



EVALUACIÓN DE VARIABLES AGRONÓMICAS EN CULTIVO DE LECHUGA CON SISTEMA DE RECIRCULACIÓN

Leidy Marcela Ramos¹, Jaime Enrique Ortiz², Hugo Ruiz Erazo³

1. Ingeniera Agrónoma.
Universidad de Nariño. ✉
leidiladia22@gmail.com
2. Ingeniero Agrónomo.
Universidad de Nariño.
3. PhD. Suelos y Nutrición de Plantas. <http://orcid.org/0000-0001-5611-4830>

Palabras claves: Nutrientes, lechuga, producción, acuapónico, biorremediación.

RESUMEN

La biorremediación es un proceso en el cual pueden participar diferentes plantas para reparar o restaurar contaminantes presentes en aguas como las que se obtienen de la acuicultura. Esta investigación se realizó en el Centro de Investigación Botana de la Universidad de Nariño, en el municipio de Pasto, ubicado a 2820 m.s.n.m. y una temperatura promedio de 12,6°C. Se realizó la implementación de un sistema acuapónico de recirculación utilizando tres sustratos (cascarilla de arroz, turba y grava) y un testigo hidropónico NFT (solución Hoagland). Se empleó un diseño estadístico de bloques completos al azar con tres repeticiones y cuatro tratamientos por módulo. Se evaluaron en plantas de lechuga las variables de altura de plantas (AP), número de hojas (NH), índice de área foliar (IAF), diámetro de cabeza (DC), producción (P), además de variables mineralógicas de elementos menores y fósforo, el nivel de biorremediación que hubo según la cantidad de nitratos presentes en el agua de recirculación y un análisis de costos mediante una tasa interna de retorno con todos los gastos generados durante la investigación. En el análisis de varianza se estableció que hubo diferencias estadísticas en las variables altura, diámetro, producción, fósforo y zinc y se determinó que hubo valores adecuados de nutrientes para el crecimiento del cultivo obtenidos a partir del sistema acuapónico de recirculación con los tres sustratos dándose un proceso de biorremediación eficiente, demostrando ser una alternativa amigable con el medio ambiente.

EVALUATION OF AGRONOMIC VARIABLES IN LETTUCE CROP WITH A RECIRCULATION SYSTEM

Keywords: Nutrients, lettuce, production, aquaponics, bioremediation.

ABSTRACT

Bioremediation is a process in which different plants can participate to repair or restore pollutants present in waters such as those obtained from aquaculture. This research was carried out at the Botana Research Center of the University of Nariño, in the municipality of Pasto, located at 2820 m.s.n.m. and an average temperature of 12.6 °C. The implementation of a recirculation aquaponic system was carried out using three substrates (rice husk, peat and gravel) and an NFT hydroponic control (Hoagland solution). A randomized complete block statistical design with three replications and four treatments per module was used. The variables of plant height (AP), number of leaves (NH), leaf area index (IAF), head diameter (DC), production (P), as well as mineralogical variables of minor elements were evaluated in lettuce plants. and phosphorus, the level of bioremediation that occurred according to the amount of nitrates present in the recirculation water and a cost analysis through an internal rate of return with all the expenses generated during the investigation. In the analysis of variance it was established that there were statistical differences in the variables height, diameter, production, phosphorus and zinc and it was determined that there were adequate values of nutrients for the growth of the culture obtained from the recirculation aquaponic system with the three substrates being given an efficient bioremediation process, proving to be an environmentally friendly alternative.

Rec : 27/10/2021

Acep: 13/11/2021



INTRODUCCIÓN

El cultivo de Lechuga por sus características culinarias y nutricionales presenta dinámicas de alto consumo en el comercio global. En Colombia esta se cultiva de forma tradicional en diferentes regiones, principalmente en los departamentos de Cundinamarca con la mayor participación (60,9%), seguido de Antioquia (15%) y Nariño (14,8%), con una producción promedio de 87 mil toneladas anuales, (Agronet, 2016).

En la actualidad se requiere modernizar los métodos productivos utilizados hoy en día para mejorar la calidad y la cantidad del producto. Una alternativa al modelo de producción tradicional surge a través de nuevas tecnologías que están apareciendo en diferentes países, entre una de las cuales se encuentra la acuaponía, una técnica de producción de alimentos que combina la hidroponía y la acuicultura. (Mazo, 2021).

La producción masiva en los sistemas intensivos de acuicultura genera grandes volúmenes de residuos disueltos en el agua, como fosforo y productos metabólicos con alto contenido de nitrógeno, que pueden afectar los sistemas acuáticos asociados a la actividad, dándose una problemática en este sector, Mateus (2009) menciona que a partir de la incorporación de prácticas acuapónicas se puede disminuir el impacto de estos subproductos de los efluentes acuícolas conocido este proceso como el de biorremediación .

Brajovic (2016) menciona que los sistemas hidropónicos se basan en sustratos donde la raíz está en contacto con el agua y nutrientes, una alternativa que brinde estas características, es la acuaponía que hace uso de los desechos de los peces, estos sirven como nutrientes para las plantas de hidroponía y a su vez las plantas actúan como

un filtro natural del agua en el que viven los peces (Nelson, 2008). Esta investigación se planteó con el fin de evaluar el efecto del agua de recirculación de la explotación de tilapia sobre la producción y los contenidos nutricionales del cultivo de lechuga bajo condiciones de un sistema de acuaponía.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto se desarrolló bajo condiciones de invernadero ubicado en el Centro de Investigación Botana, perteneciente a la universidad de Nariño y localizada en el Altiplano de Pasto (Nariño) a una altura de 2820 msnm, coordenadas geográficas 01° 09' 12" LN y 77° 18' 31" LO, cuenta con una temperatura promedio de 12,6°C, 900 horas sol/año, humedad relativa del 79% y una precipitación anual de 967 mm/año (IDEAM, 2018).

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones que integro doce unidades experimentales y cuatro tratamientos. En la tabla 1. se describen los tratamientos se relacionan los sustratos por cada uno.

Tabla 1. Tratamientos en la evaluación de algunas variables agronómicas en el cultivo de lechuga bajo un sistema de recirculación de agua.

Tratamiento	Sustratos
T0	Solución nutritiva NFT
T1	Cascarilla
T2	Turba
T3	Grava

Se seleccionó un invernadero tipo túnel con un área de 150 m², de la cual 48 m² se destinaron para la construcción de los módulos acuapónicos Figura 1. y 8 m² para el cultivo hidropónico NFT el cual representó el testigo del estudio. Como material vegetal se utilizó plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Batavia.

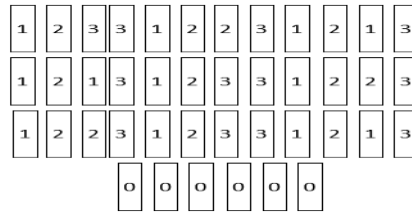


Figura 1. Distribución de los tratamientos de acuaponía.

Para cada tratamiento se consideró cuatro tubos (doce por repetición) de PVC de 4" de diámetro y tres metros de longitud, distanciados a 0,25m cada uno y perforados en su eje cada 0,25 m también, con el fin de obtener una densidad de 16 plantas por m², en estos se establecieron el sustrato correspondiente a cada tratamiento, la evaluación se realizó sobre diez plantas centrales de cada tubo.

Previo a la siembra se realizaron labores culturales como la germinación de semillas con cubos de espuma de 3 cm por 3cm, una vez que las plántulas llegaron a un tamaño adecuado pasados 20 días se realizó el trasplante. En el testigo (NFT) se utilizó una electrobomba, que impulsó la solución utilizada para nutrir las plantas (Solución de Hoagland). Una vez establecido el cultivo con las labores realizadas de mantenimiento, se tomaron datos correspondientes a las siguientes variables:

Alturas de las plantas (AP): Durante el ensayo se realizaron mediciones periódicas cada 10 días iniciando 15 días después del trasplante hasta la cosecha, se procedió a medir la altura de las plantas desde la base hasta el extremo superior de la cabeza con una cinta métrica.

Numero de Hojas (NH): En la cosecha y debidamente numeradas todas las plantas. Se realizó un conteo del número de hojas producidas.

Índice de área foliar (IAF): El índice de área foliar se calculó a través de esta fórmula:

$$IAF = \frac{(\text{Área foliar } m^2 \times \text{densidad de población})}{\text{Área sembrada}}$$

Área sembrada (Hunt, 1982)

Diámetro de la cabeza (DC): Este factor se midió cada 15 días a partir de la formación de cabeza hasta el día de cosecha con un pie de rey o calibrador.

Producción (P): Una vez realizada la cosecha, cuando la cabeza de la lechuga estuvo compacta se pesaron cada una de las cabezas con sus raíces utilizando una balanza analítica.

El análisis de nutrientes de la parte foliar de las plantas que se describe a continuación se realizó en los laboratorios de la Universidad de Nariño una vez terminado el ciclo del cultivo, según el protocolo establecido por Salinas y García (1985).

Fosforo: se utilizó un espectrofotómetro de uv-visible. Se realizó una dilución 1:50 del extracto original con agua tipo 1, tomando 1 ml de la dilución y se le agregaron 9 ml de la solución coloreadora en un tubo de ensayo. Se dejó reposar por 15 minutos y se determinó la absorbancia de la muestra a 660nm y se registró el dato.

Hierro, Manganeso, Zinc y Cobre: se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica, usando el extracto original para determinar estos elementos, leyendo la concentración en mg/L de los elementos con las condiciones de longitud de onda y slit indicadas a continuación.

Análisis de costos. Se realizó un análisis económico de costos en el cual se tuvo en cuenta todos los gastos realizados durante la

ejecución del proyecto. Para dicho fin se hizo un análisis de tasa interna de retorno (Perrin et al., 1976).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para los sustratos y sus interacciones no existen diferencias estadísticas, pero si se establecieron diferencias con respecto al testigo (solución nutritiva NFT) para las variables altura, diámetro de cabeza, producción, fósforo y zinc.

Tabla 2. Análisis de varianza para las variables altura, diámetro de cabeza, número de hojas, índice de área foliar, producción del cultivo de lechuga bajo un sistema de recirculación de agua. Universidad de Nariño.

F. VARIACION	AP	DC	NH	IAF	P
Modelo	54,96**	46,65**	1,08 ^{ns}	0,23 ^{ns}	57387,63**
Sustratos	90,96**	77,10**	0,58 ^{ns}	0,25 ^{ns}	93034,06**
Bloques	0,96 ^{ns}	0,98 ^{ns}	1,82 ^{ns}	0,21 ^{ns}	3917,98 ^{ns}
Error	0,17	0,53	0,37	0,05	4324,84
R2	1,00	0,99	0,71	0,80	0,92
CV	2,20	9,57	5,71	10,90	20,87

* Diferencias significativas ($p < 0,05$) **Diferencias altamente significativas ($p < 0,01$)

Altura de la planta. En el análisis estadístico (Tabla 2) para la variable altura de planta (AP) se presentaron diferencias estadísticas y se mostró que al hacer la utilización del agua recirculada del sistema acuapónico se obtienen mayores alturas en las plantas de lechuga, comparado con el sistema hidropónico en el cual se utilizó la solución nutritiva NFT.

La altura es un indicador que permitió establecer que las plantas del sistema de recirculación tuvieron un mayor desarrollo en comparación a las plantas de la solución nutritiva, esto posiblemente se debió a la presencia de una alta cantidad de nitrógeno

presente en el agua proveniente de los tanques del cultivo de Tilapia de acuerdo al análisis de nitratos, nitritos y amonio realizado en la investigación. Benimeli *et al.* (2019) manifiestan que el N es un elemento esencial, considerado un macronutriente, para todos los seres vivos y que actualmente está demostrado que es el factor limitante más común del crecimiento de las plantas, y que un deficiente suministro de este nutriente puede provocar notables descensos en la producción vegetal. De modo que, el aporte del nitrógeno en cantidades óptimas conduce a la obtención de follajes con mayor contenido proteico.

Tabla 3. Prueba de comparación de promedios de Tukey en la evaluación del cultivo de lechuga bajo un sistema de recirculación de agua.

Sustratos	Altura	Diámetro	No De Hojas	IAF	Producción
Grava	21,80 a	10,54 a	11,17 a	2,36 a	459,92 a
Turba	21,72 a	9,99 a	10,65 a	2,09 ab	400,19 a
Cascarilla	21,65 a	9,84 a	10,28 a	1,87 ab	338,61 a
Sol. Nutritiva	10,71 b	0,00 b	10,21 a	1,69 b	61,59 b

Las variables altura (cm), diámetro (cm), número de hojas, índice de área foliar, producción (g), Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 3 se indica que el sustrato grava presento mayor altura promedio con una media de 21,8 cm presentando similitudes con los sustratos turba y grava con medias de

21, 72 y 21, 65 cm, presentando diferencias con en el testigo con 10,71 cm.

Diámetro de cabeza. De acuerdo al análisis estadístico para la variable altura de planta

(DC) se presentaron diferencias estadísticas con un promedio general de 7,59 cm.

Jenni (2005) manifiesta que son muchas las situaciones desfavorables que se pueden presentar cuando el cultivo se establece, ya que está sometido a inclemencias meteorológicas no controladas de manera que cuando las temperaturas son superiores a los 24°C pueden provocar desórdenes fisiológicos como la decoloración de los nervios y el espigado. Dado que las plantas estuvieron bajo condiciones de invernadero y el promedio de la temperatura registro un valor de 30°C se generó probablemente el espigamiento de las plantas NFT, Sánchez y Bouzo (2018) mencionan que este un accidente fisiológico que consiste en el alargamiento del tallo floral antes de llegar el momento óptimo de cosecha, desmereciendo totalmente a la planta en su aptitud comercial. En general, para lograr un buen acogollado son necesarias temperaturas diurnas comprendidas entre 17°C y 25°C.

En la Tabla 3 se señala que el sustrato grava presento mayor altura promedio con una media de 10,54 cm presentando similitudes con los sustratos turba y grava con medias de 9,99 y 9,84 cm respectivamente, presentando diferencias con en el testigo que no presento diámetro de cabeza.

Producción. Para producción se obtuvo 60,5 kg en un módulo, este resultado se proyectó a una hectárea donde el rendimiento sería de

67,2 t. ha⁻¹ que comparado con la producción hidropónica reportada en un estudio similar realizado por Guerrero (2020), fue de 67,28 t.ha⁻¹ dando en el sistema acuapónico e hidropónico resultados similares, así se puede observar en la tabla de comparación de promedios de Tukey.

Palma y Zegarra (2019) reportan que el peso de una lechuga en un sistema hidropónico en promedio es de 302,15 g y 318,65g. Con la utilización del sistema acuapónico los niveles de nitratos presentes en el agua obtenidos a partir del proceso de nitrificación que es la transformación microbiana del nitrógeno amoniacal a nitrito (NO₂⁻) y luego a nitrato (NO₃⁻) (Myrold, 2005), los nitratos fueron aprovechados por las plantas de lechuga, favoreciendo un uso más eficiente y sustentable del agua, Segovia (2008) menciona que obtuvo una reducción de 57.86% de estos compuestos en el sistema de acuaponía, lo que explicaría el crecimiento de las plantas ya que el nitrógeno ayuda en la formación de aminoácidos y proteínas haciendo que las plantas crezcan con favorabilidad y presenten mayor peso que las de NFT.

Fosforo y Zinc. En la Tabla 4, se puede observar que se presentaron diferencias altamente significativas para los nutrientes zinc y fosforo, dentro de los sustratos utilizados y el modelo estadístico.

Tabla 4. Análisis de varianza para las variables cobre, manganeso, hierro, zinc y fósforo del cultivo de lechuga bajo un sistema de recirculación de agua. Universidad de Nariño.

F. VARIACION	Cu	Mn	Fe	Zn	P
Modelo	8,96 ns	313,09 ns	706,14 ns	714,64 **	0,04**
Sustratos	8,48 ns	433,74 ns	1031,54 ns	1176,06 **	0,07**
Bloques	9,68 ns	132,12 ns	218,03 ns	22,59 ns	1,4 E-03 ns
Error	14,63 ns	148,35 ns	757,26 ns	96,55 ns	0,01 ns
R ²	0,34	0,64	0,44	0,86	0,82
CV	61,41	51,12	38,03	16,68	16,22

* Diferencias significativas (p<0,05) **Diferencias altamente significativas (p<0,01)

De acuerdo al análisis de aguas realizado en la presente investigación que se muestra en la Tabla 5, se pudo determinar que al haber mayor presencia de nitritos, nitratos y amonio elementos disueltos en el agua hay una mayor disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno que puede ser tomado por parte de las plantas y así mismo este proceso contribuye en la asimilación de fósforo y zinc ya que estos elementos presentan sinergismo de esta manera Fertilab (s.f.) afirma que Cuando dos nutrientes actuando en conjunto, producen efectos positivos en el crecimiento de la planta, en comparación con su actuación

individual, entonces se dice que está ocurriendo una interacción positiva y ocurre un efecto sinérgico entre esos dos nutrientes por lo tanto al haber mayor cantidad de nitratos (NO₃) en el agua de recirculación hubo sinergismo con el elemento fósforo y este a su vez presento sinergismo con el zinc, lo que explicaría la presencia de altos contenidos de estos elementos en el área foliar de las plantas. En este sentido, se observó que ningún tratamiento ofreció mejores resultados, sin embargo, difieren del tratamiento solución nutritiva.

Tabla 5. Análisis de aguas en la evaluación del cultivo de lechuga *Lactuca sativa* L. Var. Batavia bajo un sistema de recirculación de agua.

Tratamientos para el sistema acuapónico	Amonio (NH ₃ /NH ₄ ⁺) mg/L	Nitritos mg/L	Nitratos mg/L
Cascarilla	0,163	0,551	22,66
Turba	0,188	0,53	24,67
Grava	0,195	0,506	24,29

Tabla 6. Prueba de comparación de promedios de Tukey en la evaluación del cultivo de lechuga bajo un sistema de recirculación de agua.

SUSTRATOS	Cu	Mn	Fe	Zn	P
GRAVA	8,13 a	41,85 a	99,75 a	74,10 a	0,62 a
TURBA	7,05 a	18,31 a	65,63 a	66,12 a	0,59 a
CASCARILLA	5,34 a	17,95 a	65,43 a	65,59 a	0,58 a
SOL. NUTRITIVA	4,39 a	17,19 a	58,65 a	29,78 b	0,30 b
Sol. Nutritiva	10,71 b	0,00 b	10,21 a	1,69 b	61,59 b

Las variables cobre (ppm), manganeso (ppm), hierro (ppm), zinc (ppm), fósforo (%), Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 6 se pudo observar que los sustratos grava (74,10 mg/kg), turba (66,12 mg/kg) y cascarilla (65,59 mg/kg) para el elemento zinc fueron tratamientos iguales estadísticamente y presentaron diferencias estadísticas con respecto a la solución nutritiva NFT (29,78 mg/kg), además se presentó similitud en los sustratos grava (0,62%), turba (0,59%), cascarilla (0,58%) para el elemento fósforo presentando diferencias con la solución nutritiva NFT (0,30%).

Análisis parcial de costos. El análisis de la tasa interna de retorno dio como resultado que en el lapso de dos años se recupera en su totalidad la inversión y se empiezan a generar u obtener ganancias.

CONCLUSIONES

El sistema acuapónico de recirculación con sustratos, presento mayores resultados de producción en comparación con la solución nutritiva, en proporción de 6,48 veces más, a favor de los sustratos.

La nutrición de las plantas en el sistema de recirculación obtuvo valores adecuados de nutrientes para el crecimiento y desarrollo normal del cultivo de lechuga

La biorremediación con los procesos acuapónicos de tilapia y plantas de lechuga, demostró ser una alternativa viable en el manejo de nitritos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRONET. (2016). Lechuga. 2-4. doi: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11438/8772/1/LECHUGA2016.pdf>

Benimeli, M., Corbella, R., Sanzano, A., Fernández, J. (2019). El nitrógeno del suelo. Cátedra de Edafología. 1-11. doi: <https://www.edafologia.org/app/download/7953478176/El+nitrogeno+del+suelo+2019.pdf?t=1563476239>

Brajovic, G. (2016). Los principales métodos hidropónicos.. Obtenido de Hidroponic: <http://www.hidroponic.cl/principales-metodos-hidroponicos/> Citado en: LLanten, S. (2017). Efecto de soluciones nutritivas en 2 variedades de lechuga (*Lactuca sativa*) sembrada en condiciones hidropónicas en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. 28. doi: <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3298/1/T-UTEQ-0128.pdf>

Fertilab. Interacciones Nutrimientales en el Suelo y Planta Interacciones con el Nitrógeno. 1-3. doi: <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/Interacciones%20nutrimientales%20entre%20suelo%20y%20planta.pdf>

Guerrero, E. (2020). Evaluación de sustratos en un cultivo de lechuga bajo un sistema hidropónico en el municipio de Pasto como alternativa productiva para la región. *Revista Gipama*, 1(1), 17–27. doi: <http://revistas.sena.edu.co/index.php/gipama/article/view/3189>

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS MEDIO AMBIENTALES. IDEAM. (2018). Datos Meteorológicos". doi: <https://www.nomasfilas.gov.co/memoficha-tramite/-/tramite/T209>

Jenni, S. (2005). Rib discoloration: A physiological disorder induced by heat stress in crisphead lettuce. *HortScience*, 40(7), 2031-2035

Hunt, R. (1982). Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold Publishers, London.

Mateus, J. (2009). Acuaponía: hidroponía y acuacultura, sistema integrado de producción de alimentos. Red Hidroponía, Boletín No 44. 2009. Lima-Perú. 7-10p.

Mazo, M. (2021). Sistemas de acuaponía artesanal y eficiencia productiva de trucha en sistemas de recirculación en tanques circulares de geomembrana. Corporación Universitaria La Sallista. 8. doi: <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/2956/1/20131338%20.pdf>

Myrold, D. D. (2005). Transformation of nitrogen. In: Sylvia, D. M., Fuhrmann, J. J., Hartet, P. G., Zuberer, D. A. (eds.) pp. 333-372. Principles and application of soil microbiology. 2nd ed. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Nelson, L.R. (2008). Aquaponics food production. Raising fish and profit. Nelson and Pade, Inc. First Edition. Virgin Islands.

Palma, R. y Zegarra, J. (2019). Comparativo del rendimiento de tres cultivares de lechuga (*lactuca sativa* l.) empleando solución nutritiva y biol bajo sistema hidropónico nft en el Fundo “La Banda” Huasacache, Arequipa 2017. 53-56. Universidad Católica de Santa Marta. doi: <https://core.ac.uk/download/pdf/287059637.pdf>

Perrin, R., Wikelman, D., Moscardi, E. & Anderson, J. (1976). Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. México: CYMMIT. 54 p.

Salinas, J.G.; Garcia, R. (1985). Metodos quimicos para el analisis de suelos acidos y plantas forrajeras. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 87 p.

Sánchez, J. y Bouzo, C. (2018). Cultivo semi-forzado de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén” Universidad Nacional del Litoral. 4-7. doi: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/5458/TFI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Segovia Q.M. (2008). Cultivo de frutas y hortalizas mediante acuaponía. 2000 Agro. Revista Industrial del Campo. 27-30.