

CONCENTRACIÓN DE NITRATOS EN LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN UN SISTEMA DE RAÍZ FLOTANTE

Cecilia Rocío Juárez-Rosete, Rubén Bugarín-Montoya, Gelacio Alejo-Santiago, Juan Apolinar Aguilar-Castillo, Gabriela Rosario Peña-Sandoval, Francisco Palemón-Alberto y Circe Aidín Aburto-González

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar en hojas de lechuga la concentración de nitratos (NO_3^-) aptos para consumo humano en un sistema hidropónico de raíz flotante, se establecieron tratamientos con tres procedimientos de aireación (aireación continua con bomba de aire, aireación manual y sin aireación) en dos soluciones nutritivas estándar: Steiner y Hoagland & Arnon, así como cuatro edades de la planta (7, 14, 21 y 28 días después del trasplante). Se utilizó un diseño completamente al azar en arreglo factorial $3 \times 2 \times 4$. Se realizaron muestreos durante el transcurso de la mañana. Se registraron los siguientes parámetros: pH, CE, temperatura, oxígeno disuelto y concentración

de NO_3^- en el medio de crecimiento. En planta se determinaron: altura, longitud de raíz, peso seco de biomasa aérea y raíz, así como la concentración de NO_3^- en el extracto celular de peciolo. Los resultados refuerzan la evidencia de que la técnica de aireación y la formulación de la solución nutritiva influyen en los valores de pH, CE, temperatura y concentración de oxígeno disuelto. Se identificó que la solución nutritiva de Steiner y la aireación continua favorecieron mejor desarrollo de la planta y la acumulación de materia seca. La concentración de NO_3^- en las hojas se encontró en el rango permitido para consumo humano.

Introducción

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una hortaliza de hoja de gran importancia en el sector hortícola, cuya producción se destina al mercado internacional (Shatilov *et al.*, 2019) y nacional. Es cultivada y consumida en todo el mundo en sus diferentes tipos y variedades (Nicola *et al.*, 2016). Es uno de los vegetales más producidos en sistemas de cultivo hidropónico flotante (Ercan y Bayyurt, 2014), el cual consiste

en que las raíces de las plantas estén sumergidas en solución nutritiva (Urrestarazu, 2015). Esta técnica favorece una alta eficiencia en el uso de agua y fertilizantes (Niñirola *et al.*, 2014), es de fácil manejo y rentable ya que permite la posibilidad de programar cada una de las fases del cultivo (Balanza *et al.*, 2012), además de expandir su capacidad de producción continua en un periodo corto.

Por otra parte, el nitrógeno es un nutrimento esencial para las

plantas, forma parte de todas las proteínas y ácidos nucleicos, aminos, coenzimas, clorofila y nucleótidos, entre otros. Las plantas lo asimilan en forma de NO_3^- y NH_4^+ (Alcántar *et al.*, 2016). El contenido de nitratos en la planta depende de las diferencias entre la absorción de nutrientes, su asimilación y translocación (Cárdenas-Navarro *et al.*, 1999; Qiu *et al.*, 2014), así como de factores relacionados a las condiciones ambientales, genéticas, etapa de

desarrollo y de las técnicas agronómicas usadas (Saleh *et al.*, 2019).

El contenido final de NO_3^- es un indicador de la calidad de los productos alimenticios y deberá ser menor a $4,500\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso fresco en las hortalizas de hoja (EC, 2006). Por estas razones, la Organización Mundial de la Salud en colaboración con la Organización para la Alimentación y la Agricultura recomienda una ingesta diaria admisible sin riesgo aparente

PALABRAS CLAVE / Aireación / Concentración de NO_3^- / Hortaliza de Hoja / Sistema de Raíz Flotante /

Recibido: 17/05/2021. Modificado: 06/06/2022. Aceptado: 08/06/2022.

Cecilia Rocío Juárez-Rosete. Ingeniero Agrónomo, Instituto Tecnológico Agropecuario No. 29, México. Maestría y Doctorado en Ciencias en Edafología, Colegio de Posgraduados, México. Profesora-Investigadora, Universidad Autónoma de Nayarit, México.

Rubén Bugarín-Montoya. Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, Universidad Autónoma Chapingo, México. Maestría en Ciencias en Edafología, Colegio de Posgraduados, México. Doctorado en Programa Interinstitucional en Ciencias Agrícolas y Forestales,

Universidad de Colima, México. Profesor-investigador, UAN, México.

Gelacio Alejo-Santiago. Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, Universidad Autónoma Chapingo, México. Maestría y Doctorado en Ciencias en Edafología. Colegio de Posgraduados, México. Profesor-investigador, UAN, México.

Juan Apolinar Aguilar-Castillo (Autor de correspondencia). Ingeniero Agrónomo, Universidad Autónoma de Nayarit, México. Maestría en Ciencias en Genética y Doctorado en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad, México.

Profesor-investigador, Universidad Autónoma de Nayarit, México. Dirección: Unidad Académica de Agricultura, UAN. Km. 9 Carretera Tepic-Compostela, Xalisco, Nayarit, México. CP. 63780. e-mail: juan.aguilar@uan.edu.mx

Gabriela Rosario Peña-Sandoval. Licenciada en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México. Maestría en Ciencias Biológicas y Doctorado en Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Profesora-Investigadora, UAN, México.

Francisco Palemón-Alberto. Ingeniero Agrónomo Fitotecnista,

Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, México. Maestría y Doctorado en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Posgraduados, México. Profesor-investigador, Universidad Autónoma de Guerrero, México.

Circe Aidín Aburto-González. Ingeniero Agrónomo, Universidad Veracruzana, México. Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias, UAN, México. Doctorado en Educación, Instituto Tecnológico de Ciencias y Arte, México. Docente-Investigador, UAN, México.

CONCENTRATION OF NITRATES IN LETTUCE (*Lactuca sativa* L.) IN A FLOATING ROOT SYSTEM

Cecilia Rocío Juárez-Rosete, Rubén Bugarín-Montoya, Gelacio Alejo-Santiago, Juan Apolinar Aguilar-Castillo, Gabriela Rosario Peña-Sandoval, Francisco Palemón-Alberto and Circe Aidín Aburto-González

SUMMARY

To evaluate the concentration of nitrates (NO_3^-) suitable for human consumption in lettuce leaves in a floating root hydroponic system, treatments with three aeration procedures (continuous aeration with an air pump, manual aeration, and without aeration) were established in two standard nutrient solutions: Steiner and Hoagland & Arnon, as well as four plant ages (7, 14, 21 and 28 days after transplant). A completely randomized design in a $3 \times 2 \times 4$ factorial arrangement was used. Samplings were carried out during the morning. The following parameters were recorded: pH, CE, temperature, dissolved oxygen,

and NO_3^- concentration in the growth medium. Measurements in plant included: height, root length, dry weight of aerial biomass and root, as well as the concentration of NO_3^- in the cell extract of the petiole. The results reinforce the evidence that the aeration technique and the formulation of the nutrient solution influence the values of pH, EC, temperature, and dissolved oxygen concentration. It was identified that Steiner's nutrient solution and continuous aeration favored better plant development and dry matter accumulation. The concentration of NO_3^- in the leaves was within the range allowed for human consumption.

CONCENTRAÇÃO DE NITRATOS EM ALFACE (*Lactuca sativa* L.) EM UM SISTEMA DE RAIZ FLUTUANTE

Cecilia Rocío Juárez-Rosete, Rubén Bugarín-Montoya, Gelacio Alejo-Santiago, Juan Apolinar Aguilar-Castillo, Gabriela Rosario Peña-Sandoval, Francisco Palemón-Alberto e Circe Aidín Aburto-González

RESUMO

Com o objetivo de avaliar a concentração de nitratos (NO_3^-) em folhas de alface próprias para consumo humano em um sistema hidropônico de raiz flutuante, foram estabelecidos tratamentos com três procedimentos de aeração (aeração contínua com bomba de ar, aeração manual e sem aeração) em duas soluções nutritivas padrão: Steiner e Hoagland & Arnon, e quatro idades da planta (7, 14, 21 e 28 dias após o transplante). Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial $3 \times 2 \times 4$. Amostragens foram realizadas durante o período da manhã. Foram registrados os seguintes parâmetros: pH, CE, temperatura, oxigênio dissolvido e concentração

de NO_3^- no meio de crescimento. Em planta, determinaram-se: altura, comprimento de raiz, peso seco de biomassa aérea e raiz, bem como a concentração de NO_3^- no extrato celular do pecíolo. Os resultados reforçam a evidência de que a técnica de aeração e a formulação da solução nutritiva influenciam os valores de pH, CE, temperatura e concentração de oxigênio dissolvido. Identificou-se que a solução nutritiva de Steiner e a aeração contínua favoreceram melhor desenvolvimento da planta e a acumulação de matéria seca. A concentração de NO_3^- nas folhas foi observada dentro dos níveis permitido para consumo humano.

para la salud humana de 3,65mg de NO_3^- por kg de peso corporal (Santamaria *et al.*, 1999).

En la producción de los cultivos hidropónicos flotantes, los factores como el pH, la CE y la temperatura, así como la aireación, pueden afectar la producción y la calidad del producto cosechado (Urrestarazu, 2015). Para tener un buen crecimiento de raíz y asimilación de nutrientes es importante mantener bien aireada la solución nutritiva. Existen varios métodos para aportar oxígeno a las raíces y se ha documentado que valores por debajo de los 3 a 4mg·l⁻¹ de oxígeno disuelto en la solución nutritiva disminuyen el crecimiento radical y las raíces se oscurecen, limitando también el crecimiento del vástago (Urrestarazu, 2015). El consumo de oxígeno aumenta

en las plantas conforme la temperatura de la solución nutritiva se incrementa (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012). Cuando ocurren desequilibrios en la absorción de nitratos y se excede su asimilación en tejidos (Cárdenas-Navarro, 1999), aumenta la concentración de nitratos en las hojas (Nicola *et al.*, 2016). En este sentido, la concentración de nitratos y el nivel de oxígeno alrededor de las raíces son factores clave que deben considerarse para la producción de hortalizas de hoja.

Con base en lo expuesto se realizó la presente investigación con el objetivo de determinar el efecto de la técnica de aireación y la formulación de la solución nutritiva en la concentración de NO_3^- en hojas de lechuga cultivada en un sistema de raíz flotante.

Materiales y Métodos

Sitio experimental, condiciones de crecimiento y material vegetal

El estudio se realizó en el periodo de invierno 2018, en condiciones de 35% de malla sombra color negro, en la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit, en el Km 9.0 de la carretera Tepic-Compostela, en 21°25'36"N y 104°53'28"O y una altura de 922m. Se utilizaron semillas de lechuga de la variedad Parris Island Cos, las cuales fueron colocadas en charolas de germinación de 200 cavidades. Se utilizó una mezcla de turba y perlita en una proporción 50:50 (v:v) para la germinación de las

semillas. Cuando las plántulas tuvieron 5,0cm de altura hasta el ápice, fueron extraídas de las charolas de germinación y se separó el sustrato usando agua, hasta que las raíces quedaron limpias. Posteriormente, se realizó el trasplante en contenedores de 25 litros de capacidad (50×50cm y 10cm de altura). Se utilizó una placa de unicel de 50×50cm y hule espuma de 1cm de grosor, de 10cm de largo y 2cm de ancho. Para sostén de las plántulas se usaron vasos de plástico de 30ml.

Diseño y tratamientos experimentales

Los factores estudiados fueron a) técnica de aireación: aireación continua con bomba de aire (Elite 800®), aireación

manual (cada 24h), y sin aireación; b) dos formulaciones de solución nutritiva estándar: Solución Universal de Steiner (1984) y Hoagland & Arnon (1950); y c) cuatro edades de la planta (7, 14, 21 y 28 días después de trasplante; ddt). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar en arreglo factorial 3×2×4. La unidad experimental fue de un contenedor con 12 plantas y se tuvieron tres réplicas por tratamiento. Las soluciones nutritivas se prepararon a una concentración de 75% en todos sus iones, a partir de la concentración original (Tabla I). El agua empleada tuvo la siguiente composición: CE 0,17dS·m⁻¹; pH 7,20; K⁺ 0,16meq·l⁻¹; Ca⁺² 0,75meq·l⁻¹; Mg⁺² 0,46meq·l⁻¹; Na⁺ 0,45meq·l⁻¹; SO₄⁻² 0,03meq·l⁻¹; NO₃⁻ 0,28meq·l⁻¹; Cl⁻ 0,46meq·l⁻¹; y HCO₃⁻ 0,95meq·l⁻¹. Las concentraciones de cationes y aniones presentes en el agua fueron consideradas para los aportes de nutrimentos en la formulación de las soluciones nutritivas. Se usaron fertilizantes solubles como fuente de macronutrientes y para los micronutrientes se utilizaron 0,025g·l⁻¹ de una mezcla comercial de Ultrasol micro[®]. El volumen de la solución nutritiva se mantuvo constante durante todo el ciclo de cultivo. Durante el periodo evaluado la temperatura ambiente osciló entre 17 y 27°C y la humedad relativa fluctuó entre 55 y 75%, las cuales fueron registradas con un Data Logger Onset[®].

Variables evaluadas

Las mediciones de pH, CE, temperatura (°C) se realizaron diariamente para determinar su variación durante la etapa de experimentación; para ello se utilizó un medidor multiparamétrico portátil de modelo HI 9811-5 (Hanna Instruments[®]). El contenido de O₂ disuelto fue evaluado con un medidor portátil (EXTECH Instruments[®], Taiwan). En el caso de las variables morfológicas de crecimiento vegetal, se tomó una muestra de tres plantas por unidad experimental y se midió la altura (AP) con una regla de

aluminio graduada (30cm), se determinó el peso seco de la parte aérea (PSPA) y raíz (PSR) con una balanza digital (Ohaus[®] CS200, China). El material se secó en una estufa de aire forzado (EI45-AIA, Novatech[®], México) a 70°C hasta obtener peso constante. La concentración de NO₃⁻ se determinó en extracto celular de peciolo (ECP) de las hojas intermedias de cada planta y en la solución nutritiva de cada unidad experimental utilizando un medidor de iones LAQUAtwin[®] específico para NO₃⁻ (Horiba[®]). La hora para realizar estos análisis fue entre las 9:00 y 10:00. Se ha documentado que la concentración de NO₃⁻ tiende a ser menor en la tarde que durante la mañana, así como en días soleados la planta reduce la capacidad de absorber nitratos (Maynard *et*

al., 1976). Las variables de crecimiento vegetal se cuantificaron a los 7, 14, 21 y 28 ddt.

Análisis estadístico

Se efectuó un análisis de varianza para cada variable respuesta y cuando se detectaron diferencias estadísticas significativas se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha \leq 0,05$), con el programa estadístico SAS (2004).

Resultados y Discusión

pH

En el análisis de varianza (datos no mostrados) los rangos de pH mostraron diferencias significativas ($p \leq 0,0001$) por efecto de la técnica de aireación, de la composición iónica

de la solución nutritiva y de la edad de la planta. Se presentó interacción en la técnica de aireación × edad de la planta ($p \leq 0,0005$). En la Tabla II se observa que la aireación en la solución nutritiva es un factor que tuvo efecto en el pH de ésta, ya que al utilizar aireación continua con bomba de aire el pH se elevó a 6,70 mientras que para la aireación manual y sin aireación, el pH se mantuvo en el rango aceptable de 5,5 a 6,5 según lo recomendado para la mayoría de los cultivos (Urrestarazu, 2015), puesto que los valores de pH fuera de este rango pueden cambiar la especiación de los iones y su biodisponibilidad (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012). En cuanto al efecto de la formulación de la solución nutritiva en el pH, se observó

TABLA I
COMPOSICIÓN IÓNICA DE LAS SOLUCIONES UNIVERSAL DE STEINER Y HOAGLAND & ARNON A UNA CONCENTRACIÓN DE 75% EN TODOS SUS IONES

Solución Nutritiva	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	NH ₄ ⁺	CE	Potencial osmótico (MPa)
	meq·l ⁻¹							dS m ⁻¹	
Steiner	9,0	0,75	5,25	5,25	6,75	3,0	-	1,5	- 0,054
Hoagland & Arnon	10,5	0,75	3,0	4,5	6,0	3,0	0,75	1,5	- 0,054

TABLA II
PRUEBA DE MEDIAS PARA LAS VARIABLES PH, CE, TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN CULTIVO DE *Lactuca sativa* L. EN SISTEMA DE RAÍZ FLOTANTE

Fuente de variación	pH	CE (dS·m ⁻¹)	Temperatura (°C)	O ₂ (ppm)
<u>Técnica de aireación</u>				
Con bomba de aire	6,70 ±1,05 a	1,36 ±0,21 a	18,15 ±0,49 b	4,50 ±0,31 a
Manual	6,50 ±0,63 b	1,32 ±0,25 a	18,22 ±1,01 b	3,34 ±0,23 b
Sin aireación	6,43 ±0,98 b	1,36 ±0,14 a	18,65 ±0,88 a	2,62 ±0,18 c
DMS	0,073	0,059	0,132	0,203
<u>Solución nutritiva</u>				
Steiner	6,60 ±0,62 a	1,33 ±0,20 a	18,31 ±0,75 a	3,60 ±0,25 a
Hoagland & Arnon	6,49 ±1,12 a	1,37 ±0,43 a	18,37 ±0,92 a	3,54 ±0,23 a
DMS	0,049	0,043	0,089	0,137
<u>Edad de la planta</u>				
7 ddt	6,42 ±1,08 b	1,65 ±0,22 a	19,01 ±0,94 a	4,59 ±0,32 a
14 ddt	6,26 ±0,87 b	1,40 ±0,27 b	18,55 ±0,58 a	3,52 ±0,24 b
21 ddt	6,77 ±0,93 a	1,25 ±0,22 c	17,78 ±0,91 b	3,10 ±0,19 b
28 ddt	6,72 ±0,60 a	1,10 ±0,10 c	18,02 ±0,75 b	2,73 ±0,21 b
DMS	0,093	0,075	0,168	0,257

Medias ±desviación estándar. Letras diferentes entre columnas y cada factor indica que son estadísticamente diferentes en la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0,05$). DMS: Diferencia mínima significativa.

que la solución Steiner mantuvo el pH en el rango de 5,50 a 6,60 y que en la solución Hoagland & Arnon fue de 6,49 debido a que la solución de Steiner contiene N-NO_3^- el cual ocasiona un pH fisiológicamente alcalino; a medida que las plantas absorben el N-NO_3^- la tendencia de la rizósfera es alcalinizarse (Favela *et al.*, 2006; Urrestarazu, 2015) debido a que la absorción de N-NO_3^- va acompañada de liberación de HCO_3^- y OH^- (Urrestarazu, 2015). Cuando se adiciona una proporción de N en forma de N-NH_4^+ el pH se amortigua, ya que al absorber el N-NH_4^+ las raíces liberan H^+ y la rizósfera se acidifica y disminuye el pH (Favela *et al.*, 2006).

En lo que respecta a la edad de la planta tanto a los 7 como a los 14 ddt, el pH se mantuvo en el rango aceptable (hasta 6,50), lo que indica que en esta etapa de crecimiento las raíces de las plantas tienden a absorber de manera activa más cationes que aniones y en el medio de crecimiento se disminuye el pH (Urrestarazu, 2015). En el periodo de los 21 ddt hasta los 28 ddt el pH de la solución nutritiva aumentó hasta 6,77.

Conductividad eléctrica

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p \leq 0,0001$) para la conductividad eléctrica (CE) por efecto de la edad de la planta. Se presentó interacción en técnica de aireación \times edad de la planta ($p \leq 0,0001$), en formulación de la solución nutritiva \times edad de la planta ($p \leq 0,0001$), y en técnica de aireación \times formulación de la solución nutritiva \times edad de la planta ($p \leq 0,0001$). La CE que se obtuvo por efecto de la técnica de aireación fue similar en las tres condiciones de aireación y por la composición iónica de la solución nutritiva (Tabla II). Los valores obtenidos en este estudio se encuentran en el rango aceptable para la mayoría de los sistemas hidropónicos que va de 1,5 a 2,5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012). Al respecto, Van der Boon *et al.*

(1988) señalan que la CE en la solución nutritiva permite un mayor rendimiento en el cultivo de lechuga cuando oscila entre 1,6 y 2,13 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Por otra parte, Abou-Hadid *et al.* (1996) indican que la mayor absorción nutrimental para el cultivo de lechuga en condiciones de hidroponía se da cuando la CE en la solución nutritiva tiene valores entre 1,5 y 1,8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, valores que coinciden con la CE registrada en las soluciones que se manejaron en este estudio.

La CE en la solución nutritiva tuvo una dinámica descendente conforme la planta fue creciendo (Tabla II). Urrestarazu (2015) señala que la CE puede cambiar con el estado fenológico de las plantas, la absorción selectiva de iones y por las condiciones asociadas al clima. En este estudio se observó que la CE del medio de crecimiento se redujo a través del tiempo, y ello dependió de la cantidad de iones presentes en la solución nutritiva, la cual disminuyó por la absorción que las plantas llevaron a cabo y porque los iones no fueron sustituidos. Además, de manera habitual se agregó agua para mantener un volumen constante en el contenedor con la finalidad de restablecer el volumen consumido por transpiración y evaporación en cada unidad experimental. Este efecto también fue observado por Van der Boon *et al.* (1988) en el cultivo de lechuga con un sistema de hidroponía profunda. Ekoungoulou y Mikouendanandi (2020) determinaron que conforme avanza el periodo de crecimiento, la CE disminuye por efectos asociados a variaciones en el pH del medio de cultivo.

Temperatura

La temperatura de la solución nutritiva varió de manera significativa entre tratamientos ($p \leq 0,0001$) por efecto de la forma de aireación de la solución nutritiva y por la edad de la planta, presentándose interacción en estos dos factores de estudio ($p \leq 0,0001$). En los tratamientos con aireación continua con bomba de aire y con aireación manual, mantuvieron

la temperatura en 18,18°C, mientras que para el tratamiento que no recibió aireación, la temperatura presentó un valor superior en 3,65% (Tabla II), lo que sugiere que mantener el control de la temperatura en una solución nutritiva como medio de crecimiento es determinante, ya que influye en la absorción de agua y nutrientes, así como del tipo de cultivo (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012). Al respecto, Thompson *et al.* (1998) señalan que la temperatura óptima para el cultivo de lechuga y para el crecimiento de la raíz es de 18 a 23°C. Los valores obtenidos en esta investigación oscilaron entre 17 y 19°C, por lo que pueden ser considerados como valores de referencia para el cultivo de lechuga en el sistema de raíz flotante. Con respecto a la edad de la planta, la temperatura del medio de crecimiento fue mayor durante los primeros 14 ddt, posiblemente ocasionado por un menor volumen de la raíz ya que corresponde a la fase de establecimiento y adaptación de las plántulas en el sistema de cultivo.

Concentración de oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno disuelto en la solución nutritiva varió de manera significativa ($p \leq 0,0001$) por efecto de la técnica de aireación en la solución nutritiva y por la edad de la planta. Además, se presentó interacción entre estos dos factores ($p \leq 0,0001$). En este estudio, el mayor contenido de oxígeno disuelto se presentó en los tratamientos con aireación continua con bomba de aire (Tabla II). Estos mantuvieron una concentración de hasta 4,50 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de oxígeno disuelto en la solución nutritiva, lo que representa 42% más que los tratamientos sin aireación. Estos resultados también fueron observados por Niñirola *et al.* (2014) en un cultivo de *Nasturtium officinale* R. Br. en los que los niveles de aireación afectan la cantidad de oxígeno disuelto. Al respecto, Jones (2005) indica que en sistemas hidropónicos cerrados un nivel

de oxígeno disuelto de 4 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ genera una reacción en el crecimiento y las funciones celulares. Además, el oxígeno disuelto influye en la intensidad de respiración de las raíces y en el metabolismo de las plantas; si no está disponible en el medio de crecimiento, pueden ocurrir daños severos (Urrestarazu, 2015) y se limita el crecimiento de la planta (Nicola *et al.*, 2016).

La formulación de la solución nutritiva no tuvo efectos en la concentración de oxígeno disuelto. En cambio, por la edad de la planta se observó un efecto descendente de la concentración de oxígeno disuelto en el medio de crecimiento (Tabla II), teniendo una reducción de 41% con respecto a la etapa inicial. Este efecto está asociado con el incremento en tamaño, longitud y densidad de masa radical de las plantas que se presenta conforme avanza el ciclo de cultivo. Por su parte, Papadopoulous *et al.* (1999) mencionan que a medida que hay más plantas en el sistema de cultivo, o cuando la actividad fotosintética es mayor, se incrementa el requerimiento de oxígeno.

Altura de planta

En lo que respecta a la altura de planta, el análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p \leq 0,0001$) por efecto de la técnica de aireación y la edad de la planta. La aireación continua con bomba de aire incrementó la altura de planta en 7 y 18% en comparación con las plantas que tuvieron aireación manual y sin aireación respectivamente (Figura 1A). Este efecto también pudo estar influenciado por la temperatura que alcanza la solución nutritiva dependiendo de la época del año, de acuerdo con Tesi *et al.* (2003), quienes señalaron que en otras especies de hortalizas de hoja cultivadas en sistemas flotantes las plantas tienden a crecer muy rápido. Resultados similares se observaron en la altura de las plantas por el efecto de las soluciones nutritivas suministradas en este

estudio (Figura 1B), siendo la solución Steiner con la que se logró mayor altura de plantas, en comparación con la solución de Hoagland & Arnon. La edad de la planta (Figura 1C) presentó diferencias estadísticas para

la variable altura de planta (Tukey ($\alpha \leq 0,05$)). Durante el periodo de evaluación, el crecimiento fue exponencial y a los 28 ddt fue cuando las plantas obtuvieron la altura máxima de 22,58cm. Estos resultados

coinciden con lo reportado por Ekoungoulou y Mikouendanandi (2020), quienes evaluaron lechugas de la variedad Blonde de Paris y Minetto, y obtuvieron una altura de 21cm a los 30 ddt.

Longitud de raíz

El análisis de varianza indicó diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p \leq 0,0001$) para la longitud de raíz por efecto de la técnica de aireación, la formulación de la solución nutritiva y la edad de la planta. Se presentaron las interacciones técnica de aireación \times edad de la planta y formulación de la solución nutritiva \times edad de la planta ($p \leq 0,0005$). En las Figuras 1A y 1B se puede observar que la aireación continua con bomba de aire facilita el crecimiento y desarrollo del sistema radicular y, por lo tanto, la absorción de nutrientes. En cuanto a los tratamientos con aireación manual y sin aireación, se observó una disminución del crecimiento de raíces y un acortamiento de éstas en condiciones de bajos niveles de oxigenación sin aireación y aireación manual. La importancia de este factor es debido a la estrecha reciprocidad entre la concentración de oxígeno en la solución nutritiva y los pesos secos del vástago y raíz (Tabla III). Este resultado también fue documentado en pak choi (*Brassica rapa* subsp. *Chinensis*) cultivado en sistemas de cultivo hidropónico con hiper-oxigenación de la solución nutritiva (Tsutsumi *et al.*, 2020).

significativas entre tratamientos para el peso seco de hoja por la técnica de aireación y por efecto de la edad de la planta. La aireación es un factor que determina el peso seco de la hoja (Tabla III), tal y como lo reportan Tesi *et al.* (2003) quienes encontraron mayor acumulación de peso seco en hojas de espinaca a una concentración de oxígeno disuelto superior a $5\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Durante los primeros 14 ddt no hubo diferencias significativas (Tukey ($\alpha \leq 0,05$)) entre las técnicas de aireación evaluadas. A partir de los 21 y 28 ddt, se observó que el efecto de la aireación continua con bomba de aire es la que más favoreció la acumulación de materia seca. En este estudio fue hasta los 28 ddt cuando se detectó que la aireación constante es importante para obtener mayor peso seco de la planta, seguido por los tratamientos sin aireación y aireación manual. La importancia de este factor es debido a la estrecha reciprocidad entre la concentración de oxígeno en la solución nutritiva y los pesos secos del vástago y raíz (Tabla III). Este resultado también fue documentado en pak choi (*Brassica rapa* subsp. *Chinensis*) cultivado en sistemas de cultivo hidropónico con hiper-oxigenación de la solución nutritiva (Tsutsumi *et al.*, 2020).

Peso seco de raíz

Esta variable mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,0001$) por efecto de la técnica de aireación, la formulación de la solución nutritiva y la edad de la planta. Se presentó interacción entre los factores técnica de aireación \times edad de la planta ($p \leq 0,0001$). La aireación y la solución nutritiva son factores que inciden en el peso seco de la raíz. En la Tabla III se puede observar que a los 14 ddt no hubo diferencias significativas entre promedios de los tratamientos (Tukey($\alpha \leq 0,05$)), en tanto que a partir de los 21 ddt se observó que las plantas cultivadas en un sistema flotante con aireación continua con bomba

Estudios realizados por Ekoungoulou y Mikouendanandi (2020) indican que la elongación de la raíz depende de la variedad utilizada y de la composición iónica de la solución nutritiva. Con respecto a la edad de la planta, durante los primeros siete días ddt no hubo diferencias significativas entre tratamientos, debido a que esta etapa corresponde a la adaptación de las plantas en el medio de cultivo. A partir de los 14 ddt se observaron diferencias entre los factores evaluados. Esta tendencia se repitió a los 21 y 28 ddt, cuando se obtuvo la mayor longitud de raíz en todos los tratamientos evaluados.

Peso seco de hoja

El análisis de varianza mostró diferencias altamente

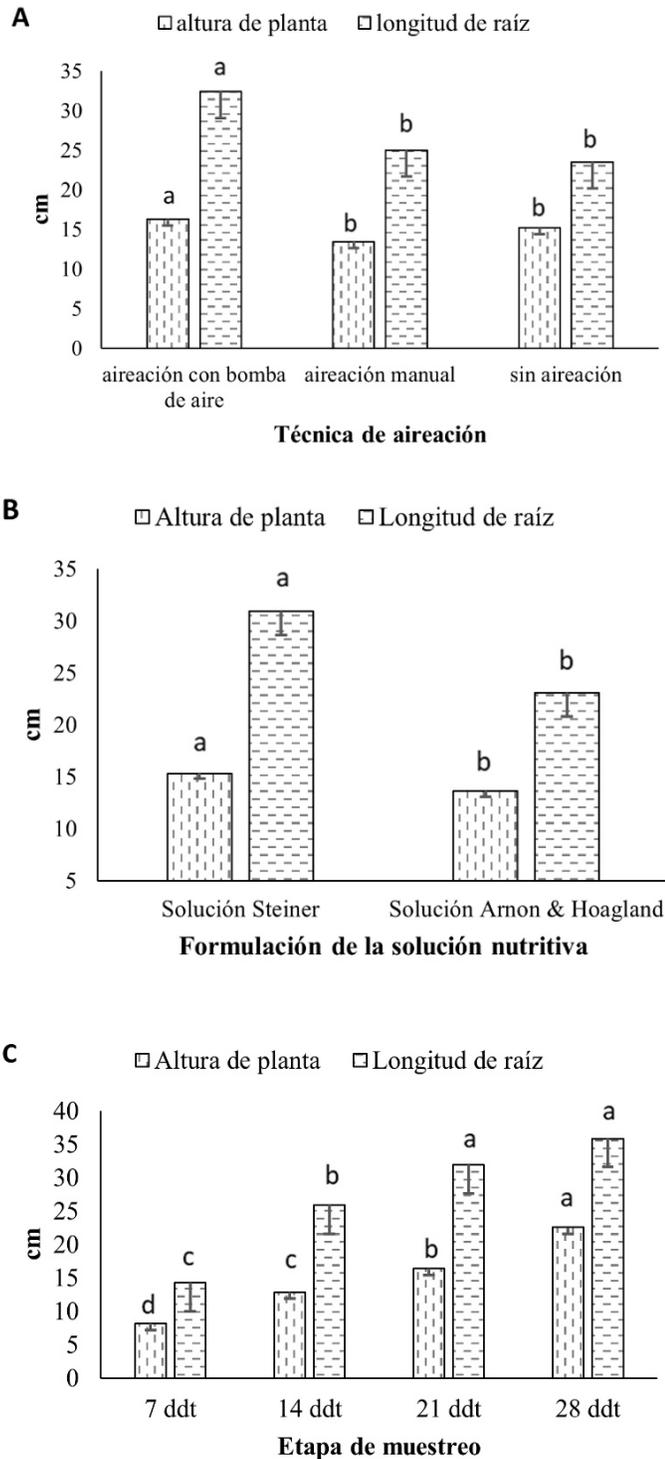


Figura 1. Altura de planta y longitud de raíz (cm) en *Lactuca sativa* L. cultivada en el sistema de raíz flotante. Medias con distinta letra indican diferencias estadísticas significativas (Tukey($\alpha \leq 0,05$)).

TABLE III
PRUEBAS DE MEDIAS DE PESO EN HOJAS Y RAÍZ EN
Lactuca sativa L. CULTIVADA EN SISTEMA DE RAÍZ
FLOTANTE

Fuente de variación	PSH	PSR
	(g/planta)	
<u>Técnica de aireación</u>		
Con bomba de aire	2,42 ±0,27 a	0,46 ±0,01 a
Manual	2,21 ±0,36 ab	0,39 ±0,03 b
Sin aireación	2,04 ±0,12 b	0,40 ±0,05 b
DMS	0,361	0,052
<u>Solución nutritiva</u>		
Steiner	2,31 ±1,79 a	0,44 ±0,26 a
Hoagland & Arnon	2,14 ±1,57 a	0,40 ±0,22 b
DMS	0,245	0,035
<u>Edad de la planta</u>		
7 ddt	0,02 d	0,02 d
14 ddt	0,95 ±0,12 c	0,22 ±0,04 c
21 ddt	2,21 ±0,10 b	0,48 ±0,04 b
28 ddt	5,73 ±0,39 a	0,98 ±0,08 a
DMS	0,459	0,066

PSH: peso seco de hoja, PSR: peso seco de raíz. Medias ±desviación estándar. Letras diferentes son estadísticamente diferentes en la prueba de Tukey ($p \leq 0,0001$). DMS: Diferencia mínima significativa.

de aire se consiguió mayor peso seco con respecto a los demás tratamientos. Al respecto, Tsutsumi *et al.* (2020) indican que la ingesta de oxígeno favorece el crecimiento del vástago y raíz en hortalizas de hojas. Con respecto a la composición iónica de la solución nutritiva se obtuvo mayor peso seco en las plantas que se desarrollaron en la solución Steiner en comparación a la solución Hoagland & Arnon, lo cual pudo deberse a que hubo un mayor consumo de iones NO_3^- y a que las condiciones de pH, CE, temperatura y aireación favorecieron su asimilación (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012); en consecuencia, las plantas acumularon mayor peso seco.

Contenido de nitratos en extracto celular de peciolo

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,0001$) para el contenido de nitratos en extracto celular de peciolo por efecto del procedimiento de aireación y en la edad de la planta. Las interacciones entre factores fueron las siguientes:

técnica de aireación × formulación de la solución nutritiva; técnica de aireación × edad de la planta; formulación de la solución nutritiva × edad de la planta y técnica de aireación × edad de la planta × formulación de la solución nutritiva todas con ($p \leq 0,0001$). De acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0,05$) se observó que la concentración de nitratos en la hoja es menor en las plantas que tuvieron suministro constante de aire en comparación con las que no tuvieron aireación (Figura 2A). Al respecto, Urrestarazu (2015) indica que la absorción de nitrato es un proceso energético que depende de la energía suministrada por la respiración a las raíces; además, si la temperatura de la rizósfera se incrementa disminuye la absorción mineral. Aun cuando en este trabajo hubo tratamientos con altos contenidos de NO_3^- en el extracto celular de peciolo con un promedio de 770 mg L^{-1} , estos se encontraron por debajo de los límites establecidos por la Unión Europea (EC, 2006). Se ha documentado que en plantas de lechuga las hojas exteriores presentaron niveles superiores de nitratos, y menores en las

hojas jóvenes del ápice de la planta (Muro *et al.*, 1998). El pH y la CE son factores que determinan el contenido del ion NO_3^- en el extracto celular de peciolo. En la Figura 2C se observa que la acumulación de este ion tuvo un

comportamiento decreciente conforme avanzó el ciclo del cultivo. Muro *et al.* (1998) hallaron que el contenido de nitratos en las plantas decrecía conforme avanzaba su estado de desarrollo. Esto se debe a que las plantas jóvenes tienden

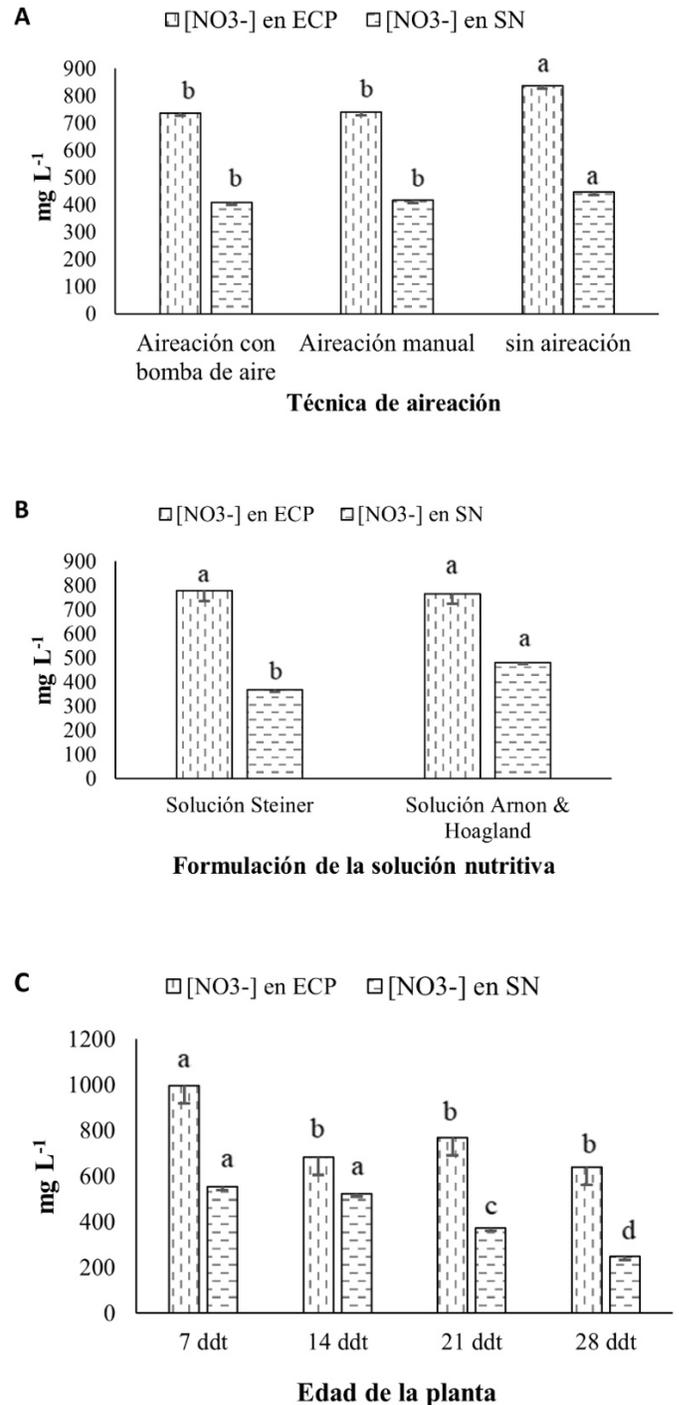


Figura 2. Contenido de nitratos en el extracto celular de peciolo (ECP) de lechuga y en la solución nutritiva (SN) del medio de crecimiento. Medias con distinta letra indican diferencias estadísticas significativas (Tukey ($\alpha \leq 0,05$)).

a acumular más nitratos que las plantas adultas y a que en los primeros días del ciclo de cultivo hay mayor disponibilidad de estos iones en la solución nutritiva (Fontana y Nicola 2008). Al respecto, Saleh *et al.* (2019) puntualizan que las concentraciones de nitratos en hojas coinciden con el N-NO_3^- presente en la solución nutritiva.

Contenido de nitratos en la solución nutritiva

Esta variable mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,0001$) en la solución nutritiva por efecto de aireación, solución nutritiva y la edad de la planta. Se tuvieron las siguientes interacciones: técnica de aireación \times edad de la planta ($p \leq 0,0001$) y formulación de la solución nutritiva \times edad de la planta ($p \leq 0,0001$). Se observó que en las plantas que se suministró la solución nutritiva de Hoagland & Arnon (Figura 2B) se obtuvo mayor concentración de nitratos en comparación con las que se les suministró la solución de Steiner. Este efecto es debido a la composición iónica de las soluciones, ya que la de Hoagland & Arnon suministra NH_4^+ y de manera experimental se ha demostrado que la presencia de amonio en la solución nutritiva estimula la absorción de NO_3^- , principalmente cuando en la composición química hay un 5% de amonio del total de nitrógeno (Jones, 2005). Por su parte, Van der Boon *et al.* (1988) encontraron que al aumentar la temperatura en la solución nutritiva se incrementó el contenido de nitratos en lechugas cultivadas en balsas flotantes. La concentración de NO_3^- en la solución nutritiva tuvo una dinámica descendente y se obtuvieron diferencias altamente significativas (Tukey ($\alpha \leq 0,05$)) durante las cuatro etapas de muestreo (Figura 2C). Este efecto se debió a que conforme la planta estuvo en crecimiento absorbió mayor cantidad de este ion y se observó una disminución en la concentración de nitratos en la solución nutritiva.

Conclusiones

El método de aireación y la composición iónica de la solución nutritiva influyen en los valores de pH, CE, temperatura y oxígeno disuelto durante el ciclo de cultivo, por lo que es necesario diagnosticar estos parámetros con frecuencia para evitar efectos adversos.

La altura de planta, longitud de raíz, peso seco de hoja y de raíz sobresalieron en los tratamientos con aireación continua con bomba de aire, ya que fueron afectados por la composición iónica de la solución nutritiva y la edad de la planta.

El contenido de NO_3^- en el extracto celular de peciolo está dentro del rango de 2000-5000 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ valores permisibles para consumo humano establecidos por la Unión Europea, y depende del método de aireación, la composición iónica de la solución nutritiva y de la edad de la planta

REFERENCIAS

Abou-Hadid AF, Abd-Elmoniem EM, El-Shinawy MZ, Abou-Elsoud MA (1996) Electrical conductivity effect on growth and mineral composition of lettuce plants in hydroponic system. *Acta Hort.* 434: 59-66. DOI: 10.17660/ActaHortic.1996.434.6

Alcántar GG, Trejo-Téllez LI, Fernández PL y Rodríguez MMN (2016) Elementos esenciales. En Alcántar G, Trejo-Téllez LI, Gómez MFC (Eds.) *Nutrición de Cultivos*. Biblioteca Básica de Agricultura. México. pp. 8-48.

Balanza V, Martínez JA, Conesa E, Egea-Gilbert C, Niñirola D, López-Marín J, González A, Fernández JA (2012) Effect of PGPR application and nitrogen doses on baby leaf lettuce grown in a floating system. *Acta Hort.* 952: 679-687. DOI: 10.17660/ActaHortic.2012.952.86

Cárdenas-Navarro R, Adamovic S, Robin P (1999) Nitrate accumulation in plants: a role for water. *J. Exp. Bot.* 50: 613-624.

Ekoungoulou R, Mikouendanandi E BRM (2020) Lettuce (*Lactuca sativa* L.) production in Republic of Congo using hydroponic system. *Open Access Libr. J.* 7: e6339. DOI:10.4236/oalib.1106339

EC (2006) *No. 1881/2006 of 19 December 2006 Setting*

Maximum Levels for Certain Contaminants in Foodstuffs, OJ L 364, 20. European Commission.

Ercan N, Bayyurt R (2014) The effects of applications which increase the O_2 of the water on yield and quality of lettuce grown in a floating system. *Acta Hort.* 1034: 77-84. DOI: 10.17660/ActaHortic.2014.1034.8

Favela CE, Preciado RP, Benavides MA (2006) *Manual para la Preparación de Soluciones Nutritivas*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México. 148 pp.

Fontana E, Nicola S (2008) Producing garden cress (*Lepidium sativum* L.) for the fresh-cut chain using a soilless culture system. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 83: 23-32. DOI:10.1080/14620316.2008.11512342

Hoagland DR, Arnon DI (1950) *The Water Culture Method for Growing Plants without Soil*. Circular 347. California Agricultural Experiment Station, University of California. Berkeley, CA, EEUU. 39 pp.

Jones JB (2005) *Hydroponics. A Practical Guide for the Soilless Grower*. CRC Press. Boca Raton, FL, EEUU. 417 pp.

Maynard DN, Barker AV, Minotti PL, Peck NH (1976) Nitrate accumulation in vegetables. *Adv. Agron.* 28: 71-118.

Muro J, Irigoyen HI, Lamsfus C (1998) Acumulación de nitratos en hortalizas de hojas. En Vega JM, Aparicio PJ, Castillo F, Maldonado JM (Eds.) *Avances en el Metabolismo del Nitrógeno: De la Fisiología a la Biología Molecular*. IV Reunión Nacional. Marbella, España. pp. 453-463.

Nicola S, Pignata G, Casale M, Lo Turco P, Gaino W (2016) Overview of a lab-scale pilot plant for studying baby leaf vegetables grown in soilless culture. *Hortic. J.* 85: 97-104. DOI:10.2503/hortj.MI-R01

Niñirola D, Fernández JA, Conesa E, Martínez JA, Egea-Gilbert C (2014) Combined effects of growth cycle and different levels of aeration in nutrient solution on productivity, quality and shelf-life of watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.) plants. *HortScience* 49: 567-573. DOI: https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.5.567

Papadopoulous AP, Hao X, Tu JC, Zheng J (1999) Tomato production in open or closed rockwool culture systems with NFT or rockwool nutrient feedings. *Acta Hort.* 481: 89-96.

Qiu W, Wang Z, Huang C, Chen B, Yang R (2014) Nitrate accumulation in leafy vegetables and its relationship with water. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 14: 761-768.

Santamaria P, Elia A, Serio F, Todaro EA (1999) A survey of nitrate and oxalate content in fresh vegetables. *J. Sci. Food Agric.* 79: 1882-1888. DOI: https://doi.org/10.1002/(SICI)10970010(199910)79:13<1882:AID-SFA450>3.0.CO;2

Shatilov MV, Razin AF, Ivanova MI (2019) Analysis of the world lettuce market. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 395: 012053. DOI:10.1088/1755-1315/395/1/012053

SAS (2004) *Statistical Analysis System. User's Guide Version 9.4*. Cary, NC, EEUU.

Steiner AA (1984) The Universal Nutrient Solution. *Proc. 6th Int. Cong. on Soilless Culture*. Wageningen. The Netherlands. p 633-650.

Saleh S, Liu G, Liu M, Liu W, He H, Abdelhamid MT (2019) Do $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio and harvest time affect celery (*Apium graveolens*) productivity and product quality? *Folia Hort.* 31: 343-353. DOI: 10.2478/fhort-2019-0027

Tesi R, Lenzi A, Lombardi P (2003) Effect of different O_2 levels on spinach (*Spinacia oleracea* L.) grown in a floating system. *Acta Hort.* 614: 631-637. DOI: 10.17660/ActaHortic.2003.614.94

Thompson CH, Langhans WR, Both JA, Albright DL (1998) Shoot and root temperature effects on lettuce growth in a floating hydroponic. *J. Hortic. Sci.* 123: 361-364. DOI: https://doi.org/10.21273/JASHS.123.3.361

Trejo-Téllez LI, Gómez-Merino FC (2012) Nutrient solution for hydroponics systems. En Asao T (Ed.) *Hydroponics: A Standard Methodology for Plant Biological Research*. IntechOpen. Rijeka, Croatia. pp 1-22. DOI:10.5772/37578

Tsutsumi H, Higashi R, Kinugasa T (2020) A new technique to realize a drastic acceleration of crop growth in the DFT hydroponic cultivation with hyperoxygenated nutrient solution. *J. Hort.* 20: 07.

Urrestarazu GM (2015) *Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía*. Mundi Prensa. Asturias, España. 267 pp.

Van der Boon J, Steenhuizen JW, Steingrover E (1988) Effect of EC, and Cl^- and NH_4^+ concentration of nutrient solutions on nitrate accumulation in lettuce. *Acta Hort.* 222: 35-42. DOI: 10.17660/ActaHortic.1988.222.4