



Biotecnia

ISSN: 1665-1456

Universidad de Sonora, División de Ciencias Biológicas y de la Salud

García-Terrazas, MI; Santillán-Carrillo, IE; Holguín-Mina, R; Sariñana-Aldaco, O
Impacto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva en la
biomasa, pigmentos fotosintéticos y compuestos nitrogenados en lechuga
Biotecnia, vol. 24, núm. 3, 2022, Septiembre-Diciembre, pp. 115-122
Universidad de Sonora, División de Ciencias Biológicas y de la Salud

DOI: <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i3.1687>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=672975172015>

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

UNAM  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

Impacto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva en la biomasa, pigmentos fotosintéticos y compuestos nitrogenados en lechuga

Impact of the nutritive solution electrical conductivity on lettuce biomass, photosynthetic pigments and nitrogen compounds

García-Terrazas M¹, Santillán-Carrillo IE², Holguín-Mina R³, Sariñana-Aldaco O^{1*}

¹ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila 25315, México.

² Secretaría de Bienestar, Durango, Durango 34139, México.

³ Departamento de Agricultura Sustentable y Protegida, Universidad Tecnológica de la Tarahumara, Guachochi, Chihuahua 33180, México.

RESUMEN

La concentración de iones en la solución nutritiva en un sistema sin suelo tiene un impacto directo en el rendimiento y calidad de los cultivos. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre la biomasa, pigmentos y compuestos nitrogenados en el cultivo de lechuga. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con cinco tratamientos (1, 1.5, 2, 2.5 y 3 dS m⁻¹) y nueve repeticiones. Se determinó la biomasa total (fresca y seca) y la acumulación de clorofilas, carotenoides, proteínas, aminoácidos, glutatión reducido y capacidad antioxidante hidrofílica por el método ABTS. Los resultados indicaron que la conductividad eléctrica de la solución nutritiva que mejoró la acumulación de biomasa fue la de 2.5 dS m⁻¹. La de 2 dS m⁻¹ incrementó la concentración de proteínas y aminoácidos, mientras que la de conductividad eléctrica de 3 dS m⁻¹ mejoró la concentración de pigmentos, glutatión reducido y aumentó la capacidad antioxidante, pero disminuyó el rendimiento. El manejo adecuado de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva es un factor importante que permite mejorar el rendimiento y calidad de los cultivos en sistemas sin suelo.

Palabras clave: Nutrición vegetal, cultivo sin suelo, absorción de nutrientes, rendimiento, calidad de cultivos.

ABSTRACT

The ion concentration in the nutrient solution in a soilless system has a direct impact on the yield and quality of the crops. The objective of this research was to evaluate the effect of the electrical conductivity of the nutrient solution on the biomass, pigments and nitrogenous compounds in lettuce. A randomized complete block experimental design was used with five treatments (1, 1.5, 2, 2.5 and 3 dS m⁻¹) and nine repetitions. Total biomass (fresh and dry) and accumulation of chlorophylls, carotenoids, proteins, amino acids, reduced glutathione and hydrophilic antioxidant capacity by the ABTS method were determined. The results indicate that the electrical conductivity of the nutrient solution that improved biomass accumulation was 2.5 dS m⁻¹. The conductivity of 2 dS m⁻¹ increased proteins and amino acids, while the electrical conductivity of 3 dS m⁻¹ improved the concentration of

pigments, glutathione, and hydrophilic antioxidant capacity but decreased the yield. Proper management of the electrical conductivity of the nutrient solution is a very important factor for improving the yield and quality of crops in soilless systems.

Keywords: Plant nutrition, soilless cultivation, nutrient absorption, yield, crop quality.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la agricultura ha enfrentado diversos problemas, como la alta salinidad del suelo, la escasez de agua y altas y bajas temperaturas ambientales, que afectan negativamente la productividad de los cultivos (Jankovska-Bortkevic *et al.*, 2020; Shinde y Marathe, 2021). Una estrategia que ha permitido enfrentar algunos de estos problemas es el cultivo sin suelo, el cual permite el uso eficiente del agua y fertilizantes, debido a que la nutrición de los cultivos se lleva a cabo mediante soluciones nutritivas (SNs) (Sambo *et al.*, 2019; Shinde y Marathe, 2021). Esta técnica permite obtener incrementos en rendimiento y calidad y una disminución en la contaminación del medio ambiente (Manos y Xydis, 2019).

El uso de SNs proporciona a los cultivos las cantidades necesarias de nutrimentos, sin caer en excesos o deficiencias, sin embargo, el manejo de la SN es fundamental para obtener éxito (Sambo *et al.*, 2019). Se deben tener equilibrios químicos en la SN y controlar sus características físico-químicas para evitar la precipitación y complejación de los elementos (Sambo *et al.*, 2019). Dentro de las características a controlar destacan la conductividad eléctrica (CE), pH y temperatura, las cuales, afectan los equilibrios químicos de la SN e influyen en la absorción de los nutrimentos por las plantas (Sambo *et al.*, 2019).

El incremento del rendimiento en sistemas sin suelo no solo depende del manejo de los equilibrios iónicos y características físico-químicas de la SN, debiéndose también considerar las necesidades nutrimentales del cultivo y el sustrato o medio que se utilice como sostén (Michelon *et al.*, 2021). El aumento del rendimiento resulta del correcto funcionamiento metabólico celular, que permite la acumulación de metabolitos primarios y componentes celulares, los cuales son los responsables del aumento de biomasa en las

*Autor para correspondencia: Oscar Sariñana Aldaco
Correo electrónico: oscar.sarinana390@gmail.com

Recibido: 25 de febrero de 2022

Aceptado: 6 de junio de 2022

plantas (Hassan *et al.*, 2020). Ciertos metabolitos primarios y componentes celulares en gran parte son compuestos nitrogenados. Se sabe que el nitrógeno está implícito en la acumulación de biomasa y la correcta nutrición de las plantas (Hassan *et al.*, 2020).

La lechuga (*Lactuca sativa*) es una de las principales hortalizas de hoja con importancia económica a nivel mundial. Tiene un bajo nivel calórico y es una fuente importante de vitaminas, compuestos fenólicos, clorofilas, carotenoides y minerales (Han *et al.*, 2018; Adhikari *et al.*, 2019). La lechuga se produce en todo el mundo bajo diferentes restricciones climáticas, siendo Estados Unidos, Europa y China las principales regiones productoras (Simko *et al.*, 2014). Actualmente existe controversia sobre la CE que debe tener la SN que se aplica a la lechuga en cultivo sin suelo. Se menciona que el cultivo es sensible a la salinidad y que la CE de la SN no debe de sobrepasar los 1.5 dS m^{-1} , pero la tolerancia a la salinidad depende en gran medida de la variedad y del medio de sostén (Adhikari *et al.*, 2019; Michelon *et al.*, 2021). Algunos estudios han demostrado que al sobrepasar los 3 dS m^{-1} la absorción de agua y nutrientes disminuye, lo que provoca una menor productividad (Bilal *et al.*, 2020). El objetivo de la presente investigación fue evaluar diferentes CE de la SN para determinar su efecto en la biomasa, pigmentos y compuestos nitrogenados en lechuga romana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y condiciones experimentales

El experimento se estableció de febrero a abril del año 2021 bajo un invernadero cubierto de polietileno (Figura 1). La temperatura promedio fue de 28°C y 50 a 60 % de humedad relativa. Semillas de lechuga romana (Paris Island Cos) fueron sembradas en bandejas de poliestireno con sustrato compuesto por una mezcla de peat moss y perlita (1:1 v/v). Las plántulas se cultivaron durante 30 días hasta que desarrollaron cuatro hojas verdaderas. Posteriormente fueron trasplantadas en bolsas negras de polipropileno de 5 kg de capacidad con la misma composición del sustrato utilizado en la siembra. El sustrato utilizado para la siembra y trasplante se desinfectó previamente con una solución de hipoclorito de sodio al 5 %.

El experimento consistió en evaluar cinco SNs con diferente CE, tomando como base la SN Steiner (Steiner, 1961). Se preparó una SN madre al 200 %, la cual se diluyó hasta obtener las CE deseadas. Las CE probadas fueron 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 dS m^{-1} . El pH de las SNs se mantuvo entre 5.8 - 6.2. Los primeros 10 días posteriores al trasplante se aplicó una SN al 25 %, para después aplicar las diferentes SNs. El cultivo se desarrolló durante 60 días después del trasplante, aplicando riegos manuales a capacidad de campo.

Diseño experimental y muestreo de plantas

La investigación se desarrolló bajo un diseño de bloques completos al azar, probando cinco tratamientos con nueve repeticiones, dando un total de 45 unidades experimentales. La evaluación de variables agronómicas se realizó



Figura 1. Apariencia de las plantas de lechuga utilizadas en el experimento bajo condiciones protegidas.

Figure 1. Appearance of lettuce plants used in the experiment under protected conditions.

en cuatro plantas seleccionadas al azar. La evaluación del contenido de diversos compuestos y capacidad antioxidante se realizó en hojas de otras cuatro plantas, cortando una hoja de la parte central de la cabeza de la lechuga de cada repetición. Las hojas se congelaron inmediatamente con nitrógeno líquido y se almacenaron en un ultracongelador a -80°C hasta su análisis.

Variables agronómicas

Se determinó la biomasa fresca y seca de la cabeza y raíz mediante el uso de una balanza digital. Para la biomasa seca, el material vegetal se secó a 70°C en un horno por 72 h.

Cuantificación de pigmentos fotosintéticos

El contenido de pigmentos fotosintéticos se determinó mediante el método descrito por Wellburn (1994), con ligeras modificaciones. Brevemente, se mezclaron 15 mg de tejido de lechuga con 1.250 mL de metanol. La mezcla se incubó a temperatura ambiente ($20 - 25^\circ\text{C}$) en la oscuridad por 24 h y se evaluó la absorbancia del sobrenadante en un espectrofotómetro Uv-Vis (Genesis 10s Uv-Vis, Thermo Scientific, Waltham, MA, USA) a 666, 653 y 470 nm . La concentración de los pigmentos se expresó en miligramos por gramo de peso fresco ($\text{mg g}^{-1} \text{ PF}$), usando las siguientes fórmulas:

$$\text{Chl } a = [15.65(A_{666}) - 7.34(A_{653})]$$

$$\text{Chl } b = [27.05(A_{653}) - 11.21(A_{666})]$$

$$\text{Carotenoides} = [(0.000470) - 2.86(\text{Chl } a) - 129.2(\text{Chl } b)]$$

221

Cuantificación de proteínas totales

El contenido de proteínas se determinó mediante la técnica espectrofotométrica de Bradford (1976). Se mezclaron en vórtex (20 s) 100 mg de tejido y 2 mL de buffer de fosfatos 0.1 M (pH 7 - 7.2). Las muestras se sonicaron durante 10 min y se centrifugaron a $10000 \times g$ a 4 °C durante 10 min. En un tubo de ensayo se colocaron 0.1 mL del sobrenadante y 1 mL del reactivo Bradford. La mezcla se dejó en reposo por 5 min y se evaluó su absorbancia a 595 nm. Los datos se reportaron en miligramos por gramo de peso fresco (mg g⁻¹ PF).

Cuantificación de aminoácidos

La evaluación del contenido de aminoácidos se llevó a cabo mediante el método de Yemm y Cocking (1955). Los aminoácidos fueron extraídos mezclando 100 mg de tejido con 2 mL de buffer de citratos 0.09 M (pH 5). La mezcla se agitó mediante un vórtex durante 20 s, se sonicó por 10 min, se centrifugó a $8000 \times g$ a 4 °C por 10 min y se recuperó el sobrenadante. Posteriormente, se agregaron en tubos de ensayo 0.250 mL del sobrenadante, 2.25 mL de buffer de citratos y 0.5 mL de ninhidrina al 0.35 %. La mezcla se agitó y se colocó en baño María en un rango de temperatura de 80 a 100 °C durante 20 min. Terminada la reacción, las muestras se colocaron en un baño de hielo y se procedió a determinar su absorbancia a 570 nm. Los resultados fueron reportados en miligramos por gramo de peso fresco (mg g⁻¹ PF).

Cuantificación de glutatión reducido

Este metabolito se extrajo de las hojas de lechuga siguiendo el método anteriormente descrito para la extracción de proteínas. El contenido de glutatión reducido se determinó mediante la metodología descrita por Xue *et al.* (2001). Brevemente, en tubos de ensayo se agregaron 0.48 mL del sobrenadante, 2.2 mL de Na₂HPO₄ 0.32 M y 0.32 mL de una solución 1 mM del colorante 5,5 ditio-bis-2 nitro benzoico. La reacción se dejó reposar por 15 min y se determinó su absorbancia a 412 nm. Los datos se reportaron en miligramos por gramo de peso fresco (mg g⁻¹ PF).

Determinación de capacidad antioxidante hidrofílica

Se obtuvo un extracto de compuestos antioxidantes utilizando el método descrito anteriormente para la extracción de proteínas y glutatión reducido. La capacidad antioxidante (ABTS) del extracto fue evaluada mediante el método de Re *et al.* (1999). El radical se obtuvo a partir de la reacción del ABTS 7 mM con persulfato de potasio 2.45 mM (1:1 v/v) en la oscuridad durante 16 h. Posteriormente, la solución del radical se diluyó con etanol al 20 % hasta obtener una absorbancia de 0.7 ± 0.01 a 754 nm. En un tubo de 2 mL se colocaron 20 µL del sobrenadante y 980 µL de la dilución del radical ABTS. La mezcla se agitó durante 5 s y se dejó reposar 7 min en oscuridad. La absorbancia del extracto se determinó a 754 nm. Los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de ácido ascórbico por gramo de peso fresco (mg EAA g⁻¹ PF).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza y prueba de medias LSD de Fisher ($p \leq 0.05$). Todos los procedimientos estadísticos se realizaron utilizando el software Infostat (v2020).

RESULTADOS

Producción de biomasa y rendimiento

Los resultados indicaron que las diferentes CE de la SN causaron cambios significativos ($p \leq 0.05$) en biomasa fresca y seca del cultivo de lechuga (Figura 2). La CE de la SN que mejores resultados presentó tanto en biomasa fresca y seca fue la de 2.5 dS m⁻¹. Dicho tratamiento aumentó el peso fresco de la cabeza (rendimiento), peso fresco de la raíz y peso fresco total en un 144.91, 647.5 y 164.63 %, respectivamente, en comparación con el tratamiento que presentó los valores más bajos, que fue el que incluyó la SN con CE de 1 dS m⁻¹. El peso seco de la cabeza, peso seco de la raíz y peso seco total aumentaron en un 144.9, 301.83 y 167.04 %, respectivamente, en comparación al tratamiento con la SN de 1 dS m⁻¹, que fue el que causó el contenido más bajo de biomasa seca. En general, se observó que la biomasa incrementó con la CE de la SN de 2.5 dS m⁻¹, para posteriormente disminuir.

Pigmentos fotosintéticos

Las diferentes SNs provocaron cambios significativos ($p \leq 0.05$) en la concentración de pigmentos en lechuga (Figura 3). Conforme aumentó la CE de las SNs, la concentración de los pigmentos fue mayor, siendo la SN de CE de 3 dS m⁻¹ la que provocó la mayor concentración de estos compuestos. Esta SN aumentó el contenido de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total y carotenoides en un 126.78, 122.72, 117.72 y 46.15 % respectivamente, en comparación con la SN de CE de 1 dS m⁻¹, la cual causó los valores más bajos en estas variables respuesta.

Compuestos nitrogenados y capacidad antioxidante

Las diferentes SNs causaron cambios importantes ($p \leq 0.05$) en los contenidos de proteínas, aminoácidos, glutatión reducido y valores de capacidad antioxidante en lechuga (Figura 4). El mayor contenido de proteínas y aminoácidos se observó con la SN de CE de 2 dS m⁻¹, superando en un 142.37 y 252 %, respectivamente, las concentraciones de estos compuestos obtenidos en lechuga tratada con la SN de CE de 1 dS m⁻¹, la cual causó los contenidos más bajos de estos compuestos. La CE de 3 dS m⁻¹ causó el mayor contenido de glutatión reducido, el cual fue 19.04 % mayor al observado con las SNs de 1 y 2 dS m⁻¹, las cuales, causaron la concentración más baja de glutatión reducido. La capacidad antioxidante incrementó con la CE de la SN de 3 dS m⁻¹.

DISCUSIÓN

Producción de biomasa y rendimiento

La obtención de altos rendimientos en los cultivos depende de su genética, su fisiología y del ambiente adecuado para su desarrollo en todas sus etapas fenológicas (Xu y Mou, 2015). En la actualidad, la producción de cultivos es

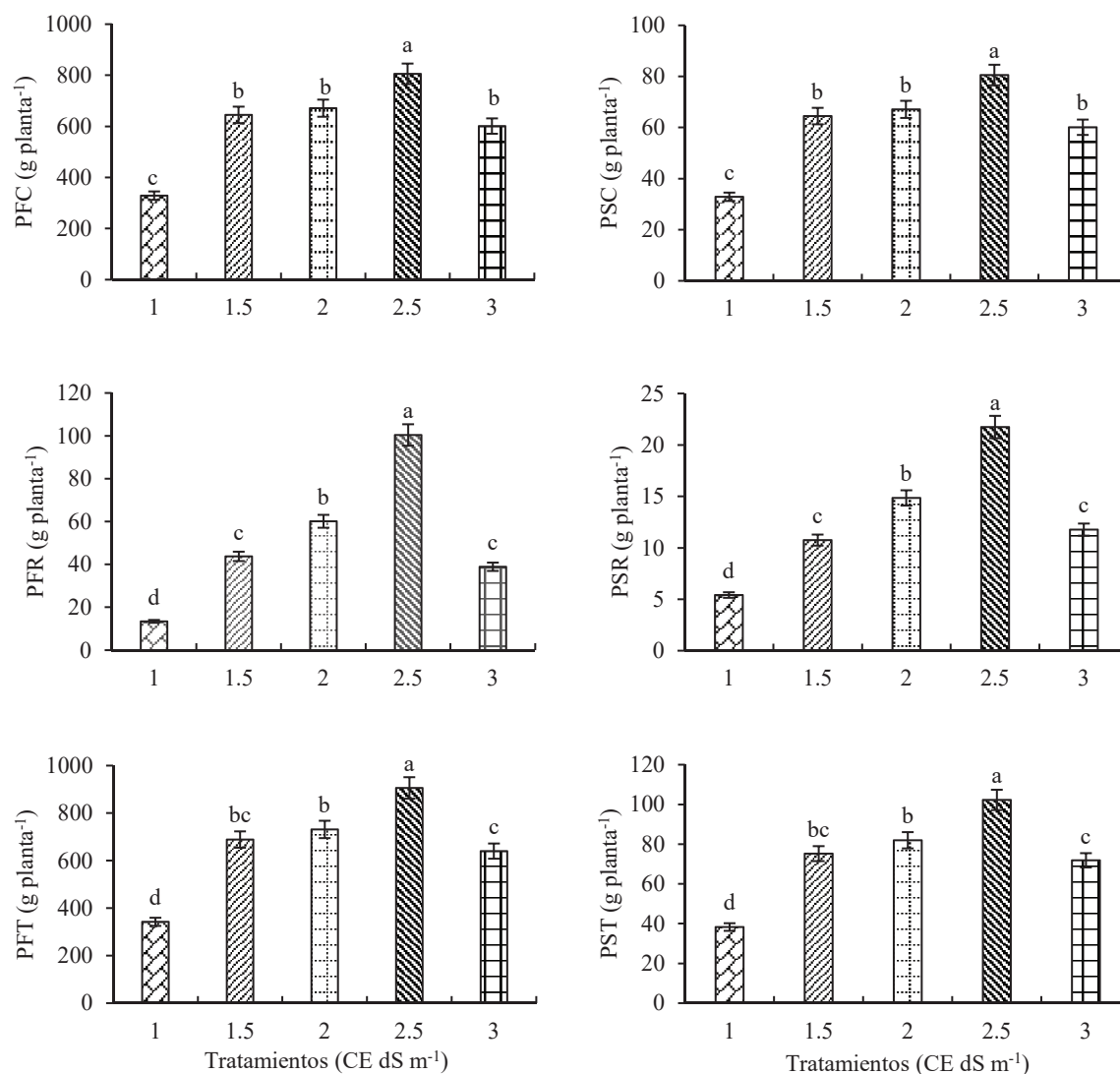


Figura 2. Efecto de la CE de la SN sobre la acumulación de biomasa fresca y seca en el cultivo de lechuga. Promedios conectados mediante letras diferentes son estadísticamente distintos (LSD, $p \leq 0.05$). PFC: Peso fresco de la cabeza; PFR: Peso fresco de la raíz; PFT: Peso fresco total; PSC: Peso seco de la cabeza; PSR: Peso seco de la raíz; PST: Peso seco total. Los intervalos de las barras representan el error porcentual.

Figure 2. Effect of the EC of the NS on the accumulation of fresh and dry biomass in lettuce. Means connected by different letters are statistically different (LSD, $p \leq 0.05$). FHW: Fresh head weight; FRW: Fresh root weight; FTW: Fresh total weight; DHW: Dry head weight; DRW: Dry root weight; DTW: Dry total weight. Bar intervals represent percent error.

afectada por diferentes factores que provocan disminuciones significativas de rendimiento y calidad, lo cual, ha llevado a investigadores a buscar alternativas que permitan mitigar estos problemas sin afectar el medio ambiente (Morales-Espinoza *et al.*, 2019).

En esta investigación, los resultados obtenidos demostraron que el control de la CE de las SNs es un factor determinante en la calidad de la lechuga, aunque dichos resultados dependieron probablemente de las características genéticas de la lechuga romana utilizada (Paris Island Cos), la cual, es una variedad con buena tolerancia a la salinidad, calor y a diferentes enfermedades (Xu y Mou, 2015). Esta buena tolerancia a la salinidad de la variedad de lechuga utilizada causó que la mayor acumulación de biomasa y rendimiento del cultivo fueran obtenidos con la SN de la CE de 2.5 dS m⁻¹.

Las SNs de CE baja (1, 1.5 y 2 dS m⁻¹) causaron una menor acumulación de biomasa, probablemente debido a un déficit de nutrientes, mientras que la SN con la mayor CE (3 dS m⁻¹) pudo causar una restricción en la absorción de agua y nutrientes, provocando así un déficit hídrico, nutricional y un estado de toxicidad por la acumulación de iones en la rizosfera que afectaron negativamente la producción de biomasa (Amalfitano *et al.*, 2017).

La CE tiene una relación importante en la absorción de agua y nutrientes por las plantas, entre más se eleve la CE, la absorción disminuye, ya que las sales son compuestos higroscópicos y tienen la capacidad de retener el agua de su ambiente, motivo por el cual privan a las plantas de estos recursos y por ende disminuyen su rendimiento (Preciado-Rangel *et al.*, 2021).

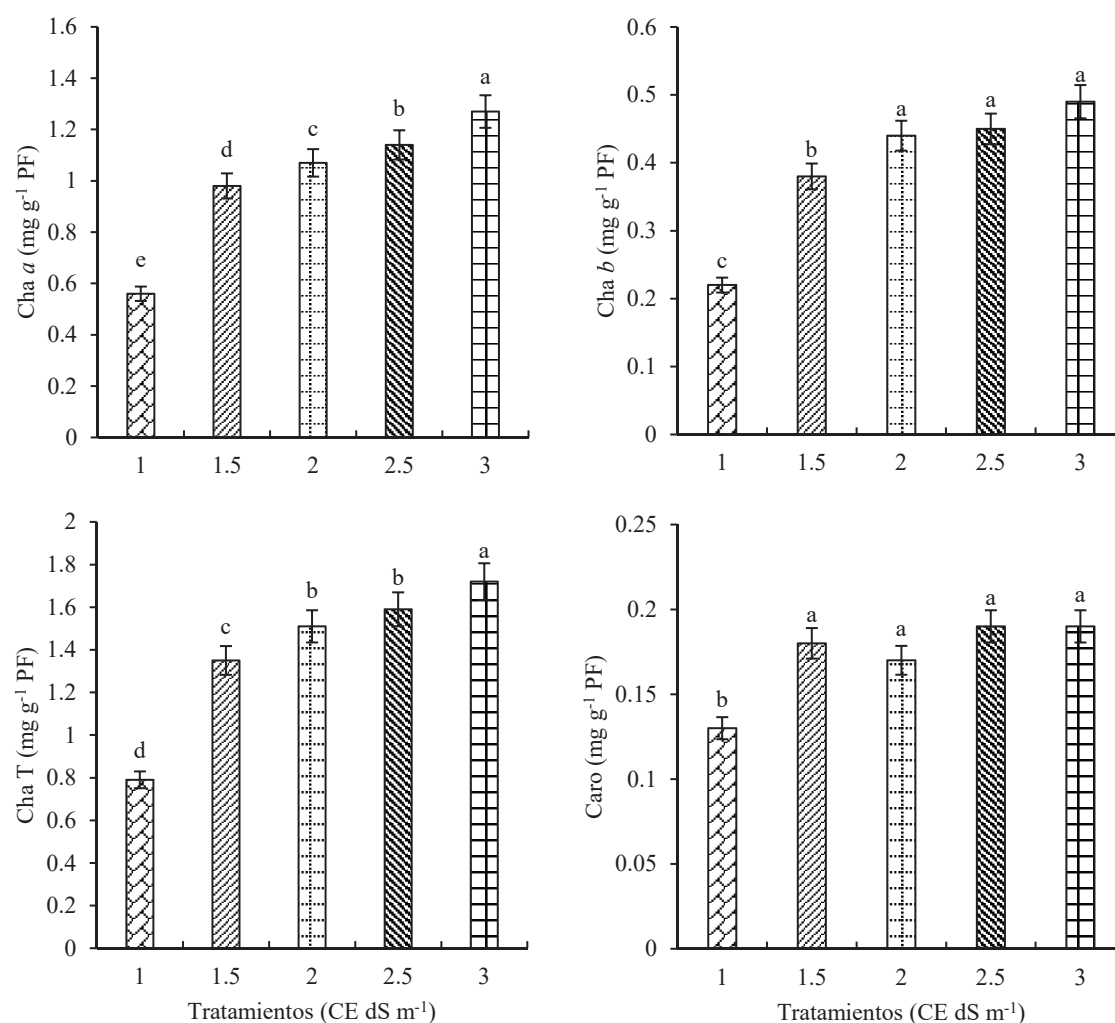


Figura 3. Efecto de la CE de la SN sobre la concentración de pigmentos en el cultivo de lechuga. Promedios conectados mediante letras diferentes son estadísticamente distintos (LSD, $p \leq 0.05$). Cha a: Clorofila a; Cha b: Clorofila b; Cha T: Clorofila total; Caro: Carotenoides; PF: Peso fresco. Los intervalos de las barras representan el error porcentual.

Figure 3. Effect of the EC of the NS on the concentration of pigments in lettuce. Means connected by different letters are statistically different (LSD, $p \leq 0.05$). Cha a: Chlorophyll a; Cha b: Chlorophyll b; Cha T: Total Chlorophyll; Caro: Carotenoids; FW: Fresh weight. Bar intervals represent percent error.

Resultados similares fueron reportados por Alvarado-Camarillo *et al.* (2020), quienes en su estudio con lechuga romana indican que la CE de la SN de 2.5 dS m⁻¹, mejoró la acumulación de biomasa. Aini *et al.* (2020) observaron que la CE de la SN que favoreció en mayor medida la acumulación de biomasa en lechuga romana fue la de 1.4 dS m⁻¹. Por otro lado, da Cunha-Chiamolera *et al.* (2017) evaluaron tres CE de la SN (2, 2.5 y 3 dS m⁻¹) en la producción de lechuga y tomate, y observaron los mejores rendimientos con la SN de CE de 2.5 dS m⁻¹, los cuales fueron inferiores a los mostrados en este estudio.

Pigmentos fotosintéticos

La actividad fotosintética de las plantas está en función de la correcta nutrición y diferentes fenómenos ambientales, por lo cual, es de gran importancia nutrir a los cultivos de forma correcta, de acuerdo con su etapa fenológica y

proporcionarle los cuidados necesarios (Horchani *et al.*, 2010). El proceso fotosintético está relacionado con el contenido de diferentes elementos esenciales, entre ellos nitrógeno (N), potasio (K), magnesio (Mg), fósforo (P), hierro (Fe), entre otros (Yoon *et al.*, 2019). En esta investigación se observó que la concentración de pigmentos incrementó conforme se aumentó la CE de la SN. Se ha sugerido que al incrementar la CE de las SNs se reduce la absorción de agua y nutrientes por la planta, fenómenos que se han asociado con un proceso fotosintético más eficiente (Khoshbakht *et al.*, 2015). Silva *et al.* (2019) también observaron que al incrementar la CE (1, 1.3, 1.6, 1.9 y 2.2 dS m⁻¹) de la SN se incrementó la concentración de clorofila a, clorofila b, clorofila total y carotenoides en lechuga. Morales-Espinoza *et al.* (2019) mencionan que con el incremento de la salinidad se aumenta el contenido de clorofila a, clorofila b y clorofila total en las hojas de tomate.

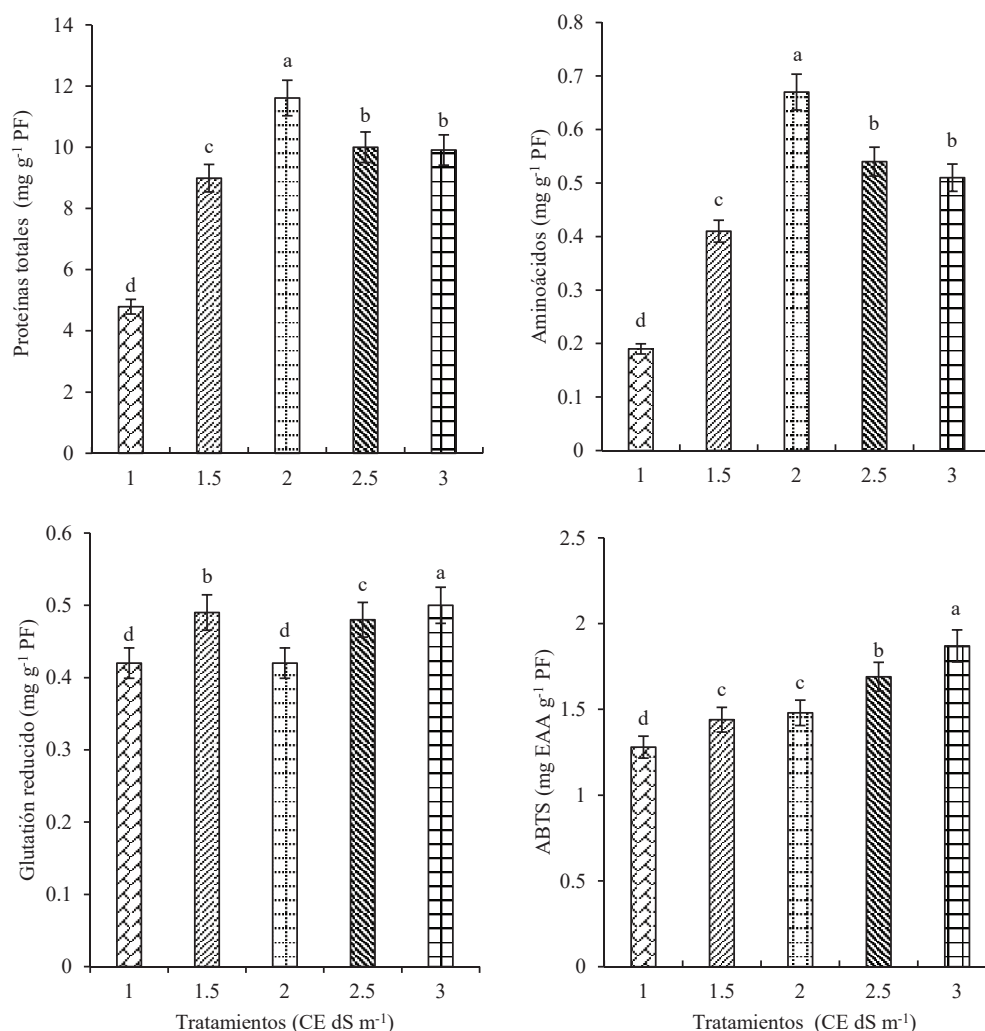


Figura 4. Efecto de la CE de la SN sobre el contenido de proteínas totales, aminoácidos, glutatión reducido y capacidad antioxidante hidrofílica ABTS en el cultivo de lechuga. Promedios conectados mediante letras diferentes son estadísticamente distintos (LSD, $p \leq 0.05$). PF: Peso fresco; ABTS: Ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico); EAA: Equivalentes de ácido ascórbico. Los intervalos de las barras representan el error porcentual.

Figure 4. Effect of the EC of the NS on the content of total proteins, amino acids, reduced glutathione and hydrophilic antioxidant capacity ABTS in lettuce. Means connected by different letters are statistically different (LSD, $p \leq 0.05$). FW: Fresh weight; ABTS: 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid); AAE: Ascorbic acid equivalents. Bar intervals represent percent error.

Compuestos nitrogenados y capacidad antioxidante

Los compuestos nitrogenados, como las proteínas, aminoácidos y glutatión, están involucrados en la acumulación de biomasa en los cultivos, sin embargo, también están involucrados en el sistema de defensa de las plantas al tener efectos antioxidantes (Zechmann, 2020). Un antioxidante es considerado cualquier molécula que a muy baja concentración tiene la capacidad de reducir moléculas oxidantes (Liu *et al.*, 2018). En la presente investigación se observó que el contenido de proteínas y aminoácidos se incrementó conforme se elevó la CE de la SN hasta 2 dS m⁻¹, para después disminuir. Sin embargo, en lo que respecta a glutatión reducido y capacidad antioxidante hidrofílica, se observó que los valores de estas variables de respuesta aumentaron gradualmente al incrementar la CE.

Estos resultados sugieren que al incrementar la CE se provocó un aumento en el estrés oxidativo a causa de las sales minerales, que promueve la síntesis de antioxidantes como medida de defensa (Morales-Espinoza *et al.*, 2019; Preciado-Rangel *et al.*, 2021). En este sentido, se puede apreciar que con la CE más alta (3 dS m⁻¹) se estimuló la mayor síntesis de antioxidantes, pero dicha CE afectó negativamente el rendimiento. Ding *et al.* (2018) demostraron que al incrementar la CE de la SN aplicada a *Brassica campestris* (0 - 9.6 dS m⁻¹) se fortalecía el sistema antioxidante enzimático y no enzimático de la planta. Preciado-Rangel *et al.* (2021) demostraron que al incrementar la CE de la SN (1.5, 2, 2.5 y 3 dS m⁻¹) aplicada al cultivo de pimiento morrón se incrementaban los contenidos de ácido ascórbico, fenoles totales, licopeno y β -caroteno, así como la capacidad antioxidante.

CONCLUSIONES

La CE de 2.5 dS m⁻¹ de la SN incrementó la biomasa fresca y seca de la cabeza y raíz del cultivo de lechuga. En cuanto a proteínas y aminoácidos la CE de 2 dS m⁻¹ fue la que mejoró la concentración de estos metabolitos, además la CE de 3 dS m⁻¹ mejoró la concentración de clorofilas, carotenoides, glutatión reducido y capacidad antioxidante hidrofílica ABTS, pero disminuyó el rendimiento. Es importante mencionar que la CE de 1 dS m⁻¹ afectó negativamente todas las variables estudiadas. Estos datos son importantes para el establecimiento de este cultivo en experimentos posteriores, ya que se pueden usar las diferentes conductividades de acuerdo con los objetivos del estudio. Si los objetivos se centran únicamente en mejorar el rendimiento, es recomendable utilizar la CE de 2.5 dS m⁻¹. Sin embargo, como el comportamiento de los compuestos bioquímicos en este experimento es variado, es necesario realizar más estudios que indiquen de forma más precisa la influencia de las SNs en dichos compuestos.

REFERENCIAS

- Adhikari, N.D., Simko, I. y Mou, B. 2019. Phenomic and physiological analysis of salinity effects on lettuce. *Sensors*. 19: 4814. <https://doi.org/10.3390/s19214814>
- Aini, N., Yamika, W. S.D. y Ulum, B. 2020. Effect of nutrient concentration, PGPR and AMF on plant growth, yield and nutrient uptake of hydroponic lettuce. *International Journal of Agriculture & Biology*. 21: 175-183. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0879>
- Alvarado-Camarillo, D., Valdez-Aguilar, L.A., González-Fuentes, J.A., Rascón-Alvarado, E. y Peña-Ramos, F.M. 2020. Response of hydroponic lettuce to aeration, nitrate and potassium in the nutrient solution. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*. 70: 341-348. <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1730430>
- Amalfitano, C., Del Vacchio, L., Somma, S., Cuciniello, A. y Caruso, G. 2017. Effects of cultural cycle and nutrient solution electrical conductivity on plant growth, yield and fruit quality of 'Friariello' pepper grown in hydroponics. *Horticultural Science*. 44: 91-98. <https://doi.org/10.17221/172/2015-HORTSCI>
- Bilal, H.M., Zulfiqar, R., Adnan, M., Umer, M.S., Islam, H., Zaheer, H., Abbas, W. M., Haider, F. y Ahmad, I. 2020. Impact of salinity on citrus production; A review. *International Journal of Applied Research*. 6: 173-176.
- Bradford, M.M. 1976. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. *Analytical Biochemistry*. 72: 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- da Cunha-Chiamolera, T.P.L., Urrestarazu, M., Filho, A.B.C. y Morales, I. 2017. Agronomic and Economic Feasibility of Tomato and Lettuce Intercropping in a Soilless System as a Function of the Electrical Conductivity of the Nutrient Solution. *HortScience*. 52: 1195-1200. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12170-17>
- Han, Y., Zhao, C., He, X., Sheng, Y., Ma, T., Sun, Z., Liu, X., Liu, C., Fan, S., Xu, W. y Huang, K. 2018. Purple lettuce (*Lactuca sativa* L.) attenuates metabolic disorders in diet induced obesity. *Journal of Functional Foods*. 45: 462-470. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.04.027>
- Hassan, M. U., Islam, M.M., Wang, R., Guo, J., Luo, H., Chen, F. y Li, X. 2020. Glutamine application promotes nitrogen and biomass accumulation in the shoot of seedlings of the maize hybrid ZD958. *Planta*. 251: 66. <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03363-9>
- Horchani, F., Hajri, R. y Aschi-Smiti, S. 2010. Effect of ammonium or nitrate nutrition on photosynthesis, growth, and nitrogen assimilation in tomato plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 173: 610-617. <https://doi.org/10.1002/jpln.201000055>
- Jankovska-Bortkevic, E., Gavelien, V., Šveikauskas, V., Mockeviciute, R., Jankauskien, J., Todorova, D., Sergiev, I. y Jurkoniene, S. 2020. Foliar Application of Polyamines Modulates Winter Oilseed Rape Responses to Increasing Cold. *Plants*. 9: 179. <https://doi.org/10.3390/plants9020179>
- Khoshbakht, D., Ramin, A.A. y Baninasab, B. 2015. Effects of sodium chloride stress on gas exchange, chlorophyll content and nutrient concentrations of nine citrus rootstocks. *Photosynthetica*. 53: 241-249. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0098-1>
- Liu, Z., Ren, Z., Zhang, J., Chuang, C.C., Kandaswamy, E., Zhou, T. y Zou, L. 2018. Role of ROS and Nutritional Antioxidants in Human Diseases. *Frontiers in Physiology*. 9: 477. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00477>
- Manos, D.P. y Xydis, G. 2019. Hydroponics: Are we moving towards that direction only because of the environment? a discussion on forecasting and a systems review. *Environmental Science and Pollution Research*. 26: 12662-12672. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04933-5>
- Michelon, N., Pennisi, G., Myint, N.O., Orsini, F. y Gianquinto, G. 2021. Optimization of Substrate and Nutrient Solution Strength for Lettuce and Chinese Cabbage Seedling Production in the Semi-Arid Environment of Central Myanmar. *Horticulturae*. 7: 64. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7040064>
- Morales-Espinoza, M.C., Cadenas-Pliego, G., Pérez-Alvarez, M., Hernández-Fuentes, A. D., Cabrera de la Fuente, M., Benavides-Mendoza, A., Valdés-Reyna, J. y Juárez-Maldonado, A. 2019. Se Nanoparticles Induce Changes in the Growth, Antioxidant Responses, and Fruit Quality of Tomato Developed under NaCl Stress. *Molecules*. 24: 3030. <https://doi.org/10.3390/molecules24173030>
- Preciado-Rangel, P., Rueda-Puente, E.O., Valdez-Aguilar, L.A., Reyes-Pérez, J.J., Gallegos-Robles, M.Á. y Murillo-Amador, B. 2021. Conductividad eléctrica de la solución nutritiva y su efecto en compuestos bioactivos y rendimiento de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 24: 52.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. y Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*. 26: 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Sambo, P., Nicoletto, C., Giro, A., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Mimmo, T., Lugli, P., Orzes, G., Mazzetto, F., Astolfi, S., Terzano, R. y Cesco, S. 2019. Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. *Frontiers in Plant Science*. 10: 923. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00923>
- Shinde, C.T. y Marathe, P.S. 2021. Farming Without Soil in Today's Era. *Iconic Research and Engineering Journals*. 4: 24-27.

- Silva, P.F., Matos, R.M., Bonou, S. M., Sobrinho, T.G., Borges, V.E., Dantas Neto, J. y Melo Júnior, A.P. 2019. Yield of the hydroponic lettuce under levels of salinity of the nutrient solution. *African Journal of Agricultural Research*. 14: 686-693. <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13782>
- Simko, I., Hayes, R.J., Mou, B. y McCreight, J.D. 2014. Lettuce and Spinach. In: *Yield Gains in Major U.S. Field Crops*. S. Smith., B. Diers., J Specht. y B. Carver. (ed.), pp. 53-86. CSSA Special Publication; American Society of Agronomy; Inc.: Madison; WI; USA; Crop Science Society of America; Inc.: Fitchburg; WI; USA; Soil Science Society of America; Inc.: Madison; WI; USA. <https://doi.org/10.2135/cssaspecpub33>
- Steiner, A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*. 15: 134-154. <https://doi.org/10.1007/BF01347224>
- Wellburn, A.R. 1994. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *Journal of Plant Physiology*. 144: 307-313. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)
- Xu, C. y Mou, B. 2015. Evaluation of Lettuce Genotypes for Salinity Tolerance. *HortScience*. 50: 1441-1446. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.10.1441>
- Xue, T., Hartikainen, H. y Piironen, V. 2001. Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil*. 237: 55-61. <https://doi.org/10.1023/A:1013369804867>
- Yemm, E.W. y Cocking, E.C. 1955. The determination of amino-acids with ninhydrin. *Analyst*. 80: 209-214. <https://doi.org/10.1039/AN9558000209>
- Yoon, H., Kang, Y.G. y Chang, Yoon SeokKim, J.H. 2019. Effects of Zerovalent Iron Nanoparticles on Photosynthesis and Biochemical Adaptation of Soil-Grown *Arabidopsis thaliana*. *Nanomaterials*. 9: 1543. <https://doi.org/10.3390/nano9111543>
- Zechmann, B. 2020. Subcellular roles of glutathione in mediating plant defense during biotic stress. *Plants*. 9: 1067. <https://doi.org/10.3390/plants9091067>