



ORINOQUIA

ISSN: 0121-3709

ISSN: 2011-2629

Instituto de Investigaciones de la Orinoquia Colombiana

Riaño-Castillo, Edna R.; Caicedo-Gegén, Lida; Torres-Mesa, Ana; Hurtado-Giraldo, Hernán; Gómez-Ramírez, Edwin  
Cambios en los niveles de nutrientes en solución hidropónica de espinaca  
baby ( *Spinacia oleracea* L.), para su futura aplicación en acuapónica  
ORINOQUIA, vol. 23, núm. 1, 2019, Enero-Junio, pp. 73-84  
Instituto de Investigaciones de la Orinoquia Colombiana

DOI: 10.22579/20112629.544

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89660466009>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEH  
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc  
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso  
abierto

## Cambios en los niveles de nutrientes en solución hidropónica de espinaca baby (*Spinacia oleracea* L.), para su futura aplicación en acuaponía

### Changes in nutrient levels in hydroponic solution of baby spinach (*Spinacia oleracea* L.), for future application in aquaponics

### Mudanças nos níveis de nutrientes em solução hidropônica de spinaca baby (*Spinacia oleracea* L.), para sua futura aplicação na acuaponia

Edna R. Riaño-Castillo<sup>1</sup>, Lida Caicedo-Gegén<sup>1</sup>, Ana Torres-Mesa<sup>2</sup>, Hernán Hurtado-Giraldo<sup>3</sup>, Edwin Gómez-Ramírez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Biol, Msc. Asistente de Investigación. Grupo de Ecotoxicología, evolución medio Ambiente y Conservación. Universidad Militar Nueva Granada. Cajicá Km 2 vía Zipaquirá-Cajicá. Colombia.

<sup>2</sup> Biol, Msc. Docente Investigador. Grupo de Ecotoxicología, evolución medio Ambiente y Conservación. Universidad Militar Nueva Granada. Cajicá Km 2 vía Zipaquirá-Cajicá. Colombia.

<sup>3</sup> Biol; PhD; Grupo de Neurociencia. Universidad de Santander.

Email: edwin.gomez@unimilitar.edu.co

**Recibido:** 13 de agosto de 2018

**Aceptado:** 05 de junio de 2019

#### Resumen

La espinaca es una planta de alto valor nutricional, mostrando gran acogida en su presentación "baby". La producción en hidroponía está limitada por la solución nutritiva, siendo la acuaponía un potencial complemento a este factor limitante. El objetivo de esta investigación fue definir los cambios de niveles de nutrientes en la solución hidropónica en espinaca baby. Se trabajó con 24 plántulas de espinaca en hidroponía de cama flotante usando solución "La Molina" en tanques de 50 L; se realizaron 5 repeticiones y 3 réplicas. Para cada réplica se cosechó cada tres semanas, registrando semanalmente variables fisicoquímicas de la solución. Además, se llevó a cabo un muestreo al inicio y final de cada réplica, evaluando las siguientes variables: número y longitud de hojas, área foliar, peso fresco y seco de la parte aérea. Se obtuvo en orden descendiente la siguiente extracción de macronutriente:  $N > K^+ > Ca^{2+} > P$  y micronutrientes:  $Mn^{2+} > Fe^{2+}$ . Durante el ciclo de cultivo el pH de la solución osciló entre 6.00-6.97, el oxígeno disuelto entre 4.93-7.54 mg/L y la conductividad disminuyó constantemente a lo largo del ciclo, inició en 1558-1592  $\mu S/cm$  y finalizó entre 1140-1275  $\mu S/cm$ . Se obtuvo un TCC= 0.00002-0.00003 g/cm<sup>2</sup>/día; TRC=0.16, 0.15 y 0.14 g/g/día y TAN=0.006, 0.005 y 0.006 g/cm<sup>2</sup>/día para las réplicas 1, 2 y 3, respectivamente. Este estudio revela que esta planta podría tener buenos rendimientos en un sistema acuapónico, especialmente por los requerimientos de N,  $Ca^{2+} > P$ , no obstante, se deberían adicionar bajas cantidades de algunos micronutrientes, que suelen ser escasos en los sistemas acuapónicos.

**Palabras clave:** acuaponía; sistema de balsa flotante; parámetros productivos; solución nutritiva; *Spinacia oleracea* L.

## Abstract

Baby spinach has a high nutritional value, and good entry in specialized markets. Its hydroponic production is limited by nutrient solution, and the aquaponic systems can avoid this limitation. The goal in this work was to evaluate nutrient level changes in hydroponic solution during baby spinach crop. 24 spinach plants were planted in 50 L tanks in floating hydroponic beds, using a modified "La Molina" nutrient solution. They were carried out 5 replications and 3 harvest. Water physicochemical values were registered every week, and plants were harvested after three weeks. Plant samples were also taken before planting (initial time) and after three weeks. Number of leaves, leaf length, leaf area, fresh and dry weight of the aerial part of each plant were recorded. The macronutrient extraction was obtained in descending order:  $N > P > K > Ca^{2+}$  and micronutrients:  $Mn^{2+} > Fe^{2+}$ . pH values were maintained between 6.00-6.97, and DO levels were 4.93-7.54 mg/L. Initial conductivity was about 1558-1592  $\mu S/cm$  and finally diminished to 1140-1275  $\mu S/cm$ .  $CGR = 0.00002-0.00003$  g/cm<sup>2</sup>/day;  $RGR = 0.16, 0.15$  y  $0.14$  g/g/day and  $NAR = 0.006, 0.005$  y  $0.006$  g/cm<sup>2</sup>/day for replica 1, 2 and 3 respectively. This study reveals that this plant could have good field performance in aquaponic system, especially due to the requirements of N,  $Ca^{2+} > P$ , however low amounts of some micronutrients should be added, which are usually scarce in aquaponic systems

**Key words:** aquaponics; raft system; nutrient solution; *Spinacia oleracea* L.

## Resumo

O espinafre é uma planta de alto valor nutricional, apresentando grande aceitação em sua apresentação "baby". A produção de hidroponia é limitada pela solução nutritiva, com a aquaponia sendo um complemento potencial para esse fator limitante. O objetivo desta pesquisa foi definir as alterações dos níveis de nutrientes na solução hidropônica em espinafre bebê. Trabalhamos com 24 mudas de espinafre em hidroponia de leito flutuante usando solução "La Molina" em tanques de 50 L; 5 repetições e 3 repetições foram realizadas. Para cada replicação, foi colhida a cada três semanas, registrando-se variáveis físico-químicas semanais da solução. Além disso, foi realizada uma amostragem no início e no final de cada réplica, avaliando-se as seguintes variáveis: número e comprimento de folhas, área foliar, massa fresca e seca da parte aérea. A seguinte extração de macronutrientes foi obtida em ordem decrescente:  $N > K > Ca^{2+} > P$  e micronutrientes:  $Mn^{2+} > Fe^{2+}$ . Durante o ciclo de cultivo, o pH da solução variou entre 6,00-6,97, o oxigênio dissolvido entre 4,93-7,54 mg/L e a condutividade diminuiu constantemente ao longo do ciclo, começando em 1558-1592  $\mu S/cm$  e terminando entre 1140-1275  $\mu S/cm$ . Obteve-se um  $TCC = 0,00002-0,00003$  g / cm<sup>2</sup> / dia;  $CRT = 0,16, 0,15$  e  $0,14$  g / g / dia e  $TAN = 0,006, 0,005$  e  $0,006$  g / cm<sup>2</sup> / dia para os replicados 1, 2 e 3, respectivamente. Este estudo revela que esta planta pode ter bons rendimentos em um sistema aquapônico, especialmente por causa das exigências de N,  $Ca^{2+} > P$ , porém pequenas quantidades de alguns micronutrientes devem ser adicionadas, que geralmente são escassas em sistemas aquapônicos.

**Palavras-chave:** aquaponia; sistema de jangada flutuante; solução nutritiva; *Spinacia oleracea* L.

## Introducción

La espinaca baby (*Spinacia oleracea* L.) es una planta herbácea que pertenece a la familia Chenopodiaceae y es una de las hortalizas más populares y cultivadas nacional e internacionalmente (Xiaoxia et al., 2014). En el año 2017, a nivel mundial se produjeron 27.694.942 toneladas de espinaca, siendo China el principal productor con 25.600.755 toneladas, seguido por Estados Unidos con 332.060 toneladas (FAO, 2017). En Colombia el área cultivada de espinaca llega a 300 hectáreas, distribuidas en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Meta y Norte de Santander con una producción total de 5.996 toneladas (Agronet, 2016).

En general, la espinaca es considerada de alto valor nutricional por su aporte de vitamina C, vitamina A, vitamina K, la cual participa en la formación de la protrombina, necesaria en la coagulación de la sangre; aporta hierro que es el constituyente esencial de la hemoglobina y mioglobina (Sanhriye, 2010). Es una buena fuente de ácido fólico y es importante en madres gestantes, pues intervienen en el desarrollo y cierre del

tubo neural (Nxawe et al., 2009; Jiménez et al., 2010; Hao et al., 2015).

Actualmente, la demanda de hortalizas baby ha incrementado por su gran acogida en Estados Unidos y Europa debido a su presentación llamativa (hojas de 10 a 12 cm) y alto valor gastronómico (Fernandez et al., 2015). Además, presenta ventajas entre las cuales se destacan mayor producción por m<sup>2</sup> y menor tiempo entre cosechas, ya que la cosecha se realiza de 5 a 6 semanas después de la siembra, mientras que la espinaca tradicional se llega a cosechar entre las 8 o 10 semanas después de la siembra (Fernández et al., 2007; Purquerio y Melo, 2011). Para su adecuado crecimiento requiere un pH entre 5.5-6.8; oxígeno disuelto (OD) superior a 4 mg/L; humedad relativa entre 60-80% y la temperatura debe ser mínima de 8°C, máxima de 20-23°C y óptima de 18 °C (Martínez et al., 2003; PHN, 2006; Brechner y Villiers, 2013).

El uso inapropiado (excesivo) de fertilizantes y plaguicidas presenta riesgos sobre la salud humana, además

de tener efectos adversos en los cuerpos de agua y en la rentabilidad del cultivo (Villarreal *et al.*, 2006; Gil *et al.*, 2007). Esto ha conducido a la adopción de métodos de cultivo más amigables con el ambiente, como la hidroponía y la acuaponía (combinación de un sistema cerrado de recirculación para la producción de peces con un sistema hidropónico) (Timmons y Ebeling, 2007; Ramírez *et al.*, 2009; Ramírez *et al.*, 2011). A diferencia de la hidroponía, donde los nutrientes deben suministrarse artificialmente a través de la solución nutritiva para cumplir los requerimientos nutricionales del cultivo (Jin *et al.*, 2013), la acuaponía no requiere de la preparación de estas soluciones hidropónicas, puesto que a partir de varios procesos como: la mineralización o degradación de los sólidos generados por el alimento no consumido y las heces; la excreción de productos nitrogenados e iones por los peces, sumado al proceso de nitrificación de las bacterias (transformación de amonio a nitrito y nitrato), generan nutrientes en el sistema que pueden ser aprovechados para el crecimiento de las plantas, lo cual, trae como ventaja la disminución de fertilizantes y plaguicidas, se evita la contaminación de los cuerpos acuíferos y el uso excesivo de agua, causado en su mayoría por los cultivos tradicionales del sector agrícola (Nelson, 2008).

Para optimizar la producción en los sistemas acuapónicos aún es necesario establecer los requerimientos nutricionales de las plantas cultivadas, los nutrientes acumulados en dichos sistemas, y la relación entre plantas y peces. Por este motivo, el propósito de esta investigación es definir los cambios de nivel en los diferentes elementos de una solución hidropónica en cultivos de espinaca baby (*Spinacia oleracea* L.), con el fin de aportar conocimiento sobre sus requerimientos nutricionales y así mismo aplicar esta información para futuros cultivos en sistemas acuapónicos.

## **Materiales y métodos**

### ***Localización y descripción del área de estudio***

El estudio se llevó a cabo en los Laboratorios de Fisiología Animal y Acuaponía de la Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá (Cundinamarca), Colombia (N 4° 56' 29.67"; O 74° 00' 54.50"), a 2.558 msnm.

### ***Material biológico***

Se trabajó con plántulas de espinaca baby (*S. oleracea* L., FULLA F1) las cuales presentaban de tres a cuatro hojas verdaderas adquiridas en la Fundación para el Desarrollo Universitario (FDU) de la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

## ***Diseño experimental***

Se evaluó un tratamiento (hidroponía de cama flotante) con 5 repeticiones. Cada unidad experimental consistió de un tanque de 50 L (60 x 45 cm) y una lámina de poliestireno (2 cm de espesor) que se utilizó como sustrato para sembrar las plántulas. Los montajes contaron con aireación constante por medio de una Turbina-Blower (GF 250-280 Watt), en la cual se introdujeron dos difusores por unidad experimental.

Las paredes externas de los tanques fueron cubiertas con polietileno negro con el fin de evitar el crecimiento de algas; se colocaron termómetros de máximas y mínimas: en la parte superior, a 1.5 m de los tanques para medir la temperatura ambiental y otros dentro de los tanques para medir la temperatura de la solución nutritiva.

### ***Siembra de plántulas y criterio de cosecha***

Las plantas fueron cultivadas en tres períodos diferentes (3 réplicas): la primera en el período del 10 noviembre al 3 diciembre del 2017; la segunda, del 9 diciembre al 31 de diciembre del 2017, y la tercera, del 13 enero al 5 de febrero del 2018. Por unidad experimental se sembró una densidad de 24 plántulas, para un total de 120 plantas por cada réplica del experimento densidad de siembra: 89 plantas/m<sup>2</sup>. Las plántulas fueron sembradas sobre la lámina de poliestireno a una distancia de 6 cm entre planta y planta. En cada alveolo de la lámina de poliestireno se colocó una plántula con fibra de coco para generar un mayor soporte y estabilidad. Cada lámina de poliestireno fue colocada en la unidad experimental y las raíces se sumergieron en 50L de solución nutritiva. Adicionalmente, las plántulas fueron sembradas bajo polisombra (50%), la cual fue instalada a 2 m de altura sobre el suelo con el fin de generar un microclima para el cultivo y controlar la radiación solar que se presenta en el invernadero

El criterio de cosecha de cada réplica fue de tres semanas (23 días), con una longitud de las hojas mayor de 8 cm, longitud establecida para la cosecha de espinaca baby (PHN, 2006; Fernández *et al.*, 2007).

### ***Solución nutritiva***

Para preparar la solución nutritiva se utilizó agua del acueducto, analizando previamente sus niveles (mg/L) de amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), potasio (K<sup>+</sup>), calcio (Ca<sup>2+</sup>), magnesio (Mg<sup>2+</sup>), manganeso (Mn<sup>2+</sup>), hierro (Fe<sup>2+</sup>), fósforo (P) y sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). A partir de los datos obtenidos, se preparó la solución

nutritiva utilizando como referencia la solución de la Molina (Universidad Nacional Agraria), en la cual se realizó una modificación de los fertilizantes utilizados para los macronutrientes y la concentración final de cada uno de los elementos en mg/L de la solución. Para la solución A se utilizó Nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ), Fosfato de amonio ( $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ) y Nitrato de calcio ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ). Entre tanto, para la solución B se utilizó Sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), Quelato de hierro (DTPA Fe 11.3%), Sulfato de manganeso ( $\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6$ ), Ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ), Sulfato de zinc ( $\text{ZnSO}_4$ ), Sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) y Molibdato de amonio ( $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ ). La composición final de la solución nutritiva presentó las siguientes concentraciones en mg/L: N (165);  $\text{K}^+$  (214);  $\text{Ca}^{2+}$  (135); P (37);  $\text{Mg}^{2+}$  (49);  $\text{S}^{2+}$  (48);  $\text{Fe}^{2+}$  (1.1); Mn (0.5);  $\text{Cu}^{2+}$  (0.1);  $\text{Zn}^{2+}$  (0.15);  $\text{B}^{3+}$  (0.5);  $\text{Mo}^{4+}$  (0.05), con un pH inicial de 6.5 y una conductividad eléctrica entre 1558-1592  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Las soluciones A y B se prepararon como soluciones concentradas, de las cuales se tomaron 5 mL de solución concentrada A y 2 mL de la solución concentrada B para preparar 1 L de solución nutritiva; esta relación se aplicó para 600 L de solución nutritiva requerida por cada réplica del experimento.

### Variables fisicoquímicas

Semanalmente se registraron  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  por medio del colorímetro Spectroquant® Multy y con kits de alta sensibilidad de MERCK®. Adicionalmente se registro el  $\text{Ca}^{2+}$  con el equipo espectrofotómetro ELISA EZ Read 2000; la temperatura máxima y mínima del ambiente y del agua con termómetros de máximas y mínimas; el pH, oxígeno disuelto (OD-mg/L), conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) con la sonda multiparamétrica HANNA instruments HI 9829X. Con el fin de corregir la pérdida por evapotranspiración se completó semanalmente el nivel del agua a 50 L en cada una de las unidades experimentales.

### Parámetros productivos

Para el análisis de crecimiento se realizaron muestreos al inicio y al final del experimento, cosechando el 10% del número total de plantas por réplica. Se registraron número de hojas, longitud de hojas (cm), área foliar ( $\text{cm}^2/\text{planta}$ ), peso fresco y seco (g/planta) de la parte aérea de cada planta. El secado de las plantas fue realizado en una cámara de secado (FD 115 Binder) a  $70^{\circ}\text{C}$  durante 42 horas. Este procedimiento se llevó a cabo en cada réplica del experimento.

Se escanearon las hojas de las plantas cosechadas y usando el software ImageJ de libre distribución en internet (<http://imagej.nih.gov/ij/>) se calculó el área foliar de cada una de las plantas. Los datos obtenidos de biomasa seca y área foliar se emplearon para analizar el crecimiento de las plantas (Tabla 1) (Hoyos *et al.*, 2009).

### Análisis estadístico

Los resultados obtenidos en los cambios en los niveles de nutrientes ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ) en cada una de las réplicas del experimento fueron evaluadas con la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, para contrastar la normalidad o la homogeneidad de los datos. Se realizó un análisis de varianza implementando la prueba ANOVA y Tukey, al nivel de significancia del 5% ( $p > 0.05$ ). Para ello, se empleó el paquete estadístico R versión 2.12.2 de libre distribución en internet (<http://r-project.softonic.com/>).

Adicionalmente, con los resultados obtenidos en parámetros fisicoquímicos (pH, OD, temperatura y conductividad eléctrica) y en crecimiento (longitud de hoja, número de hojas, área foliar, peso fresco y seco de la parte radicular y aérea) en cada una de las réplicas del experimento se calculó el promedio  $\pm$  desviación estándar.

**Tabla 1.** Fórmulas para índices de crecimiento en plantas.

Índice de crecimiento	Fórmula	Unidades
Tasa de crecimiento del cultivo	$\text{TCC} = (1/\text{AT}) \times (\text{PS}_2 - \text{PS}_1 / \text{T}_2 - \text{T}_1)$	$\text{g}/(\text{cm}^2\text{día})$
Tasa relativa de crecimiento	$\text{TCR} = \text{LnPS}_2 - \text{LnPS}_1 / \text{T}_2 - \text{T}_1$	$\text{g}/(\text{g día})$
Tasa de asimilación neta	$\text{TAN} = \text{PS}_2 - \text{PS}_1 / \text{T}_1 - \text{T}_2 \times \text{LnAF}_2 - \text{LnAF}_1 / \text{AF}_2 - \text{AF}_1$	$\text{g}/(\text{cm}^2\text{día})$
Sobrevivencia	$\text{S} = 100 \times (\text{número de plantas final}/\text{número de plantas inicial})$	%

AT= área del terreno,  $\text{PS}_2$ = peso seco final,  $\text{PS}_1$ = peso seco inicial,  $\text{T}_2$ = tiempo final,  $\text{T}_1$ = tiempo inicial,  $\text{AF}_2$ = área foliar final,  $\text{AF}_1$ = área foliar inicial.



## Resultados

### ***Variables fisicoquímicas y cambio de niveles de nutrientes en solución hidropónica***

Durante las tres semanas de cultivo en cada una de las réplicas del experimento no se observaron síntomas por deficiencia de nutrientes en las plantas y se encontró una disminución de los macro y micronutrientes, mostrando diferencias significativas de  $p > 0.05$  entre las semanas del cultivo. Se observó una mayor asimilación por la planta de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) con 76.6, 69.1 y 73.8 mg/L, seguido de potasio ( $\text{K}^+$ ) con 79, 70.8 y 25.8 mg/L; calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) con 46.38, 48.08 y 19.08 mg/L; fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) con 13.86, 10.68 y 7.26 mg/L; manganeso ( $\text{Mn}^{2+}$ ) con 0.63, 0.61 y 0.5 mg/L e hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) con 0.36, 0.46 y 0.46 mg/L para la réplica 1, 2 y 3 de cada nutriente respectivamente (Tabla 2). Con respecto al amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), se observó para el amonio una variación de los datos durante las tres semanas de cada réplica y el nitrito aumentó en el transcurso de las semanas.

La temperatura promedio del agua se mantuvo en un rango de  $14.41 \pm 0.25$  –  $21.0 \pm 0.57^\circ\text{C}$ ; la temperatura máxima del ambiente fue de  $32^\circ\text{C}$  y la mínima fue de  $6^\circ\text{C}$ . El pH osciló entre 6.00-6.97 y el oxígeno disuelto (OD) entre 4.93-7.54 mg/L. Se inició con una conductividad eléctrica de 1558, 1581 y 1592  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y al final de cada experimento disminuyó a 1275, 1140 y 1244  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para las réplicas 1, 2 y 3 respectivamente (Tabla 3).

### ***Análisis crecimiento y parámetros productivos***

Los datos de crecimiento en términos de peso fresco y seco de la parte aérea, número de hojas, longitud de hojas y área foliar son ilustrados en la tabla 4. No se presentó diferencias significativas en peso y número de hojas entre cada réplica del experimento. Por otra parte, en la tercera réplica las plantas de espinaca presentaron menor longitud de hojas ( $7.13 \pm 0.54$  cm) y área foliar ( $352 \pm 56.9$  cm<sup>2</sup> AF) frente a la primera ( $11.92 \pm 1.98$  cm de longitud y  $439.5 \pm 99$  cm<sup>2</sup> de AF) y segunda réplica ( $10.34 \pm 1.07$  cm de longitud y  $519 \pm 139$  cm<sup>2</sup> de AF), exhibiendo diferencias significativas de  $p > 0.05$ . Finalmente, la sobrevivencia de las plantas fue mayor del 94% y el análisis de crecimiento en tasa de crecimiento de cultivo (TCC), tasa relativa de crecimiento (TRC) y tasa de asimilación neta (TAN) se ilustran en la tabla 5.

## Discusión

### ***Cambio en los niveles de nutrientes disueltos en los cultivos de *Espinaca baby* (*S. oleracea* L.)***

Durante el ciclo de cultivo los datos obtenidos en pH y OD de la solución nutritiva se mantuvieron dentro de

los valores reportados como adecuados para el desarrollo de las plantas de espinaca (Martínez *et al.*, 2003; Brechner y Villiers, 2013). La conductividad disminuyó constantemente a lo largo del ciclo de cultivo de cada réplica, evidenciando la disminución en la cantidad de sales solubles de la solución nutritiva (Hoyos *et al.*, 2009).

A partir del análisis de las variables fisicoquímicas se observó en orden descendiente la siguiente disminución de macronutrientes:  $\text{N} > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{P}$  (Tabla 2). Estos macronutrientes son considerados como algunos de los elementos esenciales, es decir, elementos que tienen una función en los procesos metabólicos que son fundamentales para el crecimiento y desarrollo de las plantas durante su ciclo de vida (Barker y Pilbeam, 2006).

Las plantas asimilan el nitrógeno (N) en forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ionizado ( $\text{NH}_4^+$ ); sin embargo, tienden a absorber más la forma de  $\text{NO}_3^-$  que la de  $\text{NH}_4^+$ , a una proporción de 75:25 ( $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ) aproximadamente (Cockx y Simonne, 2011). Una de las razones de tomar más nitrato es que este puede ser almacenado en las células sin tener un efecto tóxico para la planta, mientras que el amonio ionizado es tóxico incluso en bajas concentraciones (Barker y Pilbeam, 2006). Durante los 23 días de cultivo, la variación en el nivel de  $\text{NH}_4^+$  en los cultivos de espinaca osciló entre un rango de 1.94 a 5.52 mg/L y el  $\text{NO}_3^-$  osciló entre 69.1 a 76.6 mg/L (Tabla 2). Según Taiz y Zeiger (2006) las plantas toman como fuente de nitrógeno el  $\text{NH}_4^+$ , principalmente para la división celular en la zona meristemática de la raíz, porque esta zona a menudo es limitada en carbohidratos y la asimilación de  $\text{NH}_4^+$  consume menos energía que la de  $\text{NO}_3^-$ . El  $\text{NO}_3^-$  es asimilado por la planta en mayor proporción debido a que este es utilizado para la producción de aminoácidos, a partir del proceso de reducción de  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NH}_4^+$  en las células de las raíces, tallos y/o hojas a través de los procesos enzimáticos: nitrato reductasa y nitrito reductasa. En términos generales, el nitrógeno es requerido para la biosíntesis de aminoácidos, importantes para la formación de proteínas y precursores de muchos otros compuestos, además uno de los constituyentes principales de la clorofila (Vicente *et al.*, 2009).

El Potasio ( $\text{K}^+$ ) es el elemento, junto al nitrógeno, que se requiere en grandes cantidades por las plantas (Broadley *et al.*, 2011; Oosterhuis *et al.*, 2014), siendo el siguiente macronutriente con mayor cambio de nivel en los cultivos de espinaca, oscilando entre 25.8 a 79 mg/L. Este macronutriente juega un rol muy importante en la activación de enzimas involucradas en la respiración y la fotosíntesis (Fernandes, 2006; Szczerba *et*

**Tabla 2.** Disminución (mg/L) en los niveles de macro y micronutrientes en cultivos hidropónicos de Espinaca baby en sistemas hidropónicos. Período 0 de cada réplica es el muestreo inicial del experimento, antes de sembrar las plántulas en cada unidad experimental. Los datos representan el promedio  $\pm$  la desviación estándar. Las letras diferentes dentro de columnas representan diferencias significativas por réplica ( $p > 0,05$ ).

Réplica	Períodos (Tiempo de muestreo)	Macronutrientes (mg/L)							Micronutrientes (mg/L)		
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>		
R1	0 (10/11/2017)	7,2 ac	0,016 a	224,5 a	165,3 a	200 a	27 a	0,94 a	0,85 a		
	1 (11/11/2017 a 20/11/2017)	11,28 $\pm$ 0,43 b	0,50 $\pm$ 0,22 a	*	134,67 $\pm$ 19,20 b	189 $\pm$ 12,38 a	24,06 $\pm$ 4,43 a	0,73 $\pm$ 0,04 b	0,37 $\pm$ 0,03 b		
	2 (21/11/2017 a 27/11/2017)	8,48 $\pm$ 1,68 a	2,01 $\pm$ 0,40 c	*	117,65 $\pm$ 20,57 b	125,6 $\pm$ 41,52 b	16,38 $\pm$ 0,45 b	0,57 $\pm$ 0,05 c	0,4 $\pm$ 0,07 b		
	3 (27/11/2017 a 03/12/2017)	5,76 $\pm$ 1,10 c	1,37 $\pm$ 0,42 b	147,9 $\pm$ 8,9 b	118,91 $\pm$ 14,21 b	120,1 $\pm$ 36,36 b	13,14 $\pm$ 2,32 b	0,58 $\pm$ 0,06 c	0,22 $\pm$ 0,04 c		
	Disminución de niveles de nutrientes mg/L	5,52	0	76,6	46,38	79	13,86	0,36	0,63		
R2	0 (09/12/2017)	6,5 a	0,072 a	217,5 a	165 a	248 a	19,5 a	1,24 a	0,73 a		
	1 (10/12/2017 a 17/12/2017)	7,02 $\pm$ 0,53 b	0,16 $\pm$ 0,03 a	*	135,62 $\pm$ 18,90 b	228,4 $\pm$ 7,36 b	16,86 $\pm$ 2,27 a	0,81 $\pm$ 0,07 b	0,39 $\pm$ 0,11 b		
	2 (18/12/2017 a 24/12/2017)	5,18 $\pm$ 0,42 c	0,69 $\pm$ 0,06 b	*	111,76 $\pm$ 4,59 c	226,6 $\pm$ 9,45 b	10,44 $\pm$ 3,02 b	0,59 $\pm$ 0,03 c	0,29 $\pm$ 0,07 b		
	3 (25/12/2017 a 31/12/2017)	2,74 $\pm$ 0,76 d	2,65 $\pm$ 0,31 c	148,4 $\pm$ 12 b	116,92 $\pm$ 5,72 c	177,2 $\pm$ 25 c	8,82 $\pm$ 4,29 c	0,55 $\pm$ 0,10 c	0,12 $\pm$ 0,11 a		
	Disminución de niveles de nutrientes mg/L	4,28	0	69,1	48,08	70,8	10,68	0,46	0,61		
R3	0 (13/01/2018)	7,6 a	0,009 a	234 a	130,47 a	219 a	16,2 a	1,04 a	0,58 a		
	1 (14/01/2018 a 22/01/2018)	7,56 $\pm$ 0,41 a	1,48 $\pm$ 0,54 b	*	128,49 $\pm$ 1,31 a	214,2 $\pm$ 1,64 a	13,74 $\pm$ 0,54 b	0,77 $\pm$ 0,05 b	0,39 $\pm$ 0,03 a		
	2 (23/01/2018 a 29/01/2018)	6,42 $\pm$ 0,22 a	0,14 $\pm$ 0,01 a	*	117,73 $\pm$ 1,76 b	206,4 $\pm$ 8,08 a	8,58 $\pm$ 1,42 b	0,71 $\pm$ 0,02 c	0,29 $\pm$ 0,05 b		
	3 (30/01/2018 a 05/02/2018)	5,66 $\pm$ 1,30 b	0,12 $\pm$ 0,10 a	160,2 $\pm$ 4,8 b	111,39 $\pm$ 1,92 c	193,2 $\pm$ 10,18 b	8,94 $\pm$ 0,65 c	0,58 $\pm$ 0,02 d	0,12 $\pm$ 0,09 c		
	Disminución de niveles de nutrientes mg/L	1,94	0	73,8	19,08	25,8	7,26	0,46	0,5		

\* Datos no registrados

al., 2009); además, está implicado en la translocación del  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$  a través de la planta (Szczerba et al., 2009). Después del  $\text{K}^+$ , se observó una mayor variación en el nivel de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), que osciló entre un rango de 19.08 a 46.38 mg/L. Este nutriente es esencial durante la síntesis de la pared celular, ayudando a mantener la estructura de la membrana y es un mensajero secundario en la señalización celular (Taiz y Zeiger, 2006; Barker y Pilbeam, 2006). Por último, entre los macronutrientes analizados en este estudio los niveles del fósforo (P), como  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ó  $\text{HPO}_4^{2-}$  fluctuaron entre un rango de 7.26 a 13.86 mg/L, siendo este elemento un componente importante en compuestos como adenosín difosfato (ADP) y adenosín trifosfato (ATP) utilizados para el almacenamiento y transferencia de energía a través de diferentes procesos celulares como la fotosíntesis, la respiración, la síntesis de ácidos nucleicos y proteínas, el transporte de nutrientes a través de la célula y en todas las reacciones energéticas del metabolismo (Vicente et al., 2009).

En cuanto a los niveles de los micronutrientes en los cultivos de espinaca baby, se observó una mayor disminución del manganeso ( $\text{Mn}^{2+}$ ) que de hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) (Tabla 2). En el primer caso osciló en un rango de 0.5 a 0.63 mg/L, mientras que en el segundo fluctuó en 0.36 a 0.46 mg/L. Estos dos micronutrientes son muy importantes en el desarrollo de la planta; la deficiencia de alguno de ellos afecta significativamente la producción de biomasa en el cultivo (Assimakopoulou, 2006; Broadley et al., 2011; Jin et al., 2013). Sin embargo, la diferencia entre ellos pudo deberse a la participación de estos dos micronutrientes en los procesos metabólicos de la planta: El  $\text{Mn}^{2+}$  está involucrado en la activación de aproximadamente 35 enzimas diferentes, entre ellas la activación de las enzimas descarboxilasas y deshidrogenasas que participan en el ciclo de Krebs y las enzimas que catalizan las reacciones de oxidación-reducción; también desempeña un papel importante en el transporte de electrones en la fotosíntesis (Taiz y Zeiger, 2006; Broadley et al., 2011). Mientras que el  $\text{Fe}^{2+}$  participa en la biosíntesis de proteínas hemo y de la clorofila, además de ser un componente de muchas enzimas asociadas con la fijación y reducción del nitrógeno (Broadley et al., 2011; Ranade-Malvi y Malvi, 2011; Jin et al., 2013).

En la solución nutritiva tanto los cationes o aniones están presentes en diferentes concentraciones y en el momento de ser tomados por las raíces de la planta se presentan varias interacciones entre ellos (Ranade-malvi y Malvi, 2011). Investigaciones han manifestado que existe una interacción y relación positiva entre el  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{K}^+$ , pues han encontrado que plantas deficientes en  $\text{K}^+$  afecta la actividad de la enzima nitrato reductasa

y por ende la producción de proteínas, mientras que concentraciones adecuadas de  $\text{K}^+$  permite una asimilación eficiente de  $\text{NO}_3^-$ ; generando un buen rendimiento en el cultivo (Ranade-Malvi y Malvi, 2011).

Por otra parte, el  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^-$  y  $\text{K}^+$  tienen una relación en común, su fácil movilidad por el floema de la planta (Taiz y Zeiger, 2006). Esta relación hace que estos tres macronutrientes tengan varias interacciones en los procesos fisiológicos de las plantas; así como el  $\text{K}^+$  interviene en la translocación y asimilación del  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^-$ , la asimilación del  $\text{NO}_3^-$  es un proceso que consume energía, usando 15 moles de ATP por cada mol de  $\text{NO}_3^-$  reducido, por lo cual, si el P no es asimilado eficientemente por la planta este proceso no se puede llevar a cabo (Barker y Pilbeam, 2006). A diferencia, de estos macronutrientes el  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$  son nutrientes inmóviles, donde una vez ubicados en un tejido particular de la planta, su movimiento es lento o casi nulo; no obstante, los macronutrientes móviles presentan de alguna manera una interacción con estos elementos, por ejemplo, el  $\text{K}^+$  interviene en la translocación del  $\text{Ca}^{2+}$ , donde bajas concentraciones de  $\text{K}^+$  en la planta disminuye la asimilación de  $\text{Ca}^{2+}$ , afectando principalmente el desarrollo de las hojas jóvenes (Taiz y Zeiger, 2006). Asimismo, el  $\text{K}^+$  tiene una relación sinérgica con  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$  durante los procesos de la glicolisis y ciclo de Krebs (Ranade-Malvi y Malvi, 2011).

A partir de las consideraciones anteriores se puede decir que las interacciones que ocurren entre los nutrientes asimilados por las plantas son de gran importancia para el buen desarrollo y producción del cultivo, siendo el N (especialmente en forma de  $\text{NO}_3^-$ ) y  $\text{K}^+$  los macronutrientes que intervienen en la mayoría de los procesos fisiológicos, lo que coincide con los resultados obtenidos, donde fueron los nutrientes con mayor cambio de nivel en los cultivos de espinaca (Tabla 2). Adicionalmente, en esta investigación no se observó síntomas de deficiencias en las plantas y la sobrevivencia fue superior del 94% (Tabla 5), lo que permite deducir que la solución hidropónica implementada en este trabajo no presentó ausencia o exceso de un nutriente que causara la disminución en la absorción de otro nutriente (relación antagónica) (Ranade-Malvi y Malvi, 2011), lo cual indica que la espinaca baby tuvo una buena adaptación a las condiciones del cultivo hidropónico utilizado.

Por otro lado, las temperaturas superiores a los niveles óptimos de cultivo pueden afectar varios procesos celulares como la fotosíntesis y la toma de nutrientes (Piere y Urs, 2005; Nxawe et al., 2012). Esto puede explicar la presencia de menor absorción de nutrientes



**Tabla 3.** Cantidad de agua adicionada para compensar la evapotranspiración en el período de 10/Noviembre del 2017 a 05/Febrero del 2018. Datos de pH, conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD) y temperatura en grados Celsius (°C), obtenidos durante el experimento. Los valores representan el promedio  $\pm$  la desviación estándar.

Réplica	Períodos (Tiempo de muestreo)	Agua adicionada (L)/semana	pH	C.E ( $\mu$ S/cm)	OD	T (°C)	T (°C) Ambiente Máxima	T (°C) Ambiente Mínima	T (°C) Agua Máxima	T (°C) Agua Mínima
R1	0 (10/11/2017)	0	6,44	1558	*	*	30	8	18	11
	1 (11/11/2017 a 20/11/2017)	4,2 $\pm$ 1,58	6,5 $\pm$ 0,11	1522 $\pm$ 25,12	4,93 $\pm$ 0,304	17,69 $\pm$ 0,51	34	7	19	12
	2 (21/11/2017 a 27/11/2017)	3,6 $\pm$ 0,47	6,16 $\pm$ 0,06	1422 $\pm$ 44,52	5,53 $\pm$ 0,13	14,65 $\pm$ 0,22	32	12	19	14
	3 (27/11/2017 a 03/12/2017)	4,5 $\pm$ 0,97	6,21 $\pm$ 0,08	1275 $\pm$ 78,49	5,38 $\pm$ 0,043	17,33 $\pm$ 0,28	30	10	18	12
R2	0 (09/12/2017)	0	6,56	1581	*	*	32	11	19	11
	1 (10/12/2017 a 17/12/2017)	2,96 $\pm$ 1,05	6,97 $\pm$ 0,097	1510,6 $\pm$ 25,49	6,37 $\pm$ 0,19	21,0 $\pm$ 0,57	34	10	23	10
	2 (18/12/2017 a 24/12/2017)	5,4 $\pm$ 2,30	6,75 $\pm$ 0,19	1491,4 $\pm$ 18,11	6,76 $\pm$ 0,40	14,41 $\pm$ 0,25	40	11	23	12
	3 (25/12/2017 a 31/12/2017)	5,2 $\pm$ 1,25	6,76 $\pm$ 0,17	1140,4 $\pm$ 92	7,54 $\pm$ 0,17	14,42 $\pm$ 0,17	29	6	19	12
R3	0 (13/01/2018)	0	6,53	1592	*	*	32	8	30	13
	1 (14/01/2018 a 22/01/2018)	6,2 $\pm$ 1,17	6,31 $\pm$ 0,33	1523,2 $\pm$ 17,7	7,49 $\pm$ 0,13	15,72 $\pm$ 0,30	33	8	31	13
	2 (23/01/2018 a 29/01/2018)	6 $\pm$ 1	6,0 $\pm$ 0,09	1391,6 $\pm$ 47,5	7,3 $\pm$ 0,29	17,12 $\pm$ 0,61	34	7	20	15
	3 (30/01/2018 a 05/02/2018)	6 $\pm$ 1,22	6,02 $\pm$ 0,04	1244 $\pm$ 56,2	6,99 $\pm$ 0,31	18,27 $\pm$ 0,31	28	6	17	12

\* Datos no registrados

en la réplica 3 en comparación con la réplica 1 y 2 (Tabla 2) durante el mismo tiempo del cultivo, debido a que en las dos primeras semanas se evidenció alta temperatura ambiente, la cual fue reflejada en una mayor evapotranspiración del agua (Tabla 3) y mayor temperatura del agua (30-31°C), superior a lo recomendado para espinaca (temperatura máxima 23°C) (PHN, 2006; Brechner y de Villiers, 2013).

En la acuaponía cada vez es más relevante determinar la concentración y proporción de nutrientes acumulados en el sistema, la relación entre planta-peces, así como los niveles nutritivos óptimos para los vegetales de hoja y fruta cultivados bajo esta tecnología (Delaide et al., 2017). Por lo cual, los resultados obtenidos en esta investigación arrojan información importante acerca de los niveles requeridos de macro y micro nutrientes para el cultivo de espinaca, y por lo tanto, las concentraciones que se deben mantener en el agua para el óptimo crecimiento en sistemas acuapónicos.

Se encontró en orden descendiente el siguiente requerimiento nutricional:  $N > K^+ > Ca^{2+} > P > Mn > Fe$  (Tabla 2), estudios realizados evaluando la concentración y/o acumulación de nutrientes generados en sistemas de recirculación (Rafiee & Roos, 2005; Timmons y Ebeling, 2007; Villarroel et al., 2011; Delaide et al., 2017), se observa que la mayoría de los nutrientes requeridos para el crecimiento de la espinaca estaban presentes, pese a esto eran deficientes en:  $K^+$ ,  $Mn^{2+}$  e  $Fe^{2+}$ ; por lo cual, se podrían adicionar, ya sea de manera de manera foliar o en otro componente del sistema acuapónico (mineralizador, biofiltro o sumidero). Es importante destacar que en sistemas acuapónicos los nutrientes son generados constantemente y la optimización del proceso de mineralización en dichos sistemas puede incrementar la concentración de los nutrientes que puedan ser deficientes (Delaide et al., 2017).

### **Análisis de crecimiento de espinaca baby**

En general, las variables evaluadas en peso fresco y seco de la parte aérea y radicular no presentaron diferencias significativas entre las réplicas, pero en la réplica 3 la variable de longitud de hojas y el área foliar fue menor en comparación con las dos primeras réplicas (Tabla 4). Esta diferencia en crecimiento de las hojas coincide con lo explicado anteriormente de las altas temperaturas en el agua, reflejado en la toma de nutrientes (Tabla 2 y 3), ya que se ha reportado que una temperatura superior a la óptima afecta varios procesos fisiológicos, entre ellos la fotosíntesis y la extracción de nutrientes por la planta (Nxawe et al., 2012).

El número de hojas en el momento de cosecha fue de  $12 \pm 1.98$ ,  $12 \pm 1.30$  y  $14 \pm 1.15$  hojas/planta (réplicas 1, 2 y 3), respectivamente (Tabla 4), valores similares a los reportados por Leskovar et al., (2000) de 13 hojas/planta a los 21 días del ciclo de cultivo; el área foliar fue de  $439.5 \pm 99$  (R1),  $519 \pm 139$  (R2) y  $352 \pm 56.9$  cm<sup>2</sup>/planta (R3), valores mayores a los obtenidos también por Leskovar et al., (2000) a los 21 días de cultivo, los cuales estuvieron alrededor de 200 cm<sup>2</sup>/planta, lo anterior demuestra un mejor crecimiento y mayores tasas fotosintéticas al presentar una mayor área foliar.

Los valores de peso seco de la parte aérea y radicular de espinaca reportados por Leskovar et al., (2000) a los 21 días de cultivo, fueron similares a los obtenidos en este estudio:  $1.56 \pm 0.35$  (R1),  $1.69 \pm 0.37$  (R2) y  $1.53 \pm 0.31$  (R3) g/planta parte aérea;  $0.25 \pm 0.07$ ,  $0.34 \pm 0.14$  y  $0.24 \pm 0.08$  g/planta parte radicular. El peso fresco de la parte aérea fue de  $17.89 \pm 4.8$  (R1),  $19.90 \pm 5.52$  (R2) y  $16.33 \pm 3.43$  (R3) g/planta, que comparado con el estudio de Navarro et al., (2009), donde reporta la producción de espinaca baby por m<sup>2</sup> en sistemas hidropónicos ( $1334.2$  g/m<sup>2</sup> y  $1629.1$  g/m<sup>2</sup>) fue similar a lo obtenido por m<sup>2</sup> en el presente estudio ( $1592.2$  g/m<sup>2</sup> (R1),  $1771.10$  g/m<sup>2</sup> (R2) y  $1453.37$  g/m<sup>2</sup> (R3)), estos resultados nuevamente ratifican que la solución nutritiva seleccionada es adecuada para determinar la extracción de nutrientes por parte de la espinaca baby.

### **Parámetros productivos**

Para las tres réplicas se observó al final del ciclo de cultivo un valor de tasa de crecimiento del cultivo (TCC) de  $0.00002 - 0.00003$  g/cm<sup>2</sup>/día (Tabla 5), similar al obtenido por Hoyos et al., (2009) para espinaca en cultivo tradicional en el día 21 del ciclo de cultivo, lo cual se puede decir que la eficiencia productiva de biomasa de la planta por unidad de suelo es similar en las dos investigaciones (Barraza et al., 2004).

La tasa relativa de crecimiento (TRC) al final del ciclo de cultivo fue 0.16, 0.15 y 0.14 g/g/día para la réplica 1, 2 y 3 respectivamente, mientras que en cultivo tradicional de espinaca fue de 0.017 g/g/día (Hoyos et al., 2009), lo cual indica que en esta investigación se presentó un mayor incremento de biomasa en un menor tiempo, y una mayor eficiencia de la espinaca para producir nuevo material en cultivo hidropónico (Barraza et al., 2004).

Finalmente, la eficiencia fotosintética promedio o la capacidad de la planta para incrementar su biomasa en función del área de asimilación, se mide a través de la tasa de asimilación neta (TAN), la cual fue ma-

**Tabla 4.** Análisis de crecimiento al inicio y final de cada experimento en espinaca baby. Los datos representan el promedio  $\pm$  la desviación estándar. Las letras diferentes dentro de columnas representan diferencias significativas entre réplicas ( $p < 0,05$ ).

Réplica	Período de muestreo	Parte aérea Peso fresco (g/planta)	Parte aérea Peso seco (g/planta)	N° Hojas	Área foliar	Longitud hojas
					(cm <sup>2</sup> /planta)	(cm)
R1	Inicial	0,44 $\pm$ 0,15 a	0,04 $\pm$ 0,01 a	5 $\pm$ 0,65 a	11,25 $\pm$ 4,2 a	3,02 $\pm$ 0,40 a
	Final	17,89 $\pm$ 4,8 a	1,56 $\pm$ 0,35 a	12 $\pm$ 1,98 a	439,5 $\pm$ 99 a	11,92 $\pm$ 1,98 a
R2	Inicial	0,55 $\pm$ 0,21 a	0,05 $\pm$ 0,02 a	4 $\pm$ 0,50 a	11,75 $\pm$ 4,7 a	3,07 $\pm$ 0,74 a
	Final	19,90 $\pm$ 5,52 a	1,69 $\pm$ 0,37 a	12 $\pm$ 1,30 a	519 $\pm$ 139 a	10,34 $\pm$ 1,07 a
R3	Inicial	0,65 $\pm$ 0,17 a	0,06 $\pm$ 0,02 a	6 $\pm$ 0,45 a	11,3 $\pm$ 2,9 a	2,15 $\pm$ 0,28 a
	Final	16,33 $\pm$ 3,43 a	1,53 $\pm$ 0,31 a	14 $\pm$ 1,15 a	352 $\pm$ 56,9 b	7,13 $\pm$ 0,54 b
Número de plantas/UE		24				
Número de plantas/m <sup>2</sup>		89				

UE: Unidad experimental

por para este estudio, donde se obtuvieron valores de 0.006, 0.005 y 0.006 g/cm<sup>2</sup>/día para la réplica 1, 2 y 3, mientras Hoyos *et al.*, (2009) obtuvo una TAN de 0.00012 g/cm<sup>2</sup>/día para el cultivo tradicional. En general este valor tiende a ser pequeño por el solapamiento entre las hojas, que impide la interceptación de la radiación fotosintéticamente activa (Barraza *et al.*, 2004; Carranza *et al.*, 2009).

## Conclusión

El presente estudio muestra una disminución en los niveles de nutrientes de la solución hidropónica de espinaca baby, que en orden descendiente fue mayor en N (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), seguido de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, P, Mn<sup>2+</sup> y Fe<sup>2+</sup>. El cul-

tivo hidropónico de espinaca baby presentó mayores índices de producción en TRC y TAN comparados con el cultivo tradicional. La sobrevivencia fue superior del 94% y no se observaron síntomas por deficiencia de algún nutriente, mostrando que la solución nutritiva “La Molina” modificada se adapta bien para este cultivo. Por lo tanto, los resultados obtenidos en este estudio son de gran importancia para ser implementados en la producción de espinaca baby en sistemas acuapónicos, pues conociendo los requerimientos de la planta y los nutrientes generados en un sistema cerrado de recirculación, se puede determinar el complemento nutricional que debe ser adicionado al sistema, ya sea en solución o de manera foliar con fertilizantes químicos sintéticos para optimizar su producción.

**Tabla 5.** Índices de crecimiento en espinaca baby.

Índice de crecimiento	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
TCC g/(cm <sup>2</sup> día)	0,00002	0,00003	0,00002
TRC (g/g/día)	0,16	0,15	0,14
TAN g/(cm <sup>2</sup> día)	0,0006	0,0005	0,0006
S (%)	94	98	100,00

TCC: Tasa de crecimiento del cultivo  
TRC: Tasa relativa de crecimiento  
TAN: Tasa de asimilación neta  
S: Sobrevivencia

## Agradecimientos

A Colciencias y a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada “Definición de la relación óptima entre peces y plantas en sistemas acuapónicos para la producción limpia e intensiva de cachama blanca, bocachico y tilapia; rúgula y berro” CIAS 1921 y COLCIENCIAS 112366744449 y a la convocatoria Jóvenes Investigadores 617.

## Referencias

- Agronet. 2016. Área, producción y rendimiento nacional por cultivo. Consultado el 21-01-2018 en <https://www.agronet.gov.co/Paginas/inicio.aspx>.
- Assimakopoulou A. Effect of iron supply and nitrogen form on growth, nutritional status and ferric reducing activity of spinach in nutrient solution culture. *Sci Hort.* 2006;110:21-29. doi: 10.1016/j.scienta.2006.06.010.
- Barker AV, Pilbeam DJ. 2006. *Handbook of Plant Nutrition*. USA: New York.
- Barraza FV, Fischer F, Cardona CE. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el valle del Sinú medio, Colombia. *Agron Colomb.* 2004;22(1):81-90. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/1803/180317823011.pdf>
- Brechner M, Villiers D. 2013. *Hydroponic Spinach Production Handbook*. USA: Cornell Controlled Environment Agriculture.
- Broadley M, Brown P, Cakmak I, Rengel Z, Zhao F. 2011. Function of Nutrients: Micronutrients. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition* (pp. 191-248). <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00007-8>
- Carranza C, Lanchero O, Miranda D, Chaves B. Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) “batavia” cultivada en un suelo salino de la sábana de Bogotá. *Agron Colomb.* 2009;27(1):41-48. Obtenido de <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/11330>
- Cockx E, Simonne EH. 2011. Reduction of the Impact of Fertilization and irrigation on processes in the Nitrogen cycle in vegetable fields with BMPs. HS948. Obtenido de <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Delaide B, Goddek S, Morgenstern R, Wuertz S, Jijakli H, Gross A. 2017. A study on the mineral elements available in aquaponics, their impact on lettuce productivity and the potential improvement of their availability. *Université de Liège-Gembloux agro-biotech*.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017. Consultado 21-01-2018 en <http://faostat3.fao.org/wds/rest/exporter/streamexcel>
- Fernandes MS. 2006. *Nutrição Mineral de Plantas*. (2a Ed). Brazil: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa.
- Fernández J, Peñapareja D, Álvarez N, López J, González A. Producción de espinaca “Baby Leaf” en camas flotantes. *Revista en Horticultura*. 2007;36:203-210.
- Fernandez J, Egea-Gilabert C, Nicola S. 2015. Producción de hortalizas de hoja baby leaf en bandejas flotantes. *Universidad Politécnica de Cartagena*. Obtenido de <http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf>
- Gil R, Carrillo DQ, Jiménez JG. Determinación de las principales plagas de la espinaca (*Spinacia oleracea*) en Cota, Cundinamarca. *Rev Colomb Entomol.* 2007;33(2):124-128.
- Hao N, Xia W, Tang Y, Wu M, Jiang H, Lin X, Zhou D. Periconceptional folic acid supplementation among pregnant women with epilepsy in a developing country: A retrospective survey in China. *Epilepsy Behav.* 2015;44:27-34. doi:10.1016/j.yebeh.2014.12.026
- Hoyos V, Rodríguez M, Cárdenas J, Balaguera H. Análisis del crecimiento de espinaca (*Spinacia oleracea*) bajo el efecto de diferentes fuentes y dosis de nitrógeno. *Rev Colomb Cienc Hort.* 2009;3(2):175-187.
- Jiménez J, Arias LA, Espinoza L, Fuentes LS, Garzón C, Gil R, Rodríguez M. 2010. El cultivo de la Espinaca (*Spinacia oleracea* L.) y su manejo fitosanitario en Colombia. Colombia, Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Jin C, Liu Y, Mao Q, Wang Q, Du S. Mild Fe-deficiency improves biomass production and quality of hydroponic-cultivated spinach plants (*Spinacia oleracea* L.). *Food Chem.* 2013;138:2188-2194. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.12.025
- Leskovar DI, Larry AS, Daniello FJ. Planting systems influence growth dynamics and quality of fresh market spinach. *Hort Science.* 2000;35(7):1238-1240. Obtenido de <http://hortsci.ashspublishings.org/content/35/7/1238.full.pdf>
- Martínez A, Lee R, Chaparro D, Páramo S. 2003. Postcosecha y mercadeo de hortalizas de clima frío, bajo prácticas de producción sostenible. Colombia, Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Navarro H, Carrasco-Silva DM, Lucchini M. 2010. Efecto de la utilización de diferentes sustratos en el rendimiento y calidad de rucula y espinaca baby cultivados en el sistema hidropónico de bandejas flotantes desde siembra a cosecha. Tesis de maestría, Universidad de Talca, Chile.
- Nelson RL. 2008. *Aquaponic Food Production. Raising fish and plants for food and profit. Aquaponic.* (1a Ed). USA
- Nxawe S, Laubscher C, Ndakidemi P. Effect of regulated irrigation water temperature on hydroponics production of Spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Afr J Agric Res.* 2009;4 (12):1442-1446. Obtenido de <http://www.academicjournals.org/AJAR>
- Nxawe S, Ndakidemi PA, Laubscher CP. Effects of regulating hydroponic solution temperature on plant growth, accumulation of nutrients and other metabolites. *Afr. J. Biotechnol.* 2012;9(54):9128-9134. Obtenido de <http://digitalknowledge.cput.ac.za/xmlui/handle/123456789/648>
- Oosterhuis DM, Loka D, Kawakami EM, Pettigrew W T. 2014. *The physiology of potassium in crop production. Advances in Agronomy*. Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-12-800132-5.00003-1.
- PHN - Plan Hortícola Nacional. 2006. *Espinaca*. Consultado 25-01-2015 en [http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca\\_28\\_PHN.pdf](http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_28_PHN.pdf)

- Purquerio L, Melo PC. Hortalizas pequeñas e sabrosas. Hortic Bras. 2011;29:1.
- Ranade-malvi U, Malvi UR. Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium. Kamataka Journal Agricultural Science. 2011;24(1):106-109.
- Ramírez LM, Pérez MT, Jiménez P, Hurtado H, Gómez E. Evaluación preliminar de sistemas acuapónicos e hidróponicos en cama flotante para el cultivo de orégano (*Origanum vulgare*: LAMIACEAE). Revista Universidad Militar Nueva Granda. 2011;7(2):242-259. Obtenido de <http://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb>
- Ramírez D, Sabogal D, Gómez E, Rodríguez D, Hurtado H. Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico Goldfish - Lechuga. Revista Universidad Militar Nueva Granda. 2009;5(1):154-170. Obtenido de <http://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb>
- Rafiee G, Roos CS. Nutrient cycle and sludge production during different stages of red tilapia (*Oreochromis* sp) growth in a recirculating aquaculture system. Aquaculture. 2005;244:109-118. doi:10.1016/j.aquaculture.2004.10.029
- Szczerba MW, Britto DT, Kronzucker HJ. K<sup>+</sup> transport in plants: physiology and molecular biology. J Plant Physiol. 2009;166:447-466. doi:10.1016/j.jplph.2008.12.009
- Timmons MB & Ebeling JM. 2007. Recirculating aquaculture. (2a ed). USA: Cayuga Aqua Ventures.
- Taiz L, Zeiger E. 2006. Plant Physiology. (1a Ed). USA, Sunderland, Massachusetts.
- Vicente AR, Manganaris GA, Sozzi G, Crisosto CH. 2009. Postharvest Handling. (2a Ed). New York, USA.
- Villarreal R, Hernández VS, Sánchez P, García ER, Osuna ET, Parra TS, Armenta BA. Efecto de la cobertura del suelo con leguminosas en rendimiento y calidad del tomate. Terra Latinoam. 2006;24(4):549-556. Obtenido de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57324413>
- Villarreal M, Alvarino JMR, Duran JM. Aquaponics: integrating fish feeding rates and ion waste production for strawberry hydroponics. Span J Agric Res. 2011;9(2):537-545. doi:10.5424/sjar/20110902-181-10
- Xiaoxia L, Lingli L, Qiuhui C, Wenya D, Yan H, Chongwei J, Xian-yong L. Ammonium reduces oxalate accumulation in different spinach (*Spinacia oleracea*) genotypes by inhibiting root uptake of nitrate. Food Chem. 2014;3:1-7. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.06.122