

EVALUACION DE ALGUNAS VARIABLES AGRÓNOMICAS EN CULTIVO DE
LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) Var. *Batavia* BAJO UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN
CON AGUA.



JAIME ENRIQUE ORTIZ VALLEJO
LEIDY MARCELA RAMOS ORTEGA

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA
SAN JUAN DE PASTO

2018

EVALUACION DE ALGUNAS VARIABLES AGRÓNOMICAS EN CULTIVO DE
LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) Var. *Batavia* BAJO UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN
CON AGUA.

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR
EL TITULO DE INGENIERO AGRÓNOMO

JAIME ENRIQUE ORTIZ VALLEJO
LEIDY MARCELA RAMOS ORTEGA

DIRECTOR
HUGO RUIZ ERAZO I.A., Ph.D.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA
SAN JUAN DE PASTO

2018

Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado son responsabilidad exclusiva del autor. Artículo 1 del acuerdo No. 324 de octubre de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTADE ACEPTACIÓN

Firma del presidente jurado

Firma de Jurado

Firma de Jurado

San Juan de Pasto, Agosto de 2018

Evaluación de variables agronómicas en cultivo de *Lactuca sativa* L. Var. *Batavia* con sistema de recirculación

Evaluation of agronomic variables in crop of *Lactuca sativa* L. Var. *Batavia* with recirculation system

Leidy M. Ramos O.¹; Jaime E. Ortiz V.¹; Hugo Ruiz. E.²

1. Estudiante de Ingeniería Agronómica. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas, San Juan de Pasto, Colombia. leidiladia22@gmail.com
1. Estudiante de Ingeniería Agronómica. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas, San Juan de Pasto, Colombia. enriqueortiz1294@gmail.com
2. Profesor Tiempo completo. I.A., PhD. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Colombia. hugoruize@yahoo.com

RESUMEN

Esta investigación se realizó en la Granja Experimental Botana ubicado en el municipio de Pasto, Departamento de Nariño, para evaluar algunas variables agronómicas del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un sistema acuapónico de recirculación en condiciones de invernadero. Dentro del estudio se evaluaron los sustratos cascarilla de arroz, turba y grava en el sistema acuapónico con tres tratamientos y un testigo NFT (solución de Hoagland) utilizada principalmente para la nutrición de cultivos hidropónicos, esta solución está constituida por macro y micronutrientes esenciales para la producción de plantas. El sistema se construyó con tubos de PVC de 4" por tres metros de largo ubicados sobre una estructura metálica y 144 plantas por modulo para un total de 504 plantas de las cuales se tomó una muestra representativa de la población para la evaluación. Se realizó un análisis nutricional para elementos menores y fósforo utilizando la metodología propuesta por Salinas y García, de igual forma se realizó un análisis de aguas para conocer la cantidad de nitratos presentes en el agua y el nivel de biorremediación realizado por las plantas. El diseño estadístico fue de bloques completos al azar con tres repeticiones y cuatro tratamientos por modulo. Como análisis de costos se hizo una tasa interna de retorno con todos los gastos generados durante la investigación. El sistema acuapónico

de recirculación con sustratos obtuvo valores adecuados de nutrientes para el crecimiento y desarrollo normal del cultivo mediante el proceso de biorremediación demostrando ser una alternativa amigable con el medio ambiente.

Palabras clave: Nutrición, hortalizas, bio remediación.

ABSTRACT

This research was carried out at Botana Experimental Farm located in the municipality of Pasto, Department of Nariño, to evaluate some agronomic variables of the lettuce crop (*Lactuca sativa* L.) in an aquaponic recirculation system under greenhouse conditions. Within the study rice husk, peat and gravel substrates were evaluated in the aquaponic system with three treatments and a NFT control (Hoagland solution) used mainly for the nutrition of hydroponic crops, this solution is constituted by macro and micronutrients essential for the production of plants. The system was constructed with PVC pipes 4 "long by three meters long located on a metallic structure and 144 plants per module for a total of 504 plants from which a representative sample of the population was taken for the evaluation. A nutritional analysis was carried out for minor elements and phosphorus using the methodology proposed by Salinas and García, in the same way a water analysis was carried out to know the amount of nitrates present in the water and the level of bioremediation carried out by the plants. The statistical design was randomized complete blocks with three repetitions and four treatments per module. As an analysis of costs, an internal rate of return was made with all the expenses generated during the investigation. The aquaponic system of recirculation with substrates obtained adequate values of nutrients for the growth and normal development of the crop through the process of bioremediation proving to be a friendly alternative to the environment.

Keywords: Nutrition, vegetables, bioremediation

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-------------|
| INTRODUCCIÓN..... | 8 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 9 |
| Variables de respuesta del cultivo | 13 |
| 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 <i>et al.</i> , 1976)..... | 14 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 14 |
| CONCLUSIONES..... | 22 |
| RECOMENDACIONES..... | 22 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 22 |

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 (64,20%), seguido de Nariño (16,14%) y Antioquia (12,77%) (Agronet, 2014), con una producción promedio de 60 mil toneladas anuales, (ASOHOFrucol, 2013).

En Nariño este cultivo tiene importancia económica por su producción en diferentes municipios, entre los principales productores de lechuga según (MADR, 2013) están Córdoba (220 Ton), Pasto (140 Ton), Cumbal (133,8 Ton), Contadero (50 Ton) y Aldana (24 Ton). En el mercado existe una alta demanda por este producto y las exigencias por parte del consumidor hacen que sea necesario mejorar el rendimiento de este cultivo para poder suplir una necesidad nacional de 39.800 toneladas anuales y una exportación de 178 toneladas según (ASOHOFrucol, 2006), así, 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 se puede establecer a través de nuevas tecnologías que están apareciendo en diferentes países, entre una de las cuales se encuentra la acuaponía que envuelve la parte agrícola con cultivos como el de hortalizas y a su vez la producción de peces a través de un sistema de recirculación de agua (Rodríguez, 2006).

La acuaponía es el resultado de la combinación entre la hidroponía como método moderno de producción en materiales vegetales y de la acuicultura. Rakocy *et al* (2003) indican que la acuaponía es el cultivo de peces y plantas en un sistema de recirculación cerrada, siendo un sistema bio integrado de producción de alimentos (Diver, 2006)

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 y 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 (Mateus, 2009).

Adler *et al.* (2000) reportaron que las descargas de la acuicultura generan costos adicionales en la producción de peces, de esta forma la acuaponía se presenta como un modelo alternativo y biorremediador del agua para tratar estas descargas.

De esta forma los cultivos hidropónicos de acuerdo con Soria (2012) pueden realizarse de diversas formas, algunas de las cuales hacen uso de sustratos sólidos y es necesario agregar soluciones nutritivas apropiadas para cada tipo de cultivo, lo que fomentará a las plantas a crecer sanas, vigorosas y con excelentes rendimientos. Beltrano y Gimenez (2015) señalan que un cultivo hidropónico es un sistema aislado del suelo, utilizado para cultivar plantas cuyo crecimiento es posible gracias al suministro adecuado de los requerimientos hídricos nutricionales, a través del agua y solución nutritiva.

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) y según HYDROENVIROMENT (2018), la acuaponía es una alternativa ideal para solucionar la problemática de acuicultores de cómo desechar el agua cargada de nitrógeno y ayudar a los agricultores a conseguir nitrógeno para sus plantas.

Por lo anterior con la presente investigación se pretende 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 la Granja Experimental 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).

Diseño experimental y modelo estadístico. 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

(Figura1) 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.

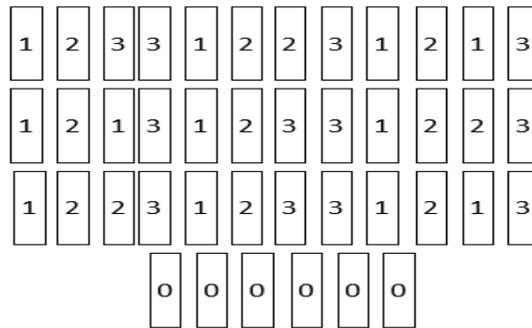


Figura 1. Distribución de los tratamientos de acuaponía.

Infraestructura acuapónica

Unidad experimental. Para el montaje del ensayo (Figura 2) y en cada tratamiento se consideró cuatro tubos (doce por repetición) de PVC de 4” de diámetro y tres metros de longitud, distanciados a 0,25 metros cada uno y perforados en su eje cada 0,25 metros también, con el fin de obtener una densidad de 16 plantas por m², en estos se establecieron recipientes elaborados con malla y en ellos el sustrato correspondiente a cada tratamiento, la evaluación se realizó sobre las diez plantas centrales de cada tubo.

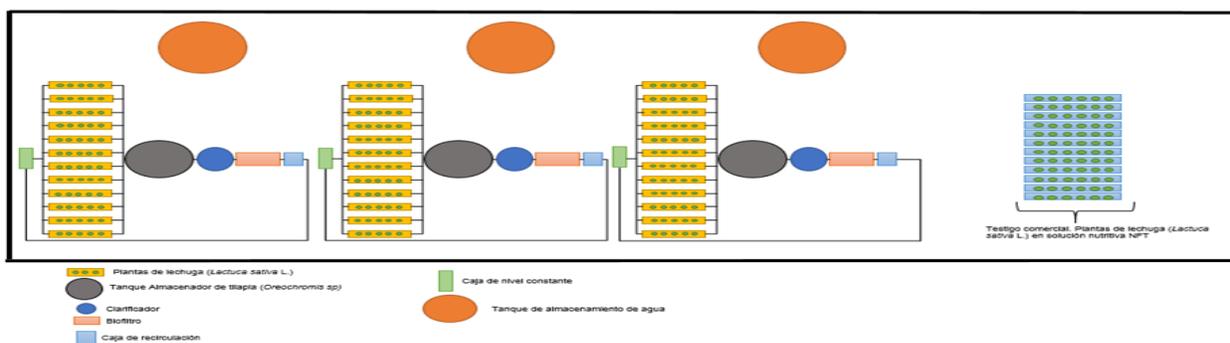


Figura 2. Montaje Experimental de Acuaponía

Clarificador. Se usó un tanque de PVC de 100 litros el cual tenía como función sedimentar los desechos sólidos provenientes del tanque de cultivo.

Biofiltro. Se utilizó un tanque industrial de 330 litros, el agua ingresa desde el clarificador por flujo ascendente el cual distribuye esta de forma uniforme por medio de tubería tipo flauta, se conforma por tres (3) tipos de grava de diferente diámetro, soportada en una malla mosquitera con una base plástica y aireación.

Sumidero o caja de recirculación. Compuesto por un tanque de 80 litros, donde el agua ingresa por rebose desde el biofiltro, en tubería PVC de 1 ½ pulgadas, en el cual está dispuesta la bomba de succión para enviar el agua hacia la caja de nivel constante.

Caja de nivel constante. Se utilizó un tanque rectangular de 80 litros la cual realizaba la distribución del agua a cada uno de los tubos de PVC (Unidad experimental).

Aireación. Se utilizó dos (2) blower RESUN AIR PUMP LP con una potencia de 50 Watts, distribuyendo está a cada uno de los tubos PVC, tanque de cultivo y biofiltro.

Labores Culturales

Germinación y Trasplante. Para la obtención de plántulas de lechuga se depositaron semillas en cubos de espuma de 3 cm por 3 cm los cuales se distribuyeron en bandejas de 34 cm por 52 cm induciendo la germinación y pasados 20 días se determinó la densidad de los sustratos que se ocupó en los vasos de trasplante, que se observan en la Tabla 1. Una vez que las plántulas llegaron a un tamaño adecuado se realizó el trasplante.

Tabla 1. Tratamientos en la evaluación de algunas variables agronómicas en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. *Batavia* bajo un sistema de recirculación de agua.

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

Solución nutritiva del testigo NFT. Para el testigo (solución nutritiva NFT) se utilizó una electrobomba, que impulsó la solución utilizada para nutrir las plantas (Solución de Hoagland, (Tabla.2)), esta solución se envió hacia cada uno de los tubos a través de una manguera de 1"; la solución nutritiva se preparó con macro y micronutrientes en un tanque de 25 litros durante el ciclo del cultivo y se entregó en forma diario para un buen desarrollo de las plantas.

Tabla 2. Composición de la Solución de Hoagland.

| Nutrimiento | Compuesto | Cantidad |
|--------------------|---|-----------------|
| Nitrógeno (N) | CO (NH ₀) ₂ | 60,2 g |
| Fosforo (P) | NaH ₂ PO ₄ .H ₂ O | 42g |
| Potasio (K) | KCl | 71.05 g |
| Calcio (Ca) | C _a CO ₃ | 27,65,6 g |
| Magnesio (Mg) | M _g CO ₃ | 22,19 g |
| Azufre (S) | Na ₂ SO ₄ | 28 g |
| Cobre (Cu) | CuCl ₂ .2H ₂ O | 2,52 g |
| Zinc (Zn) | ZnCl ₂ | 3,78 g |
| Manganeso (Mn) | MnCl ₂ .4H ₂ O | 6,44 g |
| Hierro (Fe) | FeSO ₄ | 32,2 g |
| Molibdeno (Mo) | Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O | 4,55 g |
| Boro (B) | Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O | 15,12 g |

Fuente (Unigarro *et al.*, 2009)

Manejo agronómico del cultivo. Se realizó el control manual de malezas, eliminando las que se encontraban alrededor del invernadero y de igual forma las que se encontraban debajo de las estructuras del cultivo. En cuanto al manejo de plagas y enfermedades se realizó un manejo integrado de plagas tomando como primera medida el control cultural con biopreparados a base de ajo, ají y cebolla, además se observó control biológico realizado por insectos de la familia *coccinellidae* y la especie *Chrysopa*.

Sistema de riego. Se utilizó manguera para riego con nebulizadores ubicados cada 100 cm los cuales se instalaron en la parte superior del invernadero para cada uno de los módulos, lo que permitió controlar la temperatura y humedad relativa dentro del invernadero. Este sistema se automatizó por medio de un timer y una electroválvula accionando el sistema cada 30 minutos.

Variables de respuesta del cultivo

Alturas de las plantas. 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 (Benavides *et al.*, 2010)

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

Índice de área foliar. El índice de área foliar se calculó a través de esta fórmula:

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

Fuente (Hunt, 1982)

Diámetro de la cabeza. 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 (Bravo *et al.*, 2009).

Produccion. Una vez realizada la cosecha, cuando la cabeza de la lechuga estuvo compacta se pesaron cada una de las cabezas (Bravo *et al.*, 2009), con sus raíces utilizando una balanza analítica

Trabajo de laboratorio

El análisis de nutrientes de la parte foliar de las plantas que se describe a continuación desde el muestreo hasta el análisis de los elementos 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).

Procedimiento análisis foliar

Muestreo. Se realizó el muestreo en el cultivo de lechuga teniendo en cuenta la época de recolección del material que fue cuando el cultivo empezó la formación de cabeza y se tomaron 15- 20 hojas jóvenes.

Preparación de muestras para el análisis. Se limpiaron las hojas con un pañito húmedo y se colocaron las muestras a secar a una temperatura de 65°C durante 48 horas. Seguidamente se molieron las hojas con un molino tipo Wiley y se guardó el material en bolsas herméticas.

Obtención de la solución original. Se pesó un gramo de la muestra anteriormente preparada en balones de fondo plano y se agregó lentamente 8 ml de ácido nítrico, se calentaron las muestras hasta obtener una muestra de un color amarillento y se procedió a agregar 3 ml de ácido perclórico, se calentó una vez más las diferentes muestras hasta lograr que tengan una apariencia cristalina, se dejó enfriar y por último se adicionó 1 ml de ácido clorhídrico 1:1. Posteriormente se aforo hasta 50 ml con agua en matraz volumétrico y se trasvaso a un frasco plástico.

Nutrientes

Fosforo. Para este elemento 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. Para los elementos menores 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

Se realizó un análisis de varianza para las variables altura, diámetro de cabeza, número de hojas, índice de área foliar y producción que permitió identificar que no se presentaron diferencias estadísticas entre los sustratos grava, cascarilla de arroz y turba, pero si se establecieron diferencias con respecto al testigo solución nutritiva NFT (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de varianza para las variables altura (cm), diámetro (cm), número de hojas, índice de área foliar, producción (g) del cultivo de lechuga *Lactuca sativa* L. Var. *Batavia* bajo un sistema de recirculación de agua.

| F. Variación | Altura | Diámetro | No De Hojas | IAF | Producción |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| 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 |
| R ² | 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. Según la prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 4), mostro 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.

Tabla 4. Prueba de comparación de promedios de Tukey en la evaluación del cultivo de lechuga *Lactuca sativa* L. Var. *Batavia* 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 ($p > 0,05$)

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

amiento realizado en la investigación. Agroes (2010) manifiestan que el nitrógeno tiene un papel importante en la alimentación de las plantas como factor de crecimiento y desarrollo vegetativo. El nitrógeno es uno de los constituyentes de los compuestos orgánicos de los vegetales debido a que interviene en la multiplicación celular, además es necesario para la formación de los aminoácidos, proteínas, enzimas, etc. De modo que, el aporte del nitrógeno en cantidades óptimas conduce a la obtención de follajes con mayor contenido proteico.

A pesar de que las plantas de la solución nutritiva tuvieron la suficiente cantidad de nutrientes para que estas tuvieran un normal desarrollo, el nitrógeno en las plantas de recirculación fue quizás la causa que contribuyó a que se manifestara diferencias en el crecimiento de las mismas.

Diámetro de cabeza. En la Tabla 4 se observó que no se presentaron diferencias estadísticas entre sustratos y al realizar la comparación con el testigo NFT se encontró que si hubo diferencias estadísticas.

Al respecto Rayder (1999) y Jenni (2005) señalan 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 generando probablemente el espigamiento de las plantas NFT, así lo manifiestan Pérez *et al.* (2008) quienes dicen que la producción de lechuga en la época de verano es la más comprometida por el riesgo de espigado o subida de flor, fisiopatía que afecta también de manera negativa al acogollado de la planta.

La FAO (2008) señala que con temperaturas altas los cultivos necesitan más insumos (nutrientes, agua, radiación solar) para poder mantener su nivel de metabolismo. Para evitar pérdidas importantes de rendimiento a medida que aumente la temperatura. En el cultivo hidropónico se pudo observar como las plantas de lechuga se vieron afectadas por este factor, influyendo a que estas probablemente no tuvieran una formación de cabeza y ya que la lechuga produce un tallo floral en un mismo ciclo, después de haber formado las hojas o cabeza, este producto a veces se daña por floración prematura. Casseres (1980) señala que la temperatura es el factor que tiene más influencia en adelantar la formación y elongación del tallo floral. Cuando es relativamente

alta en poco tiempo aparece el escape floral bajando la calidad de la lechuga pues pierde la forma típica comercial y se torna amarga.

Número de Hojas. La prueba de comparación de promedios de Tukey muestra promedios del número de hojas similar entre tratamientos. La formación de hojas en el cultivo de la lechuga probablemente se vio favorecido para las plantas de acuaponía y de la solución nutritiva por la presencia de micro elementos que se pudo comprobar en el análisis foliar para todos los tratamientos, de esta forma al haber similitud en la presencia de estos, posiblemente contribuyó en la formación de hojas ya que según Buechel (2017) entre más fertilizante reciba un cultivo, más rápido crecerá ya que si a un cultivo se le proporciona muy poco fertilizante, la respuesta del crecimiento de la planta será deficiente, pero si las cantidades de fertilizante son excesivas, el crecimiento de la planta se desacelerará habrá una posibilidad de que las raíces se dañen o que la planta muera a causa de la alta cantidad de sales del fertilizante y dado que tanto las plantas de acuaponía como las del testigo NFT tuvieron sus respectivas soluciones nutricionales explicaría la similitud en esta variable.

Índice de Área Foliar. Para IAF no se presentaron diferencias estadísticas según la prueba de comparación de promedios de Tukey (Tabla 4). A los 60 días el IAF de los tratamientos oscilo entre 2,36 y 1,69. Rincón *et al.* (1991) reportan valores máximos de IAF durante todo el periodo del cultivo con valores de 7,5 en la recolección de lechugas, produciéndose el incremento más elevado en los 30 días previos a la recolección. De esta manera se observa que el bajo índice de área foliar se presenta en condiciones de invernadero ya que según Curtis y Läuchli, (1986) reportan que hay una disminución en la proporción de masa seca acumulada en los tejidos foliares disminuyéndose el área foliar específica (incremento de biomasa por unidad de área foliar), el principal factor de este proceso es la temperatura ya que la evapotranspiración aumenta considerablemente en las plantas reduciendo el porcentaje de follaje total. Canna (2002) manifiesta que cuanto más aumente la temperatura la excesiva respiración que se produce es desfavorable porque implica que quedará menos energía disponible para el desarrollo de las hojas y por lo tanto el índice de área foliar disminuirá.

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 ton. ha⁻¹ que comparado con la producción hidropónica reportada en un estudio similar realizado por Guerrero *et al.* (2014) fue de 87,03 ton.

ha⁻¹ dando en el sistema acuapónico e hidropónico resultados menores, así se puede observar en la tabla de comparación de promedios de Tukey.

Valverde, (2013) reporta que el peso de una lechuga en un sistema hidropónico en promedio es de 250 g. De esta manera se observó que el peso total de las lechugas en el sistema acuapónico tuvo mayores pesos que en la solución nutritiva de la presente investigación, 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⁻), por lo cual en términos químicos es un proceso de oxidación (Myrold, 2005; Schmidt, 1982). De esta manera los nitritos fueron aprovechados por las plantas de lechuga, favoreciendo así a un uso más eficiente y sustentable del agua y Segovia (2008) obtuvo una reducción 57.86% 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.

Análisis foliar. Se realizó un análisis de cuadrados medios para las variables cobre, manganeso, hierro, zinc y fósforo que permitió establecer diferencias significativas entre los tratamientos realizados entre la turba, cascarilla de arroz y grava en el cultivo de lechuga bajo condiciones de acuaponía además de su comparación con un cultivo hidropónico.

Fosforo y Zinc. En la Tabla 5, 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 5. Cuadrados medios para las variables cobre (Cu) (ppm), manganeso (Mn) (ppm), hierro (Fe) (ppm), zinc (Zn) (ppm) y fósforo (P) (%).

| 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)

Según la prueba de promedios por medio de Tukey (Tabla 6), permitió observar que los sustratos grava (74,10 mg/kg), turba (66,12 ppm) y cascarilla (65,59 ppm) para el elemento zinc fueron tratamientos iguales estadísticamente y presentaron diferencias estadísticas con respecto a la solución nutritiva NFT (29,78 ppm), 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%).

Tabla 6. Promedios de las variables cobre (Cu) (ppm), manganeso (Mn) (ppm), hierro (Fe) (ppm), zinc (Fe) (ppm) y fósforo (P) (%).

| 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 |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

De acuerdo al análisis de aguas realizado en la presente investigación que se muestra en la Tabla 7, 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 fosforo y zinc ya que estos elementos presentan sinergismo de esta manera Alarcón (2008) afirma que el sinergismo se presenta con el aumento en la concentración de un elemento que favorece la absorción del otro por lo tanto al haber mayor cantidad de nitratos (NO_3) en el agua de recirculación hubo sinergismo con el elemento fósforo y este a su vez presento sinergismo con el zinc, lo que explicaría los 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 7. 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 (NH₃/ NH₄⁺) 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 |

Análisis parcial de costos. En esta investigación se tuvo en cuenta los gastos relacionados con el costo del montaje del Sistema acuapónico, consumo eléctrico, los sustratos, mano de obra, entre otros insumos necesarios para el funcionamiento del sistema.

El análisis de la tasa interna de retorno Tabla 8 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.

Tabla 8. Análisis preliminar de costos para un cultivo de lechuga *Lactuca sativa* L. Var. *Batavia* bajo un sistema de recirculación de agua.

| Actividades | Valor Total (Mes \$) | Año 0 | Año 1 | Año 2 | Año 3 |
|--|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Labores | | | | | |
| Preparación del terreno | 100.000 | 100.000 | 0 | 0 | 0 |
| Instalación del montaje | 1.500.000 | 1.500.000 | 0 | 0 | 0 |
| Control de plagas, enfermedades y malezas | 80.000 | 80.000 | 80.000 | 80.000 | 80.000 |
| Cosecha | 160.000 | 480.000 | 480.000 | 480.000 | 480.000 |
| Subtotal | 1.840.000 | 2.160.000 | 560.000 | 560.000 | 560.000 |

| | | | | | |
|--|-------------|------------|------------|------------|------------|
| Materiales varios: | | | | | |
| Tuberías, accesorios, tanques, motobombas, aireadores, estructuras metálicas de soporte | 18.308.953 | 18.308.953 | 0 | 0 | 0 |
| Material vegetal, sustratos e insumos agrícolas | 1.200.000 | 1.200.000 | 0 | 0 | 0 |
| Peces concentrados e insumos pecuarios | 900.000 | 900.000 | 0 | 0 | 0 |
| Subtotal | 20.408.953 | 20.408.953 | 0 | 0 | 0 |
| Total, Costos | 22.248.953 | | 560.000 | 560.000 | 560.000 |
| Producción promedio | 0 | 0 | 47.040.000 | 47.040.000 | 47.040.000 |
| Ingreso Neto | -22.248.953 | 0 | 46.480.000 | 46.480.000 | 46.480.000 |
| tir 101 % | | | | | |

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 relación Tasa interna de retorno obtenido para este estudio indica que el proyecto bajo condiciones de invernadero no genera utilidades monetarias en los primeros ciclos del cultivo.

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

RECOMENDACIONES

Realizar un montaje con materiales más accesibles para los agricultores.

Utilizar especies que sean de la misma zona climática para que no haya cambios drásticos de temperatura y de esta forma que los peces y plantas no se vean afectados.

Realizar análisis microbiológico para conocer los microorganismos presentes en este medio procurando la inocuidad de estas hortalizas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adler, P.R., Harper, J.K., Wade, E.M., Takeda, F. & Summerfelt, S.T. (2000). Economic analysis of an aquaponic system for the integrated production of rainbow trout and plants. *International Journal of Recirculating Aquaculture*. 1: 10-13.

AGROES. (2010). El nitrógeno, papel en la alimentación de las plantas. Recuperado de <http://www.agroes.es/agricultura/abonos/117-nitrogeno-funcion-en-la-alimentacion-de-las-plantas>.

AGRONET. (2014). Manual del cultivo de la lechuga. 2016. Recuperado de <https://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/MANUAL%20DEL%20CULTIVO%20DE%20LA%20LECHUGA.pdf>.

Alarcon, A. (2008). Historia e introducción a la nutrición mineral: Elementos esenciales. Módulo 1. Master en nutrición vegetal en cultivos hortícolas intensivos. Área edafológica y química agrícola ETSIA. España: Universidad Politécnica de Cartagena. 80 p.

ASOHOFRUCOL. (2006). Plan Hortícola Nacional. Recuperado de http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_28_PHN.pdf

ASOHOFRUCOL. (2013). Lechuga. Recuperado de http://www.asohofrucol.com.co/hortaliza_detalle.php?id=128.

Beltrano, J., & Gimenez, D. (2015). Cultivo en hidroponía. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de la Plata. Ed. De La Universidad de La Plata. 181 p

Benavides, L., Arcos, B. & Benavides, O. (2010). Evaluación de dos sustratos y dos dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero en lechuga *Lactuca sativa* L. Tesis de Grado Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, Pasto. 20 p.

Bravo, S., Paspur, J., Unigarro, A. & España, J. (2009). Evaluación de la fertilización con fósforo en lechuga *Lactuca Sativa* L. en el Altiplano de Pasto, Nariño. Tesis de grado Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, Pasto. 20 p.

Buechel, T. (2017). Relación entre el fertilizante y el estiramiento de las plantas. Recuperado de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/relacion-entre-el-fertilizante-y-el-estiramiento-de-las-plantas/>.

Canna. (2002). Influencia de la temperatura ambiental en las plantas. Recuperado de http://www.canna.es/influencia_temperatura_ambiental_en_las_plantas

Cásseres, E. (1980). Producción de hortalizas. Production of vegetables. *Libros y Materiales Educativos (IICA)*, (42).

Curtis, P.S. & A. Läuchli. (1986). The role of leaf area development and photosynthetic capacity in determining growth of kenat under moderate salt stress. *Aust. J. Plant Physiol.* 18, 553-565

Diver, S. (2006). *Aquaponics – Integration of Hydroponics with Aquaculture*. ATTRA – National Sustainable Agriculture Information Service. North Carolina: NCAT Agriculture Specialist. 28p.

FAO - ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. (2008). Efectos de la temperatura en los cultivos. 24p. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/006/x8234s/x8234s08.htm#TopOfPage>.

Guerrero, M., Revelo, J., Benavides, O., Chaves, G., Moncayo, C. (2014). Evaluación de sustratos en un cultivo de lechuga bajo un sistema hidropónico en el municipio de Pasto. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 31(1): 3-16.

HYDROENVIROMENT (2018). Acuaponía. Recuperado de https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=147

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS MEDIO AMBIENTALES. IDEAM. (2018). Datos Meteorológicos". Recuperado de <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.

Ministerio De Agricultura & Desarrollo Rural (MADR). (2013). Consolidado agropecuario de Nariño. Pasto: MADR. 186 p.

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. Virgen Islands.

Perez, B.; Del Cura Lopez, S.; Saenz, E.; Martin. J.; Calvo, M. (2008). Resistencia a subida a flor en cultivares de lechuga (*Lactuca sativa* sp) tipo romana en verano al aire libre.

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.

Rakocy J, Shultz, R.C., Bailey, D.S., & Thoman, E.S. (2003). Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. In South Pacific Soilless Culture Conference-SPSCC 648 (pp. 63-69).

Rayder, E.J. (1999). *Lettuce endive and chicory*. New York: CAB Intl.

Rincón L., Balsalobre E., Saez J., Madrid R. (1991). Extracción de macronutrientes en cultivo de lechuga iceberg. Actas del II congreso Nacional de Fertirrigación, Almería. 213-220p.

Rodriguez de la Rocha, S. (2006). *Hidroponía Agricultura y Bienestar*. Universidad Autonoma de Chihuahua, Mexico 175 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.

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

Soria, J. (2012). Hidroponía y acuaristica del Caribe. 51 p. Recuperado de http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_247_Curso%20Hidropon%C3%A9tica%20Basica.pdf

Unger, I.M., P.P. Motavalli Y R.-M. Muzika. (2009) a. Changes in soil chemical properties with flooding: A field laboratory approach. *Agr. Ecosyst. Environ.* 131: 105-110.

Unigarro, A.; Insuasty, L.; Chaves, G. (2009). Manual de prácticas de laboratorio Fertilidad de suelos. Pasto: Universidad de Nariño. 114p.

Valadez A. (1997). Producción de hortalizas. 6ª. Edic. México: Limusa, SACV. 298 p.

Valverde. (2013). Establecimiento de curvas de absorción para dos tipos de lechuga bajo el sistema hidropónico de NFT modificado. Costa Rica: Universidad de Costa Rica. 63p.