

## Cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.) en hidroponía bajo invernadero y malla sombra con estrés salino

Ana Yesenia Lara-Izaguirre<sup>1</sup>, Ángel Natanael Rojas-Velázquez<sup>1,\*</sup>,  
Jorge Alonso Alcalá-Jáuregui<sup>1</sup>, Irán Alía-Tejagal<sup>2</sup> y Gisela Aguilar-Benítez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Km. 14,5 Carretera San Luis Potosí, Matehuala, Ejido Palma de la Cruz. Apdo. Postal 32. Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México. CP. 78321

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Avenida Universidad, Núm. 1001, Colonia Chamilpa. Cuernavaca, Morelos, México. CP. 62209

<sup>3</sup> Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Altair, Núm. 200, Colonia del Llano. San Luis Potosí, San Luis Potosí, México. CP. 78377

### Resumen

Las plantas están expuestas a factores que limitan su crecimiento y rendimiento, como las condiciones ambientales y la salinidad. En la presente investigación se evaluó el crecimiento y concentraciones iónicas en plantas de berenjena en hidroponía bajo invernadero y malla sombra con estrés salino por NaCl. En plantas de berenjena cultivadas en las dos estructuras se aplicaron dosis de NaCl 0 mM, 15 mM, 30 mM y 45 mM. Las variables evaluadas fueron: rendimiento, biomasa seca, área foliar, unidades SPAD, índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y concentración de iones en hojas  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$ . Los resultados mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en las estructuras protegidas, con incrementos en el rendimiento, área foliar, el NDVI y la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en hojas bajo la malla sombra. Bajo las dosis de NaCl aplicadas, 15 mM de NaCl disminuyó la biomasa seca y el área foliar; con dosis de 30 mM y 45 mM disminuyó el rendimiento y la concentración de  $\text{NO}_3^-$  fue menor, sin embargo, aumentó la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$  en hojas. La interacción entre los factores en estudio mostró que aplicar 15 mM y 30 mM de NaCl en invernadero aumenta la biomasa, la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$  en hojas y en malla sombra aumentó la concentración de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{Ca}^{2+}$  en las hojas. La dosis de 45 mM afectó negativamente el rendimiento en las dos estructuras. En el cultivo de berenjena bajo la estructura de malla sombra con estrés salino se minimizaron los efectos negativos en el crecimiento de las plantas.

**Palabras clave:** Cultivo protegido, intensidad de luz, solución nutritiva, salinidad, NaCl.

### Eggplant (*Solanum melongena* L.) culture in hydroponics under greenhouse and shade net with saline stress

#### Abstract

Plants are exposed to factors that limit their growth and yield, such as environmental conditions and salinity. The present research evaluated growth and ionic concentrations in eggplant plants in hydro-

\* Autor para correspondencia: angel.rojas@uaslp.mx

Cita del artículo: Lara-Izaguirre AY, Rojas-Velázquez AN, Alcalá-Jáuregui JA, Alía-Tejagal I, Aguilar-Benítez G (2023). Cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.) en hidroponía bajo invernadero y malla sombra con estrés salino. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 119(3): 211-224. <https://doi.org/10.12706/itea.2023.004>

ponics under greenhouse and shade net with saline stress by NaCl. Doses of NaCl 0 mM, 15 mM, 30 mM and 45 mM were applied to eggplant grown in the two structures. The variables evaluated were: yield, dry biomass, foliar area, SPAD units, normalized difference vegetation index (NDVI) and ion concentration in  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Na}^+$  leaves. The results showed significant differences ( $p \leq 0.05$ ) in the protected structures, with increases in yield, foliar area, NDVI and  $\text{NO}_3^-$  concentration in leaves under the shade net. Under the NaCl doses applied, 15 mM NaCl decreased dry biomass and foliar area; with doses of 30 mM and 45 mM the yield decreased and the concentration of  $\text{NO}_3^-$  was lower with doses of 30 mM and 45 mM, however, the concentration of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Na}^+$  in leaves increased. The applied dose of 15 mM of NaCl decreased dry biomass and leaf area; the yield and the concentration of  $\text{NO}_3^-$  was lower with doses of 30 mM and 45 mM, however, increased the concentration of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Na}^+$  in leaves. The interaction between the factors under study showed that applying 15 mM and 30 mM of NaCl in greenhouse increases the biomass, the concentration of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Na}^+$  in the leaves and in the shade net increased the concentration of  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{Ca}^{2+}$  on the leaves. The 45 mM dose negatively affected the yield on both structures. In the cultivation of eggplant under the shade mesh structure with saline stress, the negative effects on plant growth were minimized.

**Keywords:** Protected crop, light intensity, nutrient solution, salinity, NaCl.

## Introducción

La berenjena (*Solanum melongena* L.), también conocida como guinea es una especie de importancia agronómica y económica de la familia de las solanáceas (Gürbüz et al., 2018). Es un cultivo versátil adaptado a diferentes regiones climáticas y se puede producir durante todo el año, es perenne, pero se cultiva comercialmente como anual (Priyadarshini et al., 2016).

En las prácticas agrícolas de todo el mundo, las plantas están expuestas a diversos factores de estrés que limitan el rendimiento, el crecimiento y la calidad como la sequía, salinidad, temperatura y otros (Vázquez-Hernández et al., 2019). En este sentido, las condiciones climáticas influyen en la obtención de altos rendimientos en berenjena en ambientes secos, cálidos y moderados, sin embargo, es sensible a las heladas y el crecimiento está limitado cuando la temperatura es menor a 16 °C y mayor a 30 °C (Adamczewska-Sowińska et al., 2016). El cultivo protegido es una alternativa para controlar las condiciones ambientales, además aumenta la calidad de los cultivos sin efectos negativos en el rendimiento (Rouphael et al., 2018).

Las condiciones de luz pueden mejorar la actividad fotosintética de las plantas (Kyriacou et al., 2016), dentro de un invernadero están influenciadas por los materiales de la cubierta, que permiten lograr condiciones de luz específicas, debido a que filtran la radiación solar al reducir la intensidad de la luz a través de la película fotoselectiva (Ilić y Fallik, 2017). Las mallas negras reducen la cantidad, pero no la calidad de luz que llega a las plantas (Shahak, 2008), además reduce la temperatura del aire y el suelo, con menor estrés por calor en las plantas (Ilić y Fallik, 2017). En plantas de berenjena en invernadero el número de frutos por planta aumenta a temperaturas de 15 °C y 17 °C con diferentes intensidades de luz, y se mejora el peso fresco de los frutos a 19 °C y 20 °C con intensidad de luz baja (Uzun, 2007).

Por otra parte, el estrés salino es un estrés abiótico que disminuye la productividad de los cultivos, con impacto negativo en las funciones morfológicas (Arif et al., 2020), bioquímicas y fisiológicas del crecimiento y desarrollo de las plantas (Hatamnia et al., 2013). La salinidad afecta la calidad de los cultivos, al influir en la absorción y el transporte de iones, provoca desordenes nutricionales en los

tejidos vegetales (Martínez-Ballesta et al., 2010), además de pérdida de agua, reducción de la transpiración y concentraciones altas de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , que son tóxicos para las plantas (Jaramillo-Roman et al., 2020). El uso de NaCl en la solución nutritiva en tomate reduce la materia seca, altura, número de hojas y área foliar (Romero-Aranda et al., 2001), en pimiento con dosis de 30 mM de NaCl en la solución nutritiva disminuye la biomasa total, área foliar y el rendimiento (Rubio et al., 2009).

En berenjena, la salinidad induce alteraciones morfofisiológicas y bioquímicas (Abbas et al., 2010), este cultivo se considera sensible o moderadamente sensible a la salinidad (Ünlükara et al., 2010), sin embargo, existen estudios contradictorios sobre su tolerancia a la salinidad (Priyadarshini et al., 2016). En plantas de berenjena con dosis a partir de 20 mM de NaCl disminuyó la biomasa seca (Hannachi y Van Labeke, 2018), con 50 mM y 150 mM disminuyó el área foliar, la biomasa aérea y la concentración de  $\text{K}^+$  en hojas (Assaha et al., 2013). En cultivares de berenjena en hidroponía se observó una marcada disminución en la biomasa y en el rendimiento debido al estrés salino con 100 mM de NaCl (Abbas et al., 2010), con 150 mM disminuyó la biomasa y la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  (Shahbaz et al., 2013). En contraste, con 25 mM NaCl en la solución nutritiva no mostró influencia en el área de la hoja (Savvas y Lenz, 2000), en germinación de cultivares de berenjena con dosis de 20 mM y en etapa de crecimiento con dosis de 20 mM y 40 mM no se observaron efectos en la concentración de  $\text{K}^+$ , y con dosis de 20 mM, 40 mM y 80 mM de NaCl no cambió la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  en hojas (Hannachi y Van Labeke, 2018). Además, dosis de 15 mM, 30 mM y 45 mM de NaCl tienen efectos positivos en la calidad de frutos de berenjena como el aumento de °Brix, vitamina C y actividad antioxidante (Lara-Izaguirre et al., 2022).

La respuesta de las hortalizas de invernadero al estrés salino depende del material gené-

tico, condiciones ambientales, etapa fenológica y el tipo de fuente de sal, concentración y el tiempo de exposición (Rouphael et al., 2018). Varias condiciones adversas en combinación pueden provocar una respuesta diferente a la que provocaría un solo tipo de estrés, es importante el estudio e identificación de qué respuestas promueven o mantienen el crecimiento y desarrollo de las plantas durante el estrés, para comprender el proceso desde el punto de vista del rendimiento agrícola (Priyadarshini et al., 2016). Por lo anterior, el objetivo es evaluar el crecimiento y concentraciones iónicas en plantas de berenjena en hidroponía bajo invernadero y malla sombra con estrés salino por NaCl.

## Material y métodos

### Ubicación del experimento y material vegetal

El trabajo experimental se realizó en el área de cultivos hidropónicos de la Facultad de Agronomía y Veterinaria ubicada en San Luis Potosí, México, en el ciclo de cultivo verano-otoño del 2019 en dos tipos de cultivo, invernadero y malla sombra.

Para este estudio se utilizaron semillas de berenjena variedad 'Black Beauty' (Semillas Caloro, México), se sembraron en charolas de poliestireno de 220 cavidades con sustrato comercial a base de turba ácida. El trasplante al sistema de producción se llevó a cabo a los 60 días después de la siembra en bolsas de plástico negro de 10 L de volumen, con tezontle rojo como sustrato proveniente de un yacimiento del municipio de Villa Hidalgo, "Materiales Para Construcción Los Rosales", San Luis Potosí, México, con una granulometría de 5-6 mm, bajo un sistema de riego por goteo, se consideró una densidad de plantación de 0,75 planta·m<sup>2</sup>.

Para la nutrición del cultivo se empleó la solución nutritiva universal de Steiner (1984) (en meq·L<sup>-1</sup>): 12 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 7 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 1 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, 9 Ca<sup>2+</sup>, 7 K<sup>+</sup> y 4 Mg<sup>2+</sup>. Los fertilizantes utilizados fueron Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O, KNO<sub>3</sub>, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Los micronutrientes se añadieron con Carboxy Micro, el cual aportó Fe 5 %; Zn 2,5 %; Mn 1 % y B 0,5 % en forma quelatada EDDHA. El pH de la solución se ajustó con ácido fosfórico a 5,5. La solución tenía una CE de 2 dS·m<sup>-1</sup>.

### Tratamientos

Se utilizaron dos condiciones ambientales de crecimiento: un invernadero tipo túnel de dimensiones 5,5 m × 18 m con cubierta plástica color blanco y un invernadero tipo capilla con las mismas dimensiones con cubierta de malla sombra color negro. En el invernadero se mostró una temperatura promedio de 23 °C y una intensidad luminosa promedio de 325,74 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>. En la malla sombra una temperatura promedio de 17 °C con una intensidad luminosa promedio de 183,22 μmol m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> (registrador HOBO Onset UA-002-08 Pendant Temperature/Light Data Logger).

Los tratamientos de salinidad se aplicaron bajo cada estructura protegida a los 54 días después del trasplante (inicio de la floración). Se añadió NaCl (J.T. Baker™) a la solución Steiner en tres dosis: 0 mM, 15 mM, 30 mM y 45 mM.

### VARIABLES EVALUADAS EN LA COSECHA

Se cosecharon frutos maduros con una coloración negro brillante, en tres cortes a partir de los 105 días después de la aplicación de NaCl y se pesaron en una balanza digital (Ohaus® PAJ4102N Gold series, Parsippany, New Jersey, USA). El peso se tomó en g y el rendimiento en g/planta. En la malla sombra se cosecharon los frutos en tres fechas, 105 días después del trasplante (ddt), 130 ddt y 154 ddt.

En el invernadero se cosecharon a los 130 ddt y 154 ddt.

A los 131 días se midió área foliar (medidor laser de área foliar CI-202 CID Bio- Science, Camas, Washington, USA) y posteriormente se colocaron tallo y hoja a la estufa para obtener la biomasa seca aérea (estufa de secado Omron, Kyoto, Japón y balanza digital, Ohaus® PAJ4102N Gold series, Parsippany, New Jersey, USA) a una temperatura de 72 °C hasta peso constante.

Antes de la primera cosecha de los frutos, se midieron en las plantas las unidades SPAD (Soil Plant Analysis Development, SPAD-502 Plus Chlorophyll Meter, 2900P, Spectrum Technologies, Aurora, Illinois, USA) en hojas intermedias y visiblemente sanas y el índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, GreenSeeker Trimble Handheld Crop Sensor, Sunnyvale, California, USA), al colocar el medidor a 30 cm de distancia de la parte apical de la planta.

La concentración de iones Na<sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup> y Ca<sup>2+</sup> se midió en el extracto celular del peciolo con ionómetros (Laqua Twin Compact Ion Meter, Horiba, Kyoto, Japón) en mg·L<sup>-1</sup>.

### Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar. La unidad experimental fue una planta por maceta, fueron cuatro tratamientos de NaCl en cada estructura protegida y 20 repeticiones por tratamiento, con 80 unidades experimentales por estructura. Con un total de 8 tratamientos y 160 plantas.

### Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias con la prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), por medio del programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9,0.

## Resultados y discusión

### Biomasa seca

Se mostraron diferencias ( $p \leq 0,05$ ) en las plantas cultivadas en las dos estructuras protegidas, en invernadero la biomasa seca fue mayor en 18 % (Tabla 1). De acuerdo con Adamczewska-Sowińska et al. (2016) mencionaron que la producción de berenjena depende en gran medida de las condiciones climáticas, y que el crecimiento se ve limitado por temperaturas inferiores a 16 °C. En este

estudio, la temperatura media mostrada en invernadero fue de 23 °C lo cual podría ser favorable para el crecimiento de las plantas, en comparación con la malla sombra que presentó 17 °C. La intensidad de luz en las estructuras utilizadas fue de 325,74  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  en invernadero y 183,22  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  en malla sombra. En un caso similar, al inducir estrés con luz elevada de 800  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  en el cultivo de lechuga, la biomasa seca aumentó 11 % (Oh et al., 2009). En otro estudio, con 220  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  aumentó 50 % en comparación con la menor intensidad de luz 60  $\mu\text{mol}$

Tabla 1. Crecimiento de plantas de berenjena bajo dos estructuras protegidas (invernadero y malla sombra) y diferentes dosis de NaCl.

Table 1. Eggplant plant growth under two protected structures (greenhouse and shade net) and different NaCl doses.

		Biomasa seca (g)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Rendimiento (g/planta)	Unidades SPAD	NDVI
Estructura protegida (EP)	I	106,73 a	4084,16 b	184,91 b	58,63 a	0,63 b
	MS	87,70 b	4878,91 a	624,16 a	61,06 a	0,66 a
	DMS	13,38	209,73	109,17	2,77	0,02
NaCl (N)	0 mM	121,03 a	5497,9 a	505,76 a	59,58 a	0,65 a
	15 mM	98,38 ab	4366,6 b	530,49 a	60,68 a	0,62 a
	30 mM	89,87 b	4200,0 bc	389,84 ab	58,54 a	0,65 a
	45 mM	79,57 b	3861,6 c	192,07 b	60,58 a	0,65 a
	DMS	25,29	399,62	206,36	5,19	0,04
Interacción (EP×N)	EPI×N0	139,00 a	5049,2 b	315,3 bc	57,61 a	0,62 a
	EPI×N15	111,53 ab	4002,1 d	171,3 c	59,60 a	0,61 a
	EPI×N30	94,70 ab	4128,0 cd	157,5 c	57,83 a	0,64 a
	EPI×N45	78,70 b	3157,4 e	95,5 c	59,47 a	0,64 a
	EPMS×N0	103,80 ab	5946,7 a	696,2 a	61,56 a	0,67 a
	EPMS×N15	85,25 b	4731,1 bc	889,7 a	61,76 a	0,63 a
	EPMS×N30	82,05 b	4272,0 cd	622,1 ab	59,25 a	0,66 a
	EPMS×N45	80,45 b	4565,9 bcd	288,6 bc	61,70 a	0,66 a
	DMS	42,95	682,96	350,37	8,73	0,07
CV	18,86	6,27	36,98	9,27	7,08	

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0,05$ ); EP: estructura protegida; I: invernadero y MS: malla sombra N: dosis de NaCl; CV: coeficiente de variación; DMS: diferencia mínima significativa.

$\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (Fu et al., 2017), lo cual sugiere que la intensidad luminosa beneficia el desarrollo de la biomasa aérea (Tabla 1).

Con las dosis 30 mM y 45 mM de NaCl aplicadas disminuyó la biomasa seca ( $p \leq 0,05$ ) en 26 % en comparación con 0 mM (Tabla 1). De acuerdo con Hannachi y Van Labeke (2018) en cultivares de berenjena en invernadero con dosis a partir de 20 mM de NaCl disminuyó la biomasa seca en 30 % y con dosis de 150 mM de 42 % a 62 % (Shahbaz et al., 2013). Con dosis de 50 mM en plantas de berenjena la biomasa seca disminuyó en 49 % (Assaha et al., 2013). En este sentido, la reducción del peso seco de brotes y raíces es el resultado de varios efectos inducidos por la sal, como el ajuste osmótico debido a la adaptación de la planta a los cambios osmóticos, la exclusión de iones y las limitaciones de crecimiento, debido a desequilibrios nutricionales (Debnath et al., 2018). En la interacción de los factores de estudio disminuyó la biomasa seca ( $p \leq 0,05$ ) al aplicar las dosis de NaCl en ambas estructuras, sin embargo, la disminución en la biomasa fue mayor en los tratamientos aplicados en el invernadero en 43 % con dosis de 45 mM (Tabla 1), estructura en la cual se presentó la intensidad de luz más alta, en  $325,74 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Zhang et al. (2020) mencionaron que el estrés salino generalmente inhibe el crecimiento de las plantas y puede depender de las condiciones de luz; en plantas de tomate bajo intensidad de luz de  $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  con 80 mM de NaCl aplicado a las plantas disminuyó la biomasa seca en 33 % respecto a 0 mM, mientras que bajo luz de  $650 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  con 80 mM se aumentó la reducción a 46 % respecto a 0 mM.

### **Área foliar**

Se mostraron diferencias significativas en el cultivo con la estructura utilizada ( $p \leq 0,05$ ), bajo invernadero fue menor el área foliar en 16 % comparado con la malla sombra (Tabla 1).

De acuerdo con Oh et al. (2009), en lechuga al inducir el estrés con luz alta de  $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  disminuyó el área foliar en 23 %. En este estudio, bajo las estructuras protegidas la intensidad de luz fue de  $325,74 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  en invernadero y  $183,22 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  en malla sombra, lo cual pudo disminuir el área foliar de las plantas cultivadas en el invernadero. En este sentido, mencionan Azcón-Bieto et al. (2008) que el ambiente luminoso al que se encuentran expuestas las plantas afecta su crecimiento y desarrollo, lo cual determina su morfología foliar y su fisiología.

Con las dosis de NaCl aplicadas, disminuyó el área foliar ( $p \leq 0,05$ ) entre 21% y 30 % (Tabla 1). Esto coincide con Assaha et al. (2013) en berenjena donde la salinidad por NaCl disminuyó el área foliar con dosis de 50 mM en 50 %. Sin embargo, Hannachi y Van Labeke (2018) mencionaron que esto puede variar según la especie y la variedad, además con el aumento de la concentración de NaCl en la solución nutritiva y el tiempo de exposición a la salinidad (Romero-Aranda et al., 2001). En berenjena 'Black Beauty', 80 mM de NaCl parece ser el nivel umbral entre el estrés osmótico e iónico (Hannachi y Van Labeke, 2018). Para la mayoría de las plantas un nivel de 40 mM de NaCl alrededor de las raíces disminuye la tasa de crecimiento de los brotes, debido a que la salinidad provoca que las células de las hojas pierdan agua, reduce volumen y turgencia, por lo que las hojas son más pequeñas y gruesas (Munns y Tester, 2008).

La interacción de los factores en estudio, con el uso de estructuras protegidas y la aplicación de NaCl disminuyeron el área foliar ( $p \leq 0,05$ ) tanto en invernadero como en malla sombra (Tabla 1). Sin embargo, en el cultivo bajo malla sombra el área foliar fue mayor en 15 % sin la aplicación de NaCl comparado con el invernadero. La aplicación de las dosis en malla sombra disminuyó 20 % el área foliar y en invernadero entre 18 % y 37 %. Bacha et al. (2017) indicaron que la reducción

de área foliar se debe a la disminución del intercambio de gases en las hojas durante el estrés salino, lo que representa una estrategia morfológica adaptativa para la tolerancia a la sal, como sucedió en plantas de tomate con dosis de 50 mM y 150 mM de NaCl, donde se mostró una reducción del 15 % y 41 % del área foliar, respectivamente. Por otra parte, en plantas de pimiento con 30 mM disminuyó el área foliar en 27 % con respecto a las plantas no estresadas (Rubio et al., 2009). En plantas de tomate el estrés salino de 80 mM de NaCl bajo intensidad de luz de  $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  condujo a una reducción del 37 % respecto a 0 mM del área foliar, el uso de 80 mM con intensidad de luz de  $650 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  disminuyó 48 % respecto a 0 mM (Zhang et al., 2020).

### **Rendimiento**

Se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0,05$ ) en las plantas cultivadas bajo las estructuras (Tabla 1); en malla sombra donde se presentó una temperatura media de 17 °C y una intensidad luminosa de  $183,22 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  la cosecha inició 25 días antes que en el invernadero, estas condiciones de menor intensidad de luz y temperatura mejoraron el peso de los frutos en 70 %. Caso contrario, en un estudio en el cultivo de berenjena el aumento de la intensidad de la luz resultó en un mayor peso de los frutos (Uzun, 2007) y en lechugas con temperaturas altas de 33 °C mostró 30 % mayor rendimiento que a 25 °C (Sublett et al., 2018). En este estudio, a pesar de que en el invernadero se mostró una intensidad luminosa y temperatura más alta, no favoreció el rendimiento de los frutos de berenjena.

La aplicación de dosis de NaCl mostró diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0,05$ ) en el rendimiento (Tabla 1). La dosis de 45 mM mostró 62 % menor rendimiento respecto a las dosis 0 mM y 15 mM. Abbas et al.

(2010) mencionaron que en cultivares de berenjena con la aplicación de 100 mM de NaCl disminuyó el rendimiento de los frutos entre 50 % y 60 %.

En la interacción de los dos factores en estudio, las dosis de NaCl aplicadas en las plantas bajo invernadero disminuyeron el rendimiento en 75 % ( $p \leq 0,05$ ) respecto a la malla sombra (Tabla 1). En este sentido, las mallas negras reducen la cantidad de luz que llega a las plantas (Shahak, 2008), reduce la temperatura del aire y el suelo, lo cual produce menor estrés por calor en las plantas (Ilić y Fallik, 2017). El crecimiento y rendimiento de plantas de berenjena está limitado cuando la temperatura es mayor a 30 °C (Adamczewska-Sowińska et al., 2016). Es probable que en invernadero el rendimiento e inicio a cosecha se afectara debido a las altas temperaturas registradas presentando máximas hasta de 47,5 °C.

### **SPAD**

En las plantas cultivadas bajo las estructuras utilizadas, la aplicación de dosis de NaCl y la interacción de los dos factores en estudio no mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en unidades SPAD (Tabla 1). Kang et al. (2013) mostraron que en el cultivo de lechuga las unidades SPAD no mostraron diferencias a intensidades de luz de  $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $230 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $260 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  y  $290 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Las lecturas SPAD representan el contenido de clorofila de las hojas, la reducción de la clorofila como respuesta al estrés por salinidad reduce el crecimiento y la biomasa seca de las plantas, demostrado en los cultivares de stevia (*Stevia rebaudiana*) al disminuir las unidades SPAD entre 28 % y 33 % a dosis de 50 mM (Debnath et al., 2018) y en genotipos de quinoa (*Chenopodium quinoa*) disminuyó alrededor del 34 % con dosis de 400 mM de NaCl respecto al testigo (Jaramillo-Roman et al., 2020).

### NDVI

Las plantas cultivadas en las estructuras utilizadas mostraron diferencias ( $p \leq 0,05$ ), bajo la malla sombra aumentó el índice en 5 % (Tabla 1). Según lo mencionado por Gutiérrez-Soto et al. (2011) valores de 0,7-0,8 son indicadores de plantas en mejores condiciones, el índice NDVI explica que la luz incidente natural es separada de la producida por el instrumento de medición electrónicamente, y se indica en rangos entre -1,0 y 1,0. Leone et al. (2007) mencionaron que, en el cultivo de berenjena, las plantas en mejores condiciones presentaron valores de NDVI de 0,82, es decir, las plantas testigo sin la inducción de estrés. En este estudio, el cultivo bajo malla sombra mostró el mayor valor del NDVI con 0,66, en comparación con el invernadero (Tabla 1). En otro estudio, el cultivo de trigo, el NDVI mostró un comportamiento inverso con respecto a la radiación; es decir, a mayor incidencia de radiación solar menor NDVI, disminuyó de valores entre 0,82-0,84 a 0,68 (Stocker et al., 2019).

La aplicación de dosis de NaCl y la interacción de los dos factores en estudio no afectaron significativamente ( $p \leq 0,05$ ) el NDVI en las plantas (Tabla 1). Zhang et al. (2011) pusieron de manifiesto que el NDVI se considera un indicador confuso del grado de salinidad del suelo, debido a que este índice se relaciona también con la biomasa, el área foliar, la cobertura vegetal, el contenido de nitrógeno y clorofila en las plantas. Sin embargo, Leone et al. (2007) en un estudio de berenjenas regadas con agua salina, el testigo mostró valores mayores en 7 % y 22 % respecto a los tratamientos con 5,72 g y 10,72 g de NaCl, esto indica que la reflectancia espectral medida por el NDVI puede ser un criterio indirecto efectivo para monitorear los cambios de salinidad/sodicidad del suelo, también cuando la vegetación es moderadamente sensible a la salinidad/sodicidad, como en el caso de las berenjenas (Leone et al., 2007).

### NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en peciolo

Se encontraron diferencias ( $p \leq 0,05$ ) en las plantas cultivadas bajo las estructuras utilizadas. En invernadero con temperatura e intensidad de luz más alta, fue menor la concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el extracto celular del peciolo en 35 % respecto a la malla sombra (Figura 1A). De acuerdo con Fu et al. (2017), en plantas de tomate la intensidad de la luz en el rango de 60  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a 140  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  disminuyó 40 % el nitrato del tejido foliar, la alta intensidad de luz de 220  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  disminuyó en 31 % la concentración de este ion en las hojas, similar a los resultados en invernadero en este estudio. Las dosis de 30 mM y 45 mM de NaCl aplicadas disminuyeron en 34 % la concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en peciolo ( $p \leq 0,05$ ) respecto a 0 mM de NaCl (Figura 1B). Estos resultados difieren de los encontrados por Hannachi y Van Labeke (2018) en la variedad de berenjena 'Black Beauty', donde no encontraron diferencias en la concentración de nitratos en hojas con dosis de 20 mM y 40 mM, sin embargo, con dosis de 80 mM y 160 mM de NaCl disminuyeron 42 % y 76 %, respectivamente. La salinidad influye en la captación y transporte de otros iones, un antagonismo podría ocurrir entre Cl<sup>-</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, estos efectos pueden estar implicados en la aparición de trastornos nutricionales en los tejidos vegetales y afectar la calidad de los cultivos (Martínez-Ballesta et al., 2010).

En la interacción de los factores de estudio, las dosis altas en malla sombra de 45 mM y en invernadero 30 mM y 45 mM disminuyeron 46 % la concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el extracto celular de peciolo ( $p \leq 0,05$ ) respecto al testigo 0 mM aplicado a las plantas en invernadero (Figura 1C). A mayor intensidad de luz 325  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  mostrada bajo el invernadero, las dosis más altas de NaCl aplicadas a las plantas disminuyeron la concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el peciolo. Zhang et al. (2020) indicaron que en plantas de tomate bajo dos in-



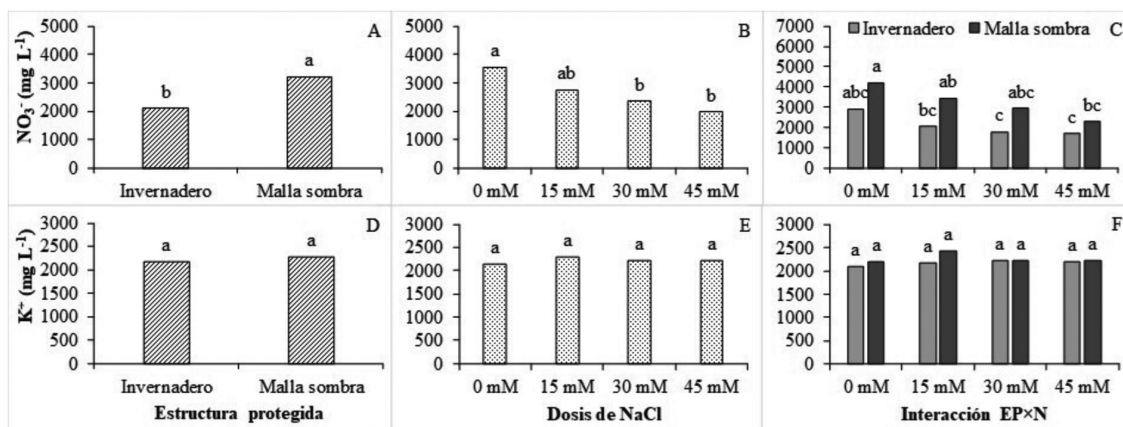


Figura 1. Iones  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{K}^+$  en extracto celular de peciolo en plantas de berenjena bajo estructuras protegidas invernadero y malla sombra (A, D), dosis de NaCl (B, E) e interacción estructura protegida y dosis de NaCl (C, F). Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0,05$ ).

Figure 1.  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{K}^+$  ions in petiole cellular extract of eggplant plants under protected structures greenhouse and shade net (A, D), NaCl dose (B, E) and interaction with protected structure and NaCl dose (C, F). Means with the same letters are not statistically different (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

tensidades de luz  $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  y  $650 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , al aplicar el estrés salino mediante 80 mM de NaCl condujo a una reducción del 8 % la concentración de nitrógeno en las hojas respecto a 0 mM en ambas intensidades de luz. En genotipos de quinoa (*Chenopodium quinoa*) las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  en las hojas disminuyeron 27 % con dosis de 400 mM de NaCl respecto al testigo (Jaramillo-Roman et al., 2020).

### $\text{K}^+$ en peciolo

No se observaron diferencias ( $p \leq 0,05$ ) en la concentración de  $\text{K}^+$  en las plantas cultivadas bajo las estructuras utilizadas, con la aplicación de dosis de NaCl y en la interacción de los dos factores en estudio (Figuras 1D, 1E y 1F). Brenes et al. (2020) mencionaron que en hojas de berenjena las dosis de 50 mM, 100 mM, 200 mM y 150 mM no modifican las concentraciones de  $\text{K}^+$ . De forma similar, en berenjena 'Black Beauty', las dosis de 20 mM,

40 mM y 80 mM no afectaron la concentración foliar de  $\text{K}^+$  (Hannachi y Van Labeke, 2018). Aunque este cultivo se considera sensible o moderadamente sensible a la salinidad (Ünlükara et al., 2010), la tolerancia de la berenjena a algunos niveles de salinidad se debe al mantenimiento de los niveles de  $\text{K}^+$  con el aumento de  $\text{Na}^+$  (Brenes et al., 2020). En condiciones estresantes como la alta salinidad, la capacidad de las plantas para retener una alta concentración de  $\text{K}^+$  en el citosol es notable y puede ser esencial para su tolerancia a la sal, aunque puede tener un alto costo metabólico (Jaramillo-Roman et al., 2020). Sin embargo, otros estudios en plantas de berenjena mostraron que la concentración de  $\text{K}^+$  disminuye según la dosis, con 50 mM disminuyó en 19 % (Assaha et al., 2013), 100 mM entre 31 % y 40 % (Abbas et al., 2010), 150 mM en 15 % (Shahbaz et al., 2013) y 160 mM en 43 % (Hannachi y Van Labeke, 2018). Zhang et al. (2020) mostraron que la intensidad de luz no influye en la concentración de  $\text{K}^+$  pero si la dosis de NaCl,

como en el cultivo de tomate con 80 mM de NaCl con intensidades de  $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  y  $650 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  el  $\text{K}^+$  disminuyó en 50 % respecto a 0 mM.

Laohavisit et al. (2013) encontraron que la salida de  $\text{K}^+$  de las raíces inducida por NaCl puede ser la consecuencia de una mayor entrada de  $\text{Na}^+$ , además puede ser indicativo de una mayor fuerza impulsora para la salida de  $\text{K}^+$  dada la pérdida de proteínas como vía de salida del  $\text{K}^+$  de la membrana plasmática, y como consecuencia una acumulación de  $\text{K}^+$ ; el flujo de salida de  $\text{K}^+$  de las raíces está mediado en parte por las especies reactivas de oxígeno que activan el canal de  $\text{K}^+$  de la membrana plasmática.

### **$\text{Ca}^{2+}$ en peciolo**

No se encontraron diferencias ( $p \leq 0,05$ ) en las plantas cultivadas bajo las estructuras (Figura 2A), a pesar que en invernadero se presentó la mayor temperatura. Sin embargo, en otros estudios llevados a cabo con lechugas cultivadas a diferentes temperaturas, la concentración foliar de calcio disminuyó en un 13 % a  $33^\circ\text{C}$  respecto a las plantas cultivadas a  $25^\circ\text{C}$ , a temperaturas más bajas se mejora el desarrollo de las raíces y se facilita la absorción y asimilación de nutrientes (Sublett et al., 2018).

Con las dosis 30 mM y 45 mM de NaCl aplicadas, aumentó en 40 % la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  en peciolo ( $p \leq 0,05$ ) comparado con 0 mM (Figura 2B). En berenjena 'Black Beauty' las dosis de 20 mM, 40 mM y 80 mM no afectaron la concentración foliar de  $\text{Ca}^{2+}$  (Hannachi y Van Labeke, 2018). En contraste, en cultivares de berenjena con 100 mM disminuyó alrededor de 47 % (Abbas et al., 2010), con 150 mM en 9 % (Shahbaz et al., 2013) y con dosis de 160 mM en 30 % (Hannachi y Van Labeke, 2018). En este sentido, Martínez-Ballesta et al. (2010) mencionaron que la salinidad por NaCl reduce la absorción, transporte y acumulación de  $\text{Ca}^{2+}$  en las plantas.

El aumento en la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  podría explicar el efecto no significativo en  $\text{K}^+$  (Fig 1E y 1F). Shabala et al. (2006) detectaron que en condiciones salinas el  $\text{Ca}^{2+}$  evita la pérdida de  $\text{K}^+$  del tejido foliar, cuando se aplican 10 mM  $\text{Ca}^{2+}$  y 50 mM  $\text{Na}^+$  juntos a los protoplastos de las raíces, el flujo de salida de  $\text{K}^+$  son menores, por lo tanto, el  $\text{Ca}^{2+}$  puede desactivar la pérdida de  $\text{K}^+$  de la raíz. El efecto de mejora del  $\text{Ca}^{2+}$  y algunos cationes divalentes ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ) sobre la toxicidad del  $\text{Na}^+$  puede explicarse por el bloqueo del influjo tóxico de  $\text{Na}^+$  a través de los canales catiónicos no selectivos (Demidchik y Tester, 2002).

En la interacción de los factores de estudio, en las plantas bajo malla sombra con dosis de 45 mM aumentó la concentración de calcio en el extracto celular de peciolo en 45 % ( $p \leq 0,05$ ) en comparación con 0 mM y 15 mM en malla sombra y 0 mM en invernadero (Figura 2C). En cultivares de stevia las concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$  disminuyeron al aumentar las dosis de 50 mM a 300 mM de NaCl (Debnath et al., 2018), en otro estudio, en cultivares de albahaca dosis de 30 mM a 200 mM no afectaron la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  (Scagel et al., 2019).

### **$\text{Na}^+$ en peciolo**

No se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en las plantas cultivadas en las dos estructuras (Figura 2D). Bajo dos intensidades de luz  $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  y  $650 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  la concentración de  $\text{Na}^+$  en hojas de tomate tampoco mostraron diferencias (Zhang et al., 2020).

Las dosis de NaCl mostraron diferencias ( $p \leq 0,05$ ), las dosis más altas 30 mM y 45 mM fueron mayores en 78 % respecto a los demás tratamientos (Figura 2 E). En variedades de berenjena, con 40 mM no se encontraron diferencias en la concentración de  $\text{Na}^+$ , sin embargo, en 'Black Beauty' al aumentar la dosis a 80 mM y 160 mM se acumuló un 78 %

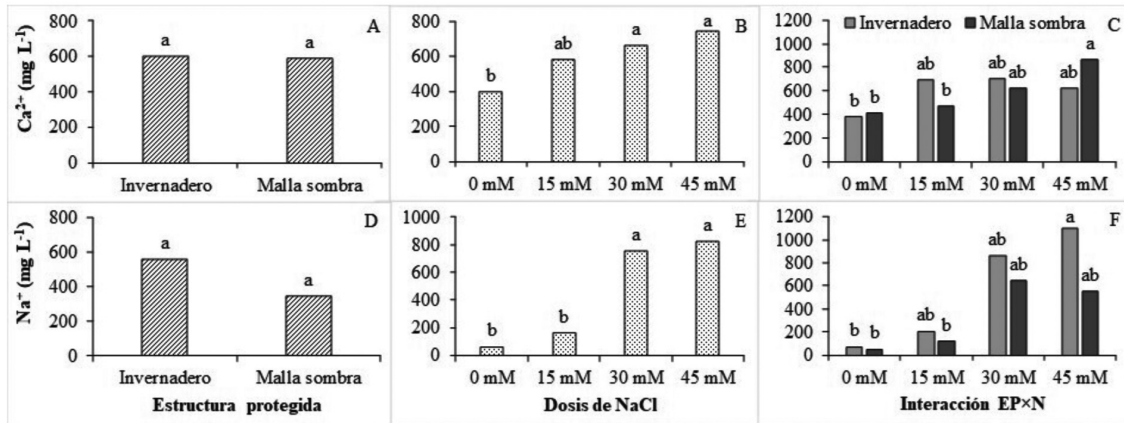


Figura 2. Iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Na}^{+}$  en extracto celular de peciolo en plantas de berenjena bajo estructuras protegidas invernadero y malla sombra (A, D), dosis de NaCl (B, E) e interacción estructura protegida y dosis de NaCl (C, F). Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0,05$ ).

Figure 2.  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Na}^{+}$  ions in petiole cellular extract of eggplant plants under protected structures greenhouse and shade net (A, D), NaCl dose (B, E) and interaction with protected structure and NaCl dose (C, F). Means with the same letters are not statistically different (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

(Hannachi y Van Labeke, 2018). En cultivares de berenjena con 150 mM se acumuló  $\text{Na}^{+}$  entre un 40 % y 50 % (Shahbaz et al., 2013). En especies de berenjena con dosis a partir de 50 mM a 300 mM la concentración de  $\text{Na}^{+}$  en las hojas aumentó desde un 50 % a 88 % (Brenes et al., 2020).

En la interacción de los factores de estudio, en invernadero con la dosis más alta se aumentó la concentración de sodio en peciolo en 89 % ( $p \leq 0,05$ ) en comparación con 0 mM en invernadero, 0 mM y 15 mM en malla sombra (Figura 2F). En diversos cultivos se puede ver respuesta similar en el aumento de  $\text{Na}^{+}$  en hojas con la aplicación de NaCl. En tomate, 98 % y 99 % con 80 mM bajo dos intensidades de luz  $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  y  $650 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  con respecto a 0 mM (Zhang et al., 2020). En cultivares de tomate alrededor de 95 % con 35 mM y 70 mM (Romero-Aranda et al., 2001), en cultivares de berenjena hasta un 93 % con dosis de 50 mM (Assaha et al., 2013) y alrededor de 56 % con 100 mM (Abbas et al., 2010). Cuando el NaCl es abundante en la zona de las

raíces, la corriente de transpiración transporta los iones de  $\text{Na}^{+}$  y  $\text{Cl}^{-}$  a las hojas, donde se acumulan y, en ocasiones, alcanzan niveles tóxicos (Scagel et al., 2019). Las plantas mediante adaptaciones fisiológicas y bioquímicas pueden lograr tolerancia al estrés salino, como la síntesis de compuestos orgánicos y la acumulación de iones inorgánicos donde la mayoría acumulan  $\text{Na}^{+}$  y  $\text{Cl}^{-}$  en los tejidos, lo que produce toxicidad (Debnath et al., 2018).

## Conclusiones

Las condiciones ambientales en la estructura inducen cambios en las plantas de berenjena, la alta temperatura y radiación en invernadero disminuyeron el rendimiento, el área foliar, el índice de vegetación y la concentración de nitrato. En la malla sombra al reducir la temperatura y radiación las plantas mostraron menor estrés, solamente disminuyó la biomasa y en general las variables no se afectaron.

El estrés salino disminuyó el crecimiento de las plantas e influyó en la concentración de iones, con las dosis de NaCl aplicadas a partir de 15 mM disminuyó la biomasa y el área foliar. Con 30 mM y 45 mM disminuyó el rendimiento y la concentración de nitrato y se vio un aumento en la concentración de calcio. Las dosis de NaCl no influyeron en el índice de vegetación, unidades SPAD y concentración de potasio.

Al aplicar NaCl en invernadero aumenta la biomasa, la concentración de calcio y sodio. En la malla sombra no se afectó el rendimiento y aumentó la concentración de nitrato y calcio, por tanto, se reducen los efectos negativos del estrés salino en el crecimiento y rendimiento de berenjena en comparación con el cultivo en invernadero.

### Referencias bibliográficas

- Abbas W, Ashraf M, Akram NA (2010). Alleviation of salt-induced adverse effects in eggplant (*Solanum melongena* L.) by glycinebetaine and sugarbeet extracts. *Scientia Horticulturae* 125(3): 188-195. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.04.008>
- Adamczewska-Sowińska K, Krygier M, Turczuk J (2016). The yield of eggplant depending on climate conditions and mulching. *Folia Horticulturae* 28(1): 19-24. <https://doi.org/10.1515/fhort-2016-0003>
- Arif Y, Singh P, Siddiqui H, Bajguz A, Hayat S (2020). Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry* 156: 64-77. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.042>
- Assaha DV, Ueda A, Saneoka H (2013). Comparison of growth and mineral accumulation of two solanaceous species, *Solanum scabrum* Mill. (huckleberry) and *S. melongena* L. (eggplant), under salinity stress. *Soil Science and Plant Nutrition* 59(6): 912-920. <https://doi.org/10.1080/00380768.2013.858300>
- Azcón-Bieto J, Fleck I, Aranda X, Gómez-Casnovas N (2008). Fotosíntesis, Factores ambientales y Cambio climático. En: *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (Ed. Azcón-Bieto JT, Talon MM), pp. 247-264. Editorial McGraw-Hill Interamericana, Madrid, España
- Bacha H, Tekaya M, Drine S, Guasmi F, Touil L, Enneb H, Triki T, Cheour F, Ferchichi A (2017). Impact of salt stress on morpho-physiological and biochemical parameters of *Solanum lycopersicum* cv. *Microtom* leaves. *South African Journal of Botany* 108: 364-369. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2016.08.018>
- Brenes M, Solana A, Boscaiu M, Fita A, Vicente O, Calatayud A, Prohens J, Plazas M (2020). Physiological and biochemical responses to salt stress in cultivated eggplant (*Solanum melongena* L.) and in *S. insanum* L., a close wild relative. *Agronomy* 10(5): 651. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050651>
- Debnath M, Ashwath N, Hill CB, Callahan DL, Dias DA, Jayasinghe NS, Midmore DJ, Roessner U (2018). Comparative metabolic and ionic profiling of two cultivars of *Stevia rebaudiana* Bert. (Bertoni) grown under salinity stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 129: 56-70. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.05.001>
- Demidchik V, Tester M (2002). Sodium fluxes through nonselective cation channels in the plasma membrane of protoplasts from Arabidopsis roots. *Plant Physiology* 128(2): 379-387. <https://doi.org/10.1104/pp.010524>
- Fu Y, Li H, Yu J, Liu H, Cao Z, Manukovsky NS, Liu H (2017). Interaction effects of light intensity and nitrogen concentration on growth, photosynthetic characteristics and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L. Var. youmaicai). *Scientia Horticulturae* 214: 51-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.020>
- Gutiérrez-Soto MV, Cadet-Piedra E, Rodríguez-Montero W, Araya-Alfaro JM (2011). El Green-Seeker™ y el diagnóstico del estado de salud de los cultivos. *Agronomía Mesoamericana* 22(2): 397-403.
- Gürbüz N, Uluişik S, Frary A, Frary A, Doğanlar S (2018). Health benefits and bioactive compounds of eggplant. *Food Chemistry* 268: 602-610. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.093>

- Hannachi S, Van Labeke MC (2018). Salt stress affects germination, seedling growth and physiological responses differentially in eggplant cultivars (*Solanum melongena* L.). *Scientia Horticulturae* 228: 56-65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.002>
- Hatamnia AA, Abbaspour N, Darvishzadeh R, Rahmani F, Heidari R (2013). Effect of salt stress on growth, ion content and photosynthesis of two oriental tobacco (*Nicotiana tabacum*) cultivars. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 6: 757-761.
- Ilić ZS, Fallik E (2017). Light quality manipulation improves vegetable quality at harvest and postharvest: A review. *Environmental and Experimental Botany* 139: 79-90. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.04.006>
- Jaramillo-Roman V, den Toom LA, Castro Gamiz C, van der Pijl N, Visser RG, van Loo EN, van der Linden CG (2020). Differential responses to salt stress in ion dynamics, growth and seed yield of European quinoa varieties. *Environmental and Experimental Botany* 177: 104146. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104146>
- Kang JH, KrishnaKumar S, Atulba SLS, Jeong BR, Hwang SJ (2013). Light intensity and photoperiod influence the growth and development of hydroponically grown leaf lettuce in a closed-type plant factory system. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 54(6): 501-509. <https://doi.org/10.1007/s13580-013-0109-8>
- Kyriacou MC, Rouphael Y, Di Gioia F, Kyratzis A, Serio F, Renna M, De Pascale M, Santamaria P (2016). Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. *Trends in Food Science & Technology* 57: 103-115. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.005>
- Laohavisit A, Richards SL, Shabala L, Chen C, Colaço RD, Swarbreck SM, Shaw E, Dark A, Shabala S, Shang Z, Davies JM (2013). Salinity-induced calcium signaling and root adaptation in Arabidopsis require the calcium regulatory protein annexin1. *Plant Physiology* 163(1): 253-262. <https://doi.org/10.1104/pp.113.217810>
- Lara-Izaguirre AY, Rojas-Velázquez AN, Alia-Tejaca I, Alcalá-Jáuregui JA (2022). Sodium chloride on bioactive compounds of eggplant (*Solanum melongena* L.) grown in hydroponics under two protected structures. *Agrociencia* 56(2): 207-232. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v56i2.2732>
- Leone AP, Menenti M, Buondonno A, Letizia A, Maffei C, Sorrentino G (2007). A field experiment on spectrometry of crop response to soil salinity. *Agricultural Water Management* 89(1-2): 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.12.004>
- Martínez-Ballesta MC, Dominguez-Perles R, Moreno DA, Muries B, Alcaraz-López C, Bastías E, García-Viguera C, Carvajal M (2010). Minerals in plant food: effect of agricultural practices and role in human health. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30(2): 295-309. <https://doi.org/10.1051/agro/2009022>
- Munns R, Tester M (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Oh MM, Carey EE, Rajashekar CB (2009). Environmental stresses induce health-promoting phytochemicals in lettuce. *Plant Physiology and Biochemistry* 47: 578-583. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.02.008>
- Priyadarshini N, Shishira T, Singh K, Dsouza M (2016). Biochemical response of *Solanum Melongena* to salinity stress in relation to stress factors. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences* 6: 756-766.
- Romero-Aranda R, Soria T, Cuartero J (2001). Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant Science* 160(2): 265-272. [https://doi.org/10.1016/s0168-9452\(00\)00388-5](https://doi.org/10.1016/s0168-9452(00)00388-5)
- Rouphael Y, Kyriacou MC, Petropoulos SA, De Pascale S, Colla G (2018). Improving vegetable quality in controlled environments. *Scientia Horticulturae* 234: 275-289. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.033>
- Rubio JS, García-Sánchez F, Rubio F, Martínez V (2009). Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K<sup>+</sup> and Ca<sup>2+</sup> fertilization. *Scientia Horticulturae* 119(2): 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.07.009>

- Savvas D, Lenz F (2000). Effects of NaCl or nutrient-induced salinity on growth, yield, and composition of eggplants grown in rockwool. *Scientia Horticulturae* 84: 37-47. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00117-X](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00117-X)
- Shabala S, Demidchik V, Shabala L, Cuin TA, Smith SJ, Miller AJ, Davies JM, Newman IA (2006). Extracellular Ca<sup>2+</sup> ameliorates NaCl-induced K<sup>+</sup> loss from Arabidopsis root and leaf cells by controlling plasma membrane K<sup>+</sup>-permeable channels. *Plant Physiology* 141(4): 1653-1665. <https://doi.org/10.1104/pp.106.082388>
- Shahak Y (2008). Photo-selective netting for improved performance of horticultural crops. A review of ornamental and vegetable studies carried out in Israel. *Acta Horticulturae* 770: 161-168. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.770.18>
- Stocker V, de Souza EG, Johann JA, Beneduzzi HM, Silva FO (2019). Effect of height, tilt and twist angles of an active reflectance sensor on NDVI measurements. *Engenharia Agrícola* 39(SPE): 96-108. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39nep96-108/2019>
- Scagel CF, Lee J, Mitchell JN (2019). Salinity from NaCl changes the nutrient and polyphenolic composition of basil leaves. *Industrial Crops and Products* 127: 119-128. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.048>
- Shahbaz M, Mushtaq Z, Andaz F, Masood A (2013). Does proline application ameliorate adverse effects of salt stress on growth, ions and photosynthetic ability of eggplant (*Solanum melongena* L.)? *Scientia Horticulturae* 164: 507-511. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.10.001>
- Steiner AA (1984). The Universal Nutrient Solution. Proceedings of Sixth International Congress on Soilless Culture, 29 abril-5 mayo, Lunteren, Wageningen, Netherlands. pp. 633-650.
- Sublett WL, Barickman TC, Sams CE (2018). Effects of elevated temperature and potassium on biomass and quality of dark red 'Lollo Rosso' lettuce. *Horticulturae* 4(2): 11. <https://doi.org/10.3390/horticulturae4020011>
- Uzun S (2007). Effect of light and temperature on the phenology and maturation of the fruit of eggplant (*Solanum melongena*) grown in greenhouses. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 35(1): 51-59. <https://doi.org/10.1080/01140670709510167>
- Ünlükara A, Kurunç A, Kesmez GD, Yurtseven E, Suarez DL (2010). Effects of salinity on eggplant (*Solanum melongena* L.) growth and evapotranspiration. *Irrigation and Drainage* 59(2): 203-214. <https://doi.org/10.1002/ird.453>
- Vázquez-Hernández MC, Parola-Contreras I, Montoya-Gómez LM, Torres-Pacheco I, Schwarz D, Guevara-González RG (2019). Eustressors: Chemical and physical stress factors used to enhance vegetables production. *Scientia Horticulturae* 250: 223-229. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.053>
- Zhang TT, Zeng SL, Gao Y, Ouyang ZT, Li B, Fang CM, Zhao B (2011). Using hyperspectral vegetation indices as a proxy to monitor soil salinity. *Ecological Indicators* 11(6): 1552-1562. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.03.025>
- Zhang Y, Kaiser E, Marcelis LF, Yang Q, Li T (2020). Salt stress and fluctuating light have separate effects on photosynthetic acclimation, but interactively affect biomass. *Plant, Cell & Environment* 43(9): 2192-2206. <https://doi.org/10.1111/pce.13810>

(Aceptado para publicación el 16 de marzo de 2023)