

Actividad de un bioestimulante en la tasa fotosintética y contenido de clorofila de *Ocimum basilicum* L. sometida a estrés por NaCl

Activity of a biostimulant on the photosynthetic rate and chlorophyll content of *Ocimum basilicum* L. subjected to NaCl stress

Daulemys Batista-Sánchez¹ , Bernardo Murillo-Amador^{1*} , Carlos Michel Ojeda-Silvera² , Alejandra Nieto-Garibay¹ , José Manuel Mazón-Suástegui¹ , Betzabe Ebenhezer López Corona³ 

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. Av. Instituto Politécnico Nacional No. 195, Colonia Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, México. C.P. 23096.

² CONAHCYT, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

³ Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Universidad de Sonora, Hermosillo, México.

RESUMEN

Las sustancias promotoras de crecimiento mejoran mecanismos fisiológicos en las plantas. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del FitoMas-E[®] en el contenido de clorofilas y la tasa fotosintética de plantas de albahaca cultivadas en un sistema hidropónico en condiciones salinas. Para esto se estudiaron tres variedades de albahaca (Napoletano, Nufar y Emily) las variables evaluadas fueron la clorofila a, clorofila total, a los 20, 40 y 60 días posteriores al trasplante (DPT) y la tasa fotosintética (TF) a los 14, 21, 45 y 60 DPT. El estudio se realizó bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de 24 tratamientos y cuatro repeticiones. Donde el factor A fueron las variedades, el factor B las concentraciones de NaCl (0, 50, 100 y 150 mM) y el factor C, las dosis de FitoMas-E[®] (0 y 0.5 mL L⁻¹). Las variables evaluadas disminuyeron al incrementar la concentración de NaCl en las tres variedades, mientras que la aplicación foliar del bioestimulante aumentó la TF, cuando el contenido de NaCl fue severo (100 y 150 mM). Una respuesta similar a la TF se encontró para el contenido de pigmentos. Los resultados confirman que el FitoMas-E[®] es un producto que estimula la concentración de clorofilas, e incremento de la tasa fotosintética, lo que coadyuva a mitigar los efectos nocivos de la salinidad (NaCl) en albahaca.

Palabras clave: albahaca, estrés abiótico, FitoMas-E[®], fotosíntesis, pigmento.

ABSTRACT

Growth-promoting substances improve physiological mechanisms in plants. The objective of this study was to evaluate the effect of FitoMas-E[®] on the chlorophyll content and photosynthetic rate of basil plants grown in a hydroponic system under saline conditions. For this, three varieties of basil were studied (Napoletano, Nufar and Emily), the variables evaluated were chlorophyll a and total chlorophyll at 20, 40 and 60 days after transplantation (DPT), and the photosynthetic rate (TF) at 14, 21, 45 and 60 DPT. The study was carried out under a completely randomized experimental design with a factorial arrangement of 24 treatments and four repetitions,

where factor A were the varieties, factor B the NaCl concentrations (0, 50, 100 and 150 mM) and factor C, the FitoMas-E[®] doses (0 and 0.5 mL L⁻¹). The evaluated variables decreased with increasing NaCl concentration in the three varieties, while the foliar application of the biostimulant increased the TF, when the NaCl content was severe (100 and 150 mM). A similar response to TF was found for pigment content. The results confirm that FitoMas-E[®] is a product that stimulates the concentration of chlorophylls and increases the photosynthetic rate, which helps mitigate the harmful effects of salinity (NaCl) in basil.

Keywords: abiotic stress, basil, FitoMas-E[®], photosynthesis, pigment.

INTRODUCCIÓN

La irrigación inadecuada de los suelos, así como el cambio climático provocan que, la salinidad alcance un nivel alto con amplio efecto perjudicial a nivel mundial (Cristo-Valdés *et al.*, 2018). Dentro de los principales daños que causa en las plantas se encuentra efecto osmótico que induce un déficit hídrico por exceso de sales en el suelo, provocando la pérdida de turgencia al disminuir la absorción de agua. Otro es la toxicidad iónica que está asociado a la absorción excesiva de iones Na⁺ y Cl⁻ principalmente; con el aumento de estos iones ocurre una disminución en la captación y absorción de iones esenciales (K, P, Ca, Mn) y esto conlleva a un desbalance nutricional en las plantas. Producto a estas combinaciones ocurre el estrés oxidativo, relacionado con el incremento de la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO) (Postnikova y Nemchinov, 2015; Pan *et al.*, 2021). El estrés por salinidad limita la absorción del sistema radical, disminuye la actividad estomática, induce un desbalance del metabolismo en las plantas, disminuye la transpiración, la tasa fotosintética; esto repercute de forma negativa en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Zörb *et al.*, 2019). Una disminución de la fotosíntesis en presencia de estrés por sales puede ser el resultado de la pérdida de turgencia, la retroinhibición de la enzima rubisco del ciclo de Calvin al originar un efecto alostérico imposibilitando que la enzima no pueda unirse a su sustrato,

*Autor para correspondencia: Bernardo Murillo-Amador

Correo-e: bmurillo04@cibnor.mx

Recibido: 3 de abril de 2024

Aceptado: 11 de octubre de 2024

Publicado: 27 de noviembre de 2024

por otro lado la deficiencia de nutrientes provocada por la toxicidad causada por el ingreso excesivo de Na^+ y Cl^- al flujo de transpiración, que posteriormente dañan las células de las hojas, comprometiendo la tasa fotosintética y la disminución de la actividad de los pigmentos fotosintéticos (Achón-Forno *et al.*, 2014; Sánchez *et al.*, 2018). Existen diferentes métodos para conseguir producciones en condiciones adversas para los cultivos, entre los más comunes se encuentran el mejoramiento genético, métodos fitotécnicos, uso de fitohormonas y en los últimos años una alternativa eficaz y destacada es el uso de productos de origen natural como los bioestimulantes, este último es uno de los métodos más eficientes para incrementar el rendimiento de las especies agrícolas aun en condiciones desfavorables (Reyes *et al.*, 2017), por la presencia de sustancias biológicamente activas y rápida absorción, facilita la activación de mecanismos de defensa en las plantas que le permiten realizar su metabolismo de forma eficiente aún en presencia de altas concentraciones salinas (Batista-Sánchez *et al.*, 2022). Estos compuestos son catalizadores de procesos vitales para las plantas, pues su uso logra mayor eficiencia en la utilización de los nutrimentos, beneficiando el incremento y volumen celular, cambios fenológicos positivos como el aumento de la biomasa y estimulación de mecanismos de tolerancia ante situaciones adversas (Batista-Sánchez *et al.*, 2019; Calero-Hurtado *et al.*, 2022). La diversidad de bioestimulantes de diferente naturaleza que en la actualidad se utilizan en la agricultura, incluye al FitoMas-E[®], producto de origen natural, derivado de la industria azucarera cubana, está avalado por su actividad antiestrés, este bioestimulante es una combinación de materia orgánica, aminoácidos totales (alifáticos, aromáticos y heterocíclicos), sacáridos, polisacáridos, lípidos y bases nitrogenadas, todos con actividad biológica activa (Pulido-Vega *et al.*, 2013). Estos compuestos forman parte del metabolismo vegetal, al encontrarse biodisponibles para las plantas se disminuye el gasto energético extra para sintetizarlas lo que favorece una respuesta positiva ante factores estresantes (Calero-Hurtado *et al.*, 2019). La mezcla contenida en el FitoMas-E[®] vigoriza diversos cultivos, en todas las etapas del crecimiento y desarrollo; también estimulan respuestas positivas en las plantas ante situaciones de exceso de humedad, sequía, plagas, fitotoxicidad y recientemente se ha comprobado su efectividad como mitigador de los efectos negativos del estrés salino (Castillo-Portela *et al.*, 2011, Pulido-Vega *et al.*, 2013; Batista-Sánchez *et al.*, 2022).

La albahaca se cultiva en suelos de fertilidad media, con buen drenaje y una conductividad eléctrica de hasta 4 dS m^{-1} sin que se afecten los rendimientos ni su desarrollo; por encima de 4 dS m^{-1} se afecta con pérdidas superiores al 60% (Barroso, 2004). Esta aromática es una de las especies más cultivadas en Baja California Sur (BCS), con potencial alto para el mercado de exportación (Ojeda-Silvera *et al.*, 2015; Mazón-Suástegui *et al.*, 2022), porque sus aceites esenciales, se utilizan en la producción de fragancias, cosméticos, para aromatizar vinagres, como condimento fresco y son conocidas también sus propiedades diuréticas y estimulantes (Sánchez

et al., 2000). Esta especie es una fuente importante de ingresos económicos para productores de cultivos orgánicos en el estado, sin embargo, la productividad del cultivo de albahaca está en riesgo porque las áreas agrícolas con tendencia a la salinidad han aumentado debido al clima semiárido de BCS (Mazón-Suástegui *et al.*, 2022). La salinidad puede mitigarse mediante alternativas de solución que permitan incrementar la productividad de las especies cultivadas en estas condiciones, no sólo utilizando variedades tolerantes sino aplicando métodos que minimicen los daños del estrés por salinidad. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del FitoMas-E[®] en el contenido de clorofilas y la tasa fotosintética de variedades de albahaca con respuesta diferencial al estrés por salinidad (NaCl) y cultivadas en un sistema hidropónico. Los sistemas hidropónicos son considerados una vía de obtener productos agrícolas orgánicos, de gran ventaja para la investigación por la accesibilidad a todos los tejidos de la planta y la manipulación fácil del perfil de nutrientes en la solución de crecimiento. Otra ventaja destacable es que acaba con uno de los grandes problemas en los cultivos tradicionales el cual es la erosión del suelo por monocultivo y la acumulación de sales en el suelo. Si se combina con el uso de invernaderos a fin de controlar factores como la temperatura, reducir la pérdida de agua por evaporación, radiación, viento, lluvia controlar la presencia de plagas, enfermedades y contacto con animales (Lee *et al.*, 2018; Albuja *et al.*, 2021).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El estudio se realizó en una casa de malla sombra (1610 PME-CR con 40 % de sombra), en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, localizado al norte de la Ciudad de La Paz, Baja California Sur, a los $24^{\circ}08'10.03'' \text{ LN}$ y $110^{\circ}25'35.31'' \text{ LO}$, a 7 metros de altura sobre el nivel del mar. El promedio de las temperaturas media, máxima y mínima en del sitio experimental fueron, 26.84 ± 5.21 , 44.17 ± 4.92 , 13.40 ± 5.83 °C, respectivamente, con una humedad relativa de 52.8 ± 14.95 %. Las condiciones temporales del clima en el área experimental se registraron con una estación climatológica portátil (Vantage Pro2[®], Davis, CA, USA).

Material vegetal

Se utilizaron semillas certificadas provenientes de Seed Vis[®] Company (Arcadia, CA, USA) de tres variedades de albahaca Nufar, Emily y Napoletano con respuesta diferencial al estrés por NaCl de acuerdo con Batista-Sánchez *et al.*, 2015; Batista-Sánchez *et al.*, 2017.

Dosis de biostimulante y niveles de salinidad

Se emplearon dosis de 0 y 0.5 mL L^{-1} del bioestimulante FitoMas-E[®], procedente de la industria azucarera de Cuba. El FitoMas-E[®] es un coctel natural de sales inorgánicas y otras sustancias de elevada energía, en la que se encuentran aminoácidos, polisacáridos biológicamente activos, lípidos, bases nitrogenadas, materia orgánica y nutrientes (Montano *et al.*, 2007). Los niveles de salinidad en estudio fueron 0, 50, 100 y 150 mM de NaCl .



Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial (3A × 4B × 2C) para un total de 24 tratamientos con cuatro repeticiones por tratamiento, considerando como factor A, las variedades de albahaca con tres niveles (Nufar, Emily y Napoletano) el factor B, las concentraciones de NaCl con cuatro niveles (0, 50, 100 y 150 mM) y el factor C, las dosis de FitoMas-E® con dos niveles (0 y 0.5 mL L⁻¹).

Manejo experimental

Las semillas de las tres variedades de albahaca se sembraron en charolas de poliestireno utilizando un sustrato comercial inerte (Sogemix VT-M®, Premier Horticulture Inc., Canadá). Se logró la homogeneidad en la emergencia de las plántulas mediante riegos a saturación del sustrato cada 24 h, para lograr mantener la humedad de este. Cuando las plántulas tenían una altura promedio de 10 cm se realizó el trasplante, en canastillas hidropónicas de 150 mL que contenían un sustrato a base de vermiculita (Hortiperl, Termolita® S.A de C.V, México) y un fragmento de fibra absorbente (Magitel®, México) para garantizar la interacción del sistema radical con el medio de cultivo. Las canastillas con las plántulas (seis por cada contenedor) se colocaron en un sistema hidropónico de raíz flotante, el cual consistió en utilizar contenedores de poliuretano expandido de 69 × 38.5 × 25 cm, aforados a una capacidad 38 L con agua de 0.22 dS.m⁻¹ de conductividad eléctrica.

La solución nutritiva (SN) se utilizó de acuerdo con Samperio (1997) y se ajustó para albahaca a razón de 1 L de SN por cada 100 L de H₂O y estuvo compuesta por nitrato de potasio 160 g L⁻¹, nitrato de amonio 30.6 g L⁻¹, fosfato mono amónico 44.4 g L⁻¹, nitrato de calcio 180.6 g L⁻¹, sulfato de magnesio 126 g L⁻¹, sulfato ferroso 6 g L⁻¹, sulfato de manganeso 1.5 g L⁻¹, sulfato de zinc 0.3 g L⁻¹, sulfato de cobre 0.3 g L⁻¹, ácido bórico 0.3 g L⁻¹. Se le determinó el pH para comprobar que estuviera en nivel adecuado (6.5±0.4). Los tratamientos con FitoMas-E® se aplicaron luego de un tiempo de adaptación de una semana posterior al trasplante, mediante la aspersión foliar a las plantas en el horario 8:00-9:00 am (cada siete días hasta finalizar el experimento a los 65 días), con dosis de 0.5 mL L⁻¹ y agua destilada como tratamiento control. Después del periodo de aclimatación de las plántulas, se aplicaron los tratamientos salinos (NaCl) en el medio de cultivo de forma progresiva, para evitar un shock osmótico (Murillo-Amador *et al.*, 2007), empezando con 25 mM de NaCl hasta llegar a la concentración deseada (50, 100 y 150 mM). Para garantizar mantener las concentraciones salinas deseadas durante el periodo experimental, se realizaron mediciones directas al medio de cultivo con ayuda de medidores multiparámetros (Orion Star A322, LAQUAtwin), en los casos necesarios se realizaron las debidas correcciones.

Cuantificación de clorofilas

El contenido de clorofila a (Chl a) y total (Chl total) se determinó a los 20, 40 y 60 días posterior al trasplante (DPT) utilizando una planta por repetición. Usado la tercera hoja a partir del

punto de crecimiento se lavaron con agua desionizada para eliminar impurezas. La toma de muestra para la extracción de clorofila se realizó en hojas completamente expandidas, empleando 1g de tejido vegetal fresco, que posteriormente se trituró en acetona al 90 %. La absorbancia se midió con un espectrofotómetro con UV/Visible spectrophotometer (Pye Unicam SP6-550 UK) y las concentraciones de Chl se calcularon usando la ecuación de Strain y Svec (1966):

$$\text{Chl a (mg.mL}^{-1}\text{)} = 11.64 \times (\text{A663}) - 2.16 \times (\text{A645}) \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Chl b (mg.mL}^{-1}\text{)} = 20.97 \times (\text{A645}) - 3.94 \times (\text{A663}) \dots\dots\dots (2)$$

(A663) y (A645) representan los valores de la absorbancia leídos a 663 y 645 nm de longitud de onda, respectivamente.

Tasa fotosintética

La tasa fotosintética (TF) se determinó utilizando el medidor de fotosíntesis Li-Cor, modelo 6400XT (Li-cor®, Lincoln, Nebraska, USA), en hojas totalmente expandidas, durante el horario de mayor intensidad luminosa (12:00 h). La TF se determinó a los 14, 21, 45 y 60 DPT.

Análisis estadísticos

Las variables independientes se sometieron al análisis de varianza y se consideraron diferentes significativamente cuando $p \leq 0.05$. Las diferencias encontradas en los promedios de las variables independientes en cada factor de estudio, se compararon con la prueba de rango múltiple de Tukey HSD, a una $p = 0.05$. El programa para realizar los análisis estadísticos fue Statistica® v. 13.5.0.17 (TIBCO Software Inc. 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de clorofilas

El estudio interactivo variedades × NaCl × FitoMas-E® (20 DPT), mostró diferencias significativas solo para Chl a y Chl total. También se encontró diferencia del contenido de clorofilas (Chl a y Chl total) entre las variedades, alcanzando mayores valores Napoletano>Nufar>Emily en 0 mM NaCl, con aplicación de FitoMas-E®. Conforme las concentraciones de NaCl incrementaron, los pigmentos evaluados disminuyeron significativamente, mostrando los valores inferiores en el tratamiento de 150 mM NaCl sin el bioestimulante en todas las variedades. Este resultado puede ser generado por el estrés salino inducido, lo que provoca la destrucción de los cloroplastos por un aumento en la actividad de la enzima clorofilasa, lo que afecta la síntesis de clorofila (Ji *et al.*, 2018). Se observó que las plantas que recibieron 150 mM NaCl con aplicación de FitoMas-E® incrementaron los valores de Chl a y Chl total con respecto a las plantas que fueron tratadas con 150 mM NaCl sin aplicar el bioestimulante (Tabla 1). Estos hallazgos se pueden explicar por la presencia de aminoácidos contenidos en el bioestimulante como es el ácido glutámico (Glu), que en conjunto con glicina (Gly), arginina (Arg) y alanina (Ala) intervienen en la síntesis de clorofila, en la actividad fotosintética y aumentan la cantidad de clorofila

Tabla 1. Efecto de la interacción variedades × NaCl × FitoMas-E[®] en el contenido de clorofilas de plantas de albahaca sometidas a estrés por NaCl
Table 1. Effect of the varieties × NaCl × FitoMas-E[®] interaction on chlorophylls content of basil plants subjected to NaCl stress.

| Variedades | NaCl (mM) | FitoMas-E [®] (mL.L ⁻¹) | Clorofila | | | | | | |
|------------|-----------|--|------------------------------------|--|------------------------------------|--|------------------------------------|--|------------|
| | | | 20 DPT | | 40 DPT | | 60 DPT | | |
| | | | Clorofila a (µg.cm ⁻²) | Clorofila total (µg.cm ⁻²) | Clorofila a (µg.cm ⁻²) | Clorofila total (µg.cm ⁻²) | Clorofila a (µg.cm ⁻²) | Clorofila total (µg.cm ⁻²) | |
| Napoletano | 0 | 0 | 30.36 abcd* | 39.24 abc | 30.55 ab | 39.80 ab | 23.88 abc | 30.64 abc | |
| | | 0.5 | 32.38 a | 41.91 a | 32.38 a | 43.24 a | 26.29 a | 34.44 a | |
| | 50 | 0 | 27.07 ghij | 34.51 efghijk | 27.06 cdefgh | 35.70 defgh | 21.96 bcdef | 28.49 bcde | |
| | | 0.5 | 29.60 bcde | 38.31 bcd | 30.54 ab | 39.42 bc | 24.46 ab | 32.07 ab | |
| | 100 | 0 | 27.21 fghij | 36.04 cdefghi | 27.21 cdefg | 35.68 defgh | 22.33 bcdef | 29.00 bcde | |
| | | 0.5 | 28.35 cdefgh | 36.06 cdefgh | 28.35 bcdef | 36.04 cdefg | 22.50 bcdef | 29.06 bcde | |
| | 150 | 0 | 24.03 lm | 30.66 lm | 23.03 i | 29.66 k | 20.28 efg | 26.36 defg | |
| | | 0.5 | 25.96 ijkl | 33.44 ghijkl | 26.47 defgh | 34.13 efghij | 20.31 efg | 26.62 cdefg | |
| | Nufar | 0 | 0 | 29.86 bcd | 39.44 abc | 29.86 abc | 39.00 bcd | 22.61 bcdef | 29.50 bcde |
| | | | 0.5 | 31.82 ab | 40.30 ab | 30.49 ab | 39.44 bc | 24.56 ab | 31.87 ab |
| 50 | | 0 | 27.39 efghij | 35.30 defghi | 27.06 cdefgh | 34.88 efghi | 19.50 fgh | 25.38 efgh | |
| | | 0.5 | 28.96 cdefg | 36.86 bcdefg | 28.71 bcde | 37.44 bcde | 22.45 bcdef | 29.13 bcde | |
| 100 | | 0 | 25.38 jkl | 32.59 ijklm | 25.38 fghi | 32.59 ghijk | 18.50 gh | 24.29 fgh | |
| | | 0.5 | 26.04 hijkl | 33.82 fghijkl | 26.63 defgh | 34.69 efghij | 21.82 bcdef | 28.15 bcdef | |
| 150 | | 0 | 22.76 m | 29.20 m | 22.76 i | 29.20 k | 17.00 hi | 22.63 ghi | |
| | | 0.5 | 24.50 klm | 31.76 jklm | 24.37 ghi | 32.19 hijk | 18.45 gh | 24.33 fgh | |
| Emily | | 0 | 0 | 29.52 bcdef | 37.81 bcde | 29.45 abcd | 37.61 bcde | 22.95 bcde | 29.51 bcd |
| | | | 0.5 | 30.62 abc | 39.56 ab | 30.88 ab | 39.40 bc | 23.74 abcd | 30.52 abc |
| | 50 | 0 | 26.78 ghijk | 35.08 defghij | 25.93 efghi | 33.34 fghij | 18.61 gh | 24.27 fgh | |
| | | 0.5 | 28.20 defghi | 37.02 bcdef | 28.45 bcdef | 36.45 bcdef | 21.08 cdefg | 27.43 cdef | |
| | 100 | 0 | 23.94 lm | 31.12 klm | 23.94 hi | 31.12 jk | 16.43 hi | 21.87 hi | |
| | | 0.5 | 25.52 jkl | 33.21 hijkl | 24.93 ghi | 32.34 hijk | 20.63 defg | 27.31 cdef | |
| | 150 | 0 | 19.74 n | 24.94 n | 17.74 j | 22.94 l | 0.00 j | 0.00 j | |
| | | 0.5 | 24.02 lm | 31.71 jklm | 24.15 ghi | 31.29 ijkl | 13.88 i | 18.52 i | |

*Los valores promedio con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey HSD, $p = 0.05$). DPT: días posteriores al trasplante.

en las hojas, además actúan en la protección de las plantas frente a diferentes estreses abióticos (D'Mello, 2015; Batista-Sánchez *et al.*, 2019).

A los 40 DPT, el estudio interactivo variedades × NaCl × FitoMas-E[®], mostró diferencias significativas solo para Chl a y Chl total. La respuesta a los 40 DPT fue similar que la mostrada en el análisis de los 20 DPT, el contenido de Chl a y Chl total fue más alto en Napoletano>Nufar>Emily al recibir el tratamiento con el bioestimulante y 0 mM NaCl. Este resultado puede estar determinado por el contenido de nutrientes de fácil absorción que contiene el bioestimulante, lo que facilita mayor eficiencia en los procesos metabólicos de las plantas tratadas (Calero-Hurtado *et al.*, 2022). A los 40 DPT la Chl a y Chl total disminuyeron conforme las concentraciones de NaCl incrementaron, mostrando menores valores cuando las plantas de las tres variedades se encontraban sometidas a 150 mM NaCl sin FitoMas-E[®]. La variedad Emily presentó los valores promedio inferiores de clorofilas en todos los tratamientos (Tabla 1). Esta respuesta se puede explicar por las características de dicha variedad, catalogada como sensible a la presencia de NaCl en el medio de cultivo (Batista-Sánchez *et al.*, 2015; Mazón-Suástegui *et al.*, 2018).

A los 60 DPT, el análisis interactivo variedades × NaCl × FitoMas-E[®] mostró diferencias significativas para Chl a y Chl total. La respuesta de los pigmentos fue similar a las evalua-

ciones realizadas con anterioridad (20 y 40 DPT) la concentración de Chl a y Chl total en las diferentes variedades se describe en orden descendente Napoletano>Nufar>Emily en 0 mM NaCl con aplicación de FitoMas-E[®]. La concentración de pigmentos disminuyó desde un 7 % en Napoletano con 50 mM de NaCl y 0 FitoMas-E[®] hasta un 100 % en la variedad Emily con 150 mM de NaCl y 0 FitoMas-E[®] con respecto al tratamiento control. Con la aplicación de FitoMas-E[®] la Chl a y Chl total se incrementaron en las tres variedades de albahaca (Tabla 1). Los resultados encontrados para la concentración de pigmentos evaluados al aplicar el bioestimulante están relacionados con la presencia de nitrógeno en el FitoMas-E[®], macronutriente que interviene directamente en la producción de clorofilas (Pulido *et al.*, 2013).

De forma general los estudios entre la relación del estrés por salinidad y la concentración de pigmentos en plantas, muestran que este efecto se atribuye a la afectación de los cloroplastos y al incremento del movimiento enzimático de la clorofila, perturbando la formación de clorofilas (Chávez *et al.*, 2015). La acumulación de pigmentos disminuyó de manera significativa en los tratamientos donde se aplicó NaCl sin el bioestimulante, con un efecto negativo más notable en el contenido de pigmentos de la variedad Emily que se caracteriza como sensible al estrés por NaCl (Batista-Sánchez *et al.*, 2019). La acumulación de pigmentos se incrementó

en las plantas donde se aplicó el FitoMas-E[®] ya que su uso se favorece la formación de tejidos vegetales y síntesis de clorofilas, que es el pigmento encargado de captar la energía lumínica para que sea transformada en energía química, por lo tanto, una mayor cantidad de clorofilas desencadena una mayor captación de energía y por lo tanto un aumento de la tasa fotosintética (Castillo-Portela *et al.*, 2011; Reyes *et al.*, 2017). Estos resultados muestran la acción mitigadora del FitoMas-E[®] ante situaciones de estrés provocado por NaCl, con el aumento de la síntesis de sustancias capaces de mitigar el efecto provocado por este estrés abiótico. Los resultados son similares a los reportados por Reyes *et al.* (2017) en arroz, observando un incremento en los pigmentos fotosintéticos en plantas estresadas por NaCl y tratadas foliarmente con 24-epibrasinólida. Los resultados con el uso de bioestimulantes como mitigadores del estrés por NaCl, coinciden en que las plantas tratadas alcanzan promedios significativamente superiores en la concentración de pigmentos fotosintéticos, lo cual se atribuye a la posible activación de mecanismos de defensa y/o presencia de mayor disponibilidad de nutrientes en las plantas, lo que repercute de forma positiva en los procesos fisiológicos facilitando mitigar los efectos de la salinidad por NaCl (Batista-Sánchez *et al.*, 2022; Hannachi *et al.*, 2022).

Tasa fotosintética

La tasa fotosintética (TF) mostró diferencias significativas a los 14, 21, 45 y 60 DPT entre variedades, NaCl y FitoMas-E[®]. El diferencial entre variedades se observó a los 14, 21, 45 y 60 DPT, con valores superiores en orden descendente Napoletano > Nufar > Emily en 0 mM NaCl con aplicación de FitoMas-E[®] para TF (Tabla 2). Estos resultados se deben a las características morfo fisiológicas de las variedades estudiadas, siendo Napoletano una variedad de hojas anchas y extendidas lo que facilita la absorción de mayor energía luminosa, seguida por la variedad Nufar y posteriormente Emily, esta última con hojas más estrechas y alargadas (Batista-Sánchez *et al.*, 2019).

La respuesta de la tasa fotosintética a través del tiempo mostró una tendencia a disminuir conforme los niveles de NaCl incrementaron, con valores inferiores en todas las variedades con 150 mM NaCl sin el bioestimulante y conservando el orden Napoletano>Nufar>Emily. Se encontró un aumento de la TF en las tres variedades con 150 mM NaCl y 0.5 mL L⁻¹ FitoMas-E[®] con respecto a 150 mM sin el bioestimulante. Como se mencionó anteriormente, a los 60 DPT, las plantas de Emily no toleraron el tratamiento de 150 mM y 0 FitoMas-E[®], presentaron muerte de tejidos y no fue posible evaluar la tasa fotosintética; sin embargo, las plantas de la misma variedad en 150 mM con FitoMas-E[®], presentaron tolerancia

Tabla 2. Efecto de la interacción variedades × NaCl × FitoMas-E[®] en la tasa fotosintética de plantas de albahaca sometidas a estrés por NaCl.

Table 2. Effect of the varieties × NaCl × FitoMas-E[®] interaction on the photosynthetic rate of basil plants subjected to NaCl stress.

| Variedades | NaCl (mM) | FitoMas-E [®] (mL L ⁻¹) | Tasa fotosintética (µmol m ⁻² s ⁻¹) | | | | |
|------------|-----------|--|--|-----------|-----------|------------|----------|
| | | | 14 DPT | 21 DPT | 45 DPT | 60 DPT | |
| Napoletano | 0 | 0 | 19.91bcde | 20.09bc | 19.24bc | 18.07bcd | |
| | | 0.5 | 23.32a | 24.53a | 21.99a | 22.84a | |
| | 50 | 0 | 18.11cdef | 17.47def | 17.40cdef | 16.82def | |
| | | 0.5 | 20.90abc | 20.53b | 20.19ab | 19.70bc | |
| | 100 | 0 | 17.92def | 15.32ghi | 16.31efg | 13.08gh | |
| | | 0.5 | 20.56abcd | 17.76de | 17.82cde | 15.28efg | |
| | 150 | 0 | 9.15ijk | 12.71jk | 12.38ijk | 8.85lmn | |
| | | 0.5 | 16.23fg | 15.65fgh | 14.63ghi | 12.28hij | |
| | Nufar | 0 | 0 | 19.26bcde | 18.59cd | 18.74bcd | 17.60cde |
| | | | 0.5 | 21.49ab | 20.24bc | 20.34ab | 20.02b |
| 50 | | 0 | 17.38ef | 16.67efg | 15.24fgh | 11.86hijk | |
| | | 0.5 | 20.34bcd | 18.94bcd | 18.39bcde | 15.30efg | |
| 100 | | 0 | 8.63jkl | 14.51hij | 14.24ghij | 9.97klm | |
| | | 0.5 | 19.73bcde | 15.66fgh | 16.40defg | 12.43hi | |
| 150 | | 0 | 5.89lm | 11.32k | 8.97l | 7.55mn | |
| | | 0.5 | 10.99ij | 14.38hij | 13.18hijk | 10.40ijkl | |
| Emily | | 0 | 0 | 19.25bcde | 17.57de | 18.39bcde | 14.97fg |
| | | | 0.5 | 20.96ab | 19.95bc | 19.31bc | 18.72bcd |
| | 50 | 0 | 17.22ef | 15.13ghi | 13.49hijk | 9.49klm | |
| | | 0.5 | 20.59abcd | 17.42def | 17.41cdef | 12.94gh | |
| | 100 | 0 | 6.42klm | 13.48ij | 11.38k | 6.93n | |
| | | 0.5 | 14.08gh | 14.30hij | 14.12ghij | 10.95hijkl | |
| | 150 | 0 | 3.77m | 8.99l | 5.86m | 0.00o | |
| | | 0.5 | 11.61hi | 12.95jk | 12.15jk | 2.71ñ | |

DPT: días posterior al trasplante. Los promedios con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey HSD, p = 0.05).



al NaCl aunque la tasa fotosintética fue menor respecto a la Napoletano y Nufar (Tabla 2).

En la fotosíntesis, de igual manera que en otros procesos metabólicos, intervienen diversos factores y su aumento está determinado por un incremento de CO₂ en las células especializadas, mediante el intercambio de gases que tiene lugar al ejecutarse la apertura y cierre estomático (Reyes *et al.*, 2017). En esta investigación, la TF disminuyó significativamente en las plantas expuestas a estrés por NaCl y sin aplicar el FitoMas-E[®], con una disminución de la TF de 47.9 % en la variedad Napoletano transcurridos 60 DPT, 59 % en Nufar a los 14 DPT y 92 % en Emily a los 60 DPT. Estos resultados son evidencias del efecto directo que provoca el estrés por NaCl al reducir la acumulación de CO₂ en las células especializadas por efecto del cierre estomático (Ji *et al.*, 2018). Por su parte, Percey *et al.* (2016) proponen que la reducción en la fotosíntesis se debe a una inhibición en el metabolismo debido a la alteración de los mecanismos antioxidantes de las plantas. La TF de las variedades en estudio, se incrementó al aplicar de manera foliar 0.5 mL L⁻¹ de FitoMas-E[®]. Esta respuesta es una evidencia de la acción benéfica del FitoMas-E[®] en las plantas mitigando el efecto directo del estrés por NaCl en la tasa fotosintética ya que está compuesto por aminoácidos precursores de la prolina, que está catalogada como un antioxidante que responde a los eventos de estrés, funciona como un osmolito en la permeabilidad de la membrana de la raíz, estabiliza las proteínas e inhibe peroxidación lipídica (Berbara y García, 2014; Batista-Sánchez *et al.*, 2022). La acumulación de prolina generalmente se correlaciona con una tolerancia mayor al estrés y se ha demostrado que la aplicación exógena de compuestos de aminoácidos mejora la tolerancia a estrés biótico y abiótico en plantas superiores (Ahmad *et al.*, 2016). Estos hallazgos positivos también pueden estar relacionado con el Glu existente en el bioestimulante es un aminoácido que se encuentra en las células oclusivas de los estomas y actúa como un agente osmótico para el citoplasma de las células, al proteger la integridad de la membrana celular y reducir permeabilidad para que no se rompa fácilmente y favorezca la apertura de los estomas (Berbara y García, 2014). Además, este bioestimulante tiene un efecto directo en el incremento del área foliar, permitiendo una TF mayor (Calero-Hurtado *et al.*, 2022). Un estudio anterior reportado por Batista-Sánchez *et al.* (2019) mostró que, el FitoMas-E[®] con dosis de 0.5 ml L⁻¹ incrementó el contenido de K⁺, favoreciendo directamente al mecanismo de apertura y cierre estomático y de esta manera mitigó el efecto negativo del NaCl en concentraciones de 50, 100 y 150 mM de NaCl.

CONCLUSIONES

La aplicación foliar de FitoMas-E[®] con una dosis de 0.5 mL L⁻¹ incrementó la TF a los 14, 21, 45 y 60 DPT, aún en concentraciones salinas de 100 y 150 mM. Una respuesta similar se observó en el contenido de Chl a y Chl total a los 20, 40 y 60 DPT. Estos hallazgos confirman que el FitoMas-E[®] estimula la concentración de clorofilas e incrementa la tasa fotosintética,

lo que contribuye a mitigar los efectos nocivos de la salinidad (NaCl) en *Ocimum basilicum* cultivada bajo condiciones hidropónicas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo técnico de Pedro Luna-García, Carmen Mercado-Guido, Manuel Salvador Trasviña-Castro del CIBNOR. Esta investigación la financiaron los proyectos PAZA del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., CONACYT-PN-4631 (2017-I), SATREPS-JICA-CIBNOR-CONACYT-Tottori-University y un proyecto COSCYT (convocatoria 2023).

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

REFERENCIAS

- Achón-Forno, I., Paniagua-Alcaraz, P.L., Villalba-Romero, N. y Romero-Gavilán, M. 2014. Effects of the application of biostimulants on the tolerance of *Sorghum bicolor* (L.) Moench to salt stress. *Investigación agraria*, 16(1), 11-20.
- Ahmad P., Abdel Latef A.A., Hashem A., Abd_Allah E.F., Gucel S. y Tran L.S. 2016 Nitric oxide mitigates salt stress by regulating levels of osmolytes and antioxidant enzymes in chickpea. *Front. Plant Sci.* 7:347 <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00347>
- Albuja, V., Andrade, J., Lucano, C. y Rodriguez, M. 2021. Comparison of the advantages of hydroponic systems as agricultural alternatives in urban areas. *Minerva*, 2(4), 45-54. <https://doi.org/10.47460/minerva.v2i4.26>
- Batista-Sánchez, D., Nieto-Garibay, A., Alcaraz-Melendez, L., Troyo-Diéguez, E., Hernández-Montiel, L., Ojeda-Silvera, C. M. y Murillo-Amador, B. 2015. Uso del FitoMas-E[®] como atenuante del estrés salino (NaCl) durante la emergencia y crecimiento inicial de *Ocimum basilicum* L. *Nova scientia*, 7(15), 265-284.
- Batista Sánchez, D., Murillo Amador, B., Nieto Garibay, A., Alcaráz Meléndez, L., Troyo Diéguez, E., Hernández Montiel, L., y Ojeda Silvera, C.M. 2017. Mitigación de NaCl por efecto de un bioestimulante en la germinación de *Ocimum basilicum* L. *Terra Latinoamericana*, 35(4), 309-320. <https://doi.org/10.28940/terra.v35i4.317>
- Batista-Sánchez, D., Murillo-Amador, M., Nieto-Garibay, A., Alcaráz-Meléndez, L., Troyo-Diéguez, E., Hernández-Montiel, L.G., Ojeda-Silvera, C.M., Mazón-Suástegui, J.M. y Agüero-Fernández, Y.M. 2019. Bioestimulante derivado de caña de azúcar mitiga los efectos del estrés por NaCl en *Ocimum basilicum* L. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 6(17):297-306. doi.org/10.19136/era.a6n17.2069
- Batista-Sánchez, D., Murillo Amador, B., Ojeda-Silvera, C.M., Mazón-Suástegui, J.M., Preciado-Rangel, P., Ruiz-Espinoza, F.H. y Agüero-Fernández, Y.M. 2022. Inducción de un bioestimulante y su respuesta en la actividad bioquímica de *Ocimum basilicum* L. sometida a salinidad. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 9(2). <https://doi.org/10.19136/era.a9n2.3185>
- Barroso, L.B. 2004. Crecimiento, desarrollo y relaciones hídricas en la albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.) en función



- del abastecimiento hídrico. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana-Cuba.
- Barbara, R., y García, A. 2014. Humic substances and plant defense metabolism. En: *Physiological mechanisms and adaptation strategies in plants under changing environment*. Springer, New York, USA. 1:297-319.
- Calero-Hurtado, A., Quintero-Rodríguez, E., Pérez-Díaz, Y., Olivera-Viciedo, D., Peña-Calzada, K. y Jiménez-Hernández, J. 2019. Efecto entre microorganismos eficientes y fitomas-e en el incremento agroproductivo del frijol. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 17(1):25-33. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v17n1.1201>
- Calero-Hurtado, A., Pérez-Díaz, Y., Rodríguez-Lorenzo, M. y Rodríguez-González, V. 2022. Aplicación conjunta del consorcio microorganismos benéficos y FitoMas-E® incrementan los indicadores agronómicos del frijol. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 25(1):2252. <http://doi.org/10.31910/rudca.v25.n1.2022.2252>
- Castillo-Portela, G., Villar-Delgado, J., Montano-Martínez, R., Martínez, C., Pérez-Alfocea, F., Albacete, A., Sánchez-Bravo, J. y Acosta-Echeverría, M. 2011. Cuantificación por HPLC del contenido de aminoácidos presentes en el FitoMas-E. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* 45(1):64-67. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223122251008.pdf>
- Chávez, L., Álvarez, A., Ramírez, R., Infante, S., Castro, L., García, B., García, A. y Fonseca, M. 2015. Efecto de la salinidad sobre el contenido relativo de agua y la concentración de pigmentos en tres genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Centro Agrícola*, 42(3), 19-24.
- Cristo-Valdés, E., González, M.C., Ventura, E. y Rodríguez, A.T. 2018. Efecto de la salinidad en estadios iniciales del desarrollo de tres cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.). *Cultivos Tropicales*, 39(3), 65-70.
- D'Mello, J. F. (Ed.). (2015). *Amino acids in higher plants*. CABI.
- Hannachi, S., Steppe, K., Eloudi, M., Mechi, L., Bahrini, I. y Van Labeke, M.C. 2022. Salt stress induced changes in photosynthesis and metabolic profiles of one tolerant ('Bonica') and one sensitive ('Black Beauty') eggplant cultivars (*Solanum melongena* L.). *Plants* (Basel). 11(5):590. <https://doi.org/10.3390/plants11050590>
- Ji, X., Cheng, J., Gong, D., Zhao, X., Qi, Y., Su, Y. y Ma, W. 2018. The effect of NaCl stress on photosynthetic efficiency and lipid production in freshwater microalga- *Scenedesmus obliquus* XJ002. *Science of the Total Environment* 633:593-599. doi. [org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.240](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.240)
- Lee, J.Y., Rahman, A., Behrens, J., Brennan, C., Ham, B., Kim, Won, H.S., Yun, S., Azam, H y Kwon, M. J. 2018. Nutrient removal from hydroponic wastewater by a microbial consortium and a culture of *Paracercomonas saepenatans*. *New Biotechnology*, 41, 15-24.
- Mazón Suástegui, J. M., Murillo Amador, B., Batista Sánchez, D., Agüero Fernández, Y., García Bernal, M. y Ojeda Silvera, C.M. 2018. *Natrum muriaticum* como atenuante de la salinidad (NaCl) en albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Nova scientia*, 10(21), 120-136. <https://doi.org/10.21640/ns.v10i21.1423>
- Mazón-Suástegui, J.M., Murillo-Amador, B., García-Bernal, M., Arcos-Ortega, G.F., Ruiz-Espinoza, F.H. y Ojeda-Silvera, C.M. 2022. Effect of *Natrum muriaticum* on photosynthesis and biomass of basil plants grown under salt stress (NaCl). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(28):219-229. doi. [org/10.29312/remexca.v13i28.3277](https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3277)
- Montano, R., Zuaznabar, R., García, A., Viñals, M. y Villar, J. 2007. Fitomas E: Bionutriente derivado de la industria azucarera. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*. XLI (3):14-21.
- Murillo-Amador, B., Yamada, S., Yamaguchi, T., Rueda-Puente, E.P., Ávila-Serrano, N., García-Hernández, J.L., López-Aguilar, D.R., Troyo-Diéguez, E. y Nieto-Garibay, A. 2007. Influence of calcium silicate on growth, physiological parameters and mineral nutrition in two legume species under salt stress. *Journal Agronomy Crop Science*. 193:413-421. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2007.00273.x>
- Ojeda-Silvera, C.M., Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., Troyo-Diéguez, E., Reynaldo-Escobar, M.I., Ruíz-Espinoza, F.H. y García-Hernández, J.L. 2015. Emergencia y crecimiento de plántulas de variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) sometidas a estrés hídrico. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 2 (5):151-161.
- Pan, T., Liu, M., Kreslavski, V.D., Zharmukhamedov, S.K., Nie, C., Yu, M., Kuznetsov, V.V, Allakhverdiev, S.I. y Shabala, S. 2021. Non-stomatal limitation of photosynthesis by soil salinity. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 51(8):791-825. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1735231>
- Percey, W.J., Shabala, L., Wu, Q., Su, N., Breadmore, M.C., Guijt, R.M., Jayakumar, B. y Shabala, S. 2016. Potassium retention in leaf mesophyll as an element of salinity tissue tolerance in halophytes. *Plant Physiology and Biochemistry*. 109:346-354. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.10.011>
- Pulido-Vega, J., Soto-Ortiz, R. y Castellanos-González, L. 2013. Efecto del Biobras y el FitoMas-E en el tomate de crecimiento indeterminado en casas de cultivo protegido. *Centro Agrícola*. 40(1):29-34. http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V40-Numero_1/cag061131895.pdf
- Postnikova, O.A., L.G. Nemchinov. 2015. Natural antisense transcripts associated with salinity response in Alfalfa. *The plant genome*. 8 (2):33-39. <https://doi.org/10.3835/plantgenome2014.09.0057>
- Reyes, Y., Martínez, L., Dell'Amico, J., González, M.C., Deyholos, M. y Núñez, M. 2017. Efecto de la 24-epibrasinólida en el crecimiento y la fotosíntesis de plantas jóvenes de arroz tratadas con NaCl. *Cultivos Tropicales* 38(3):44-54. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v38n3/ctr06317.pdf>
- Sánchez, E., Ruiz, J.M., Romero, L., Preciado-Rangel, P., Flores-Córdova, M.A. y Márquez-Quiroz, C. 2018. ¿Son los pigmentos fotosintéticos buenos indicadores de la relación del nitrógeno, fósforo y potasio en frijol ejotero? *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(15), 387-398 <https://doi.org/10.19136/era.a5n15.1757>
- Sánchez Govín, E., Leal López, I.M., Fuentes Hernández, L. y Rodríguez Ferrada, C.A. 2000. Estudio farmacognóstico de *Ocimum basilicum* L. (albahaca blanca). *Revista Cubana de Farmacia*, 34(3), 187-195.
- Samperio, R.G. 1997. Hidroponía básica. Editorial Diana. 176 p.
- Strain, H.H. y Svec, W.A. 1966. Extraction, separation, estimation, and isolation of the chlorophylls. In: Vernon, L.P. y G.R. Seely (Eds). *The Chlorophylls*. Academic Press, London. 21-66. doi. [org/10.1016/B978-1-4832-3289-8.50008-4](https://doi.org/10.1016/B978-1-4832-3289-8.50008-4)
- TIBCO Software Inc. 2018. *Statistica* (data analysis software system), version 13. <http://tibco.com>.
- Zörb, C., Geilfus, C.M. y Dietz, K.J. 2019. Salinity and crop yield. *Plant Biology*. 21:31-38. <https://doi.org/10.1111/plb.12884>

