lechuga según las soluciones hidropónicas evaluadas.

Variable	Solución La Molina	Solución Hidroponika	Solución Experimental	p-valor
Altura (cm)	24.3 ± 1.8	23.7 ± 1.6	27.8 ± 2.1	< 0.05
Número de hojas	17.4 ± 1.2	16.2 ± 1.1	19.6 ± 1.4	< 0.05
Diámetro (cm)	27.9 ± 2.0	26.8 ± 1.7	31.4 ± 2.3	< 0.05
Peso fresco (g)	188.7 ± 15.4	176.4 ± 14.1	221.5 ± 18.7	< 0.05
Peso seco (g)	9.1 ± 0.9	8.7 ± 0.8	12.4 ± 1.0	< 0.05

Table 2. Resultados secundarios observados durante el cultivo.

Parámetro	La Molina	Hidroponika	Experimental
Uniformidad del crecimiento	Moderada	Baja	Alta
Densidad radicular	Media	Baja	Alta
Coloración radicular	Crema pálido	Amarillenta	Blanca homogénea
Estado sanitario	Adecuado	Adecuado	Excelente

Discusión

Los resultados demostraron que la solución nutritiva experimental generó valores significativamente superiores en altura, número de hojas, diámetro, peso fresco y peso seco, lo cual coincide con estudios que han mostrado que formulaciones enriquecidas en nitrógeno y potasio favorecen la expansión foliar y la acumulación de biomasa en lechuga (5, 8). La elevada respuesta morfológica observada sugiere una mayor eficiencia metabólica, probablemente asociada al aporte balanceado de macronutrientes y micronutrientes, tal como lo señalan Sonneveld y Voogt (6), en relación con la fisiología del crecimiento hidropónico.

El incremento significativo en la acumulación de biomasa fresca y seca concuerda con lo reportado por Monteiro, Azevedo (11), y por Thapa, Nandi (7), quienes encontraron que ajustes específicos en la formulación nutritiva pueden mejorar la tasa fotosintética y el uso eficiente del agua en lechuga cultivada en sistemas recirculantes. Asimismo, estudios de Silva, Valdés

(10), indican que soluciones nutritivas adaptadas al ambiente contribuyen a mejorar la arquitectura radicular, aspecto coincidente con la observación de raíces más densas y homogéneas en la solución experimental del presente trabajo.

Las diferencias registradas también podrían explicarse por la interacción entre los nutrientes y las características genéticas de las variedades utilizadas, como sugieren Tavares, De Assis (14), y Nicoletto, Santagata (8), quienes resaltan que la eficiencia en la absorción mineral depende de la variedad, la composición nutricional y el sistema hidropónico empleado. Esto respalda la superioridad observada en la variedad Boston Blanca, que mostró un mejor aprovechamiento de la solución experimental, reflejándose en mayor desarrollo foliar y radicular.

Los hallazgos obtenidos también se asemejan a los reportados por Ahmed, Yu (15), quienes demostraron que ambientes controlados combinados con formulaciones nutritivas especializadas promueven incrementos importantes en el diámetro y peso fresco de la

lechuga. De igual manera, estudios realizados en zonas de altura, como los de Kumar, Kumari (2), y Qadeer, Butt (13), sostienen que la aplicación de soluciones nutritivas adaptadas al contexto ambiental mejora la estabilidad y uniformidad del cultivo.

Finalmente, la eficacia de la solución experimental confirma que el ajuste nutricional es un factor determinante para optimizar la producción hidropónica en regiones altoandinas, coincidiendo con diversos autores que destacan la importancia de personalizar las soluciones nutritivas según las demandas fisiológicas del cultivo y las particularidades climáticas del entorno (1, 12). De esta manera, los resultados del presente estudio aportan evidencia científica sólida para la mejora de las prácticas hidropónicas en escenarios de limitación ambiental.

CONCLUSIONES

La solución hidropónica experimental generó el mejor desempeño morfológico en la lechuga cultivada bajo el sistema de película nutritiva recirculante, demostrando valores significativamente superiores en altura de planta, número de hojas, diámetro, peso fresco y peso seco, en comparación con las soluciones La Molina y Hidroponika.

La formulación experimental permitió una mayor acumulación de biomasa y un desarrollo foliar más eficiente, evidenciado por incrementos estadísticamente significativos ($p < 0.05$) en todas las variables primarias evaluadas, lo que confirma su eficacia fisiológica y nutricional en el cultivo de lechuga en condiciones de invernadero.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS

1. Resh H. Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower: CRC press; 2022. <https://goo.su/XN6QBQz>.
2. Kumar K, Kumari K, Acharya S, Tsewang T, Mishra A, Verma A, et al. Hydroponic vs. soil cultivation of lettuce and spinach: A study in a polycarbonate greenhouse at high altitudes in the Trans-Himalayan region. *Journal of Applied Horticulture*. 2023;25(2):199-205. <https://doi.org/10.37855/jah.2023.v25i02.35>.
3. Ahmed N, Zhang B, Deng L, Bozdar B, Li J, Chachar S, et al. Advancing horizons in vegetable cultivation: a journey from ageold practices to high-tech greenhouse cultivation—a review. *Frontiers in Plant Science*. 2024;15:1357153. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1357153>.
4. Lombardo S, Mauromicale G. Herbaceous field crops' cultivation. *Agronomy*. 2021;11(4):742. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040742>.
5. Jones J. Hydroponics: a practical guide for the soilless grower: CRC press; 2016. https://books.google.com.cu/books?hl=es&lr=&id=78POAWOmOLUC&oi=fnd&pg=PR11&ots=poq0Rfqyyd&sig=gaLdnYl6js-Sf8hcw8TJor3YPEA&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.

6. Sonneveld C, Voogt W. Plant nutrition in future greenhouse production. *Plant nutrition of greenhouse crops*: Springer; 2009. 393-403. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2532-6_17.
7. Thapa U, Nandi S, Rai R, Upadhyay A. Effect of nitrogen levels and harvest timing on growth, yield and quality of lettuce under floating hydroponic system. *Journal of Plant Nutrition*. 2022;45(17):2563-77. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2064299>.
8. Nicoletto C, Santagata S, Zanin G, Sambo P. Effect of the anaerobic digestion residues use on lettuce yield and quality. *Scientia horticulturae*. 2014;180:207-13. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.10.028>.
9. Mohammed S, Sookoo R. Nutrient film technique for commercial production. *Agricultural Science Research Journal*. 2016;6(11):269-74. https://www.researchgate.net/profile/Stephanie-Mohammed/publication/309866285_Nutrient_Film_Technique_for_Commercial_Production/links/5892061aaca272f9a558491f/Nutrient-Film-Technique-for-Commercial-Production.pdf
10. Silva L, Valdés D, Escalante E, Gasca E. Dynamic root floating technique: An option to reduce electric power consumption in aquaponic systems. *Journal of cleaner production*. 2018;183:132-42. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.086>.
11. Monteiro A, Azevedo M, De Azevedo C, Fernandes J, Da Silva C, Silva Y. Growth of hydroponic lettuce with optimized mineral and organomineral nutrient solutions. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2017;21:191-6. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n3p191-196>
12. Herrera R, Martínez J, Botello E, Sámano V, Martínez C, Moreno C. Smart hydroponic cultivation system for lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth under different nutrient solution concentrations in a controlled environment. *Applied System Innovation*. 2025;8(4):110. <https://doi.org/10.3390/asi8040110>.
13. Qadeer A, Butt S, Asam H, Mehmood T, Nawaz M, Haidree S. Hydroponics as an innovative technique for lettuce production in greenhouse environment. *Applied Biology*. 2020;9(1):20-6. <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2020.90130>.
14. Tavares Í, De Assis F, Pereira C, De Lima M, Costa T. Foliar application of biofertilizer in semi-hydroponic lettuce fertigated with saline nutrient solution. *Comunicata Scientiae*. 2020;11. <https://doi.org/10.14295/cs.v11i0.3115>.
15. Ahmed H, Yu T, Qi Y. Optimal control of environmental conditions affecting lettuce plant growth in a controlled environment with artificial lighting: A review. *South African Journal of Botany*. 2020;130:75-89. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.12.018>.