









Bioestimulante derivado de caña de azúcar mitiga los efectos del estrés por NaCl en *Ocimum basilicum* L.

Biostimulant derived from sugar cane alleviates effects of NaCl-stress in basil (*Ocimum basilicum* L.)

Daulemys Batista-Sánchez¹ , Bernardo Murillo-Amador^{1*} , Alejandra Nieto-Garibay¹ , Lilia Alcaráz-Meléndez¹ , Enrique Troyo-Diéguez¹ , Luis Hernández-Montiel¹ , Carlos Michel Ojeda-Silvera¹ , José Manuel Mazón-Suástegui¹ , Yuneisy Milagro Agüero-Fernández¹

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

*Autor de correspondencia: bmurillo04@cibnor.mx

Artículo científico recibido: 08 de diciembre de 2018 **aceptado:** 20 de marzo de 2019

RESUMEN. Los bioestimulantes del crecimiento activan funciones fisiológicas en las plantas, contienen sustancias propias del metabolismo vegetal, que mejoran el uso de nutrientes y son una opción para mitigar el efecto del estrés por NaCl. El objetivo fue evaluar el efecto de un bioestimulante derivado de la caña de azúcar (FitoMas-E[®]), como atenuante del estrés por NaCl en variedades de albahaca, cultivadas en hidroponía. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial, donde el factor A fueron las variedades (Napoletano, Nufar y Emily), el factor B las dosis de FitoMas-E[®] (0 y 0.5 mL L⁻¹) y factor C las concentraciones de NaCl (0, 50, 100 y 150 mM), con cuatro repeticiones. Se evaluó la biomasa fresca y seca de la parte aérea y raíz, longitud de tallo y raíz, diámetro del tallo y área foliar. Las variables disminuyeron en las tres variedades, al incrementar la concentración de NaCl, provocando la muerte de las plantas de Emily al ser sometidas a 150 mM de NaCl y 0 mL L⁻¹ de FitoMas-E[®]. Las plantas tratadas con el bioestimulante incrementaron la biomasa fresca y seca de la parte aérea y raíz, longitud del tallo y raíz, diámetro del tallo y área foliar, aun cuando se sometieron a estrés por NaCl. El análisis de los factores mostró que Napoletano incremento de forma significativa ($p \leq 0.05$) la biomasa fresca y seca de la parte aérea y radícula, longitud del tallo, raíz y área foliar, con dosis de FitoMas-E[®] de 0.5 mL L⁻¹.

Palabras clave: Área foliar, biomasa, especies aromáticas, productos bioactivos.

ABSTRACT. Growth biostimulants activate physiological functions in plants, contain substances of plant metabolism, which improve the use of nutrients and are an option to mitigate stress by NaCl. The objective was to evaluate the effect of a bio-stimulant derived from sugar cane (FitoMas-E[®]), as an attenuator of NaCl-stress in basil varieties, grown under hydroponics. A completely randomized design with factorial arrangement was used, where factor A was the varieties (Napoletano, Nufar and Emily), factor B the doses of FitoMas-E[®] (0 and 0.5 mL L⁻¹) and factor C the NaCl concentrations (0, 50, 100 and 150 mM), with four repetitions. Fresh and dry biomass of aerial part and root, length of stem and root, diameter of stem and leaf area were evaluated. The results showed that all variables decreased in the three varieties by applying NaCl, leading to the death of Emily when subjected to a NaCl concentration of 150 mM and 0 mL L⁻¹ of FitoMas-E[®]. The plants treated with the biostimulant increased fresh and dry biomass of the aerial part and root, length of stem and root, diameter of the stem and foliar area even when were subjected to NaCl-stress. The analysis of the factors showed that Napoletano increased significantly ($p \leq 0.05$) fresh and dry biomass of the aerial part and radicle, length of the stem, root and foliar area, when receiving doses of FitoMas-E[®] from 0.5 mL L⁻¹.

Key words: Aromatic herbs, bioactive products, biomass, leaf area.

INTRODUCCIÓN

El impacto de la salinidad involucra disminución en el rendimiento de los cultivos, menor eficiencia en el uso del agua, inutilidad del suelo agrícola, contaminación del medio ambiente y reducción en el suministro de alimentos (Rezende *et al.* 2018). Este estrés retarda el crecimiento por el efecto negativo que ejerce sobre varios procesos fisiológicos en las plantas, como la fotosíntesis, conductividad estomática, ajuste osmótico, absorción de iones, síntesis de ácidos nucleicos, actividad enzimática y balance hormonal, además afecta el proceso de transporte de agua e iones, lo que promueve la toxicidad iónica, desbalance nutricional y limita el crecimiento de la planta (Evelin *et al.* 2012, Zhu y Gong 2014, Sarwat *et al.* 2016). Las concentraciones altas de sal soluble en los suelos de las regiones áridas y semiáridas afecta el crecimiento y el rendimiento de las plantas, mediante la inhibición de los procesos de síntesis que se producen, por la acumulación de iones salinos (Na^+) en las células que afectan el metabolismo (Kamel *et al.* 2015, Ghulam *et al.* 2015).

En Baja California Sur, México, se han incrementado las áreas con tendencia a la salinidad, debido a las condiciones climáticas de esta zona semiárida, donde el cultivo de albahaca tiene gran importancia para el mercado de exportación y representa una fuente de ingresos para los agricultores orgánicos (Navejas-Jiménez 2006). Debido a las características de los aceites esenciales de esta especie, su valor comercial es alto (Heidari 2012). Se utilizan en la industria cosmética para la elaboración de perfumes, en la industria farmacéutica por sus propiedades antialopélica, diuréticas y relajantes, en la industria alimenticia para aromatizar vinagres, y se emplea como condimento fresco y/o seco (Heidari y Golpayegani 2012, Tarchoune *et al.* 2013, Batista-Sánchez *et al.* 2017).

En la agricultura actual se utilizan cada vez más los bioestimulantes, debido a que atenúan la huella negativa del uso indiscriminado de agroquímicos (García-Gutiérrez y Rodríguez-Meza 2012). Estas sustancias promueven el crecimiento y desarrollo

de las plantas, además de mejorar el metabolismo, confieren resistencia y/o tolerancia ante condiciones adversas de estrés abiótico (Godfray *et al.* 2010). Los bioestimulantes se utilizan como activadores de los mecanismos fisiológicos de las plantas, su aplicación permite un aprovechamiento mayor de los nutrientes y por ende incremento del crecimiento, desarrollo, rendimiento y activación de mecanismos de defensa de las plantas en condiciones estresantes (Pulido *et al.* 2013, Ojeda-Silvera *et al.* 2015, Batista-Sánchez *et al.* 2015, 2017). Los bioestimulantes vegetales, contienen sustancias bioactivas, cuyo uso funcional, cuando se aplican a las plantas o la rizosfera, induce desarrollo apropiado del cultivo, vigor, rendimiento y la calidad mediante la estimulación de los procesos fisiológicos que benefician el crecimiento y desarrollo de las plantas (Álvarez *et al.* 2015). El bioestimulante FitoMas-E[®] se recomienda por su potencial anti estrés (Montano *et al.* 2007). El producto es una mezcla de materia orgánica, aminoácidos, polisacáridos, lípidos y bases nitrogenadas, biológicamente activos. Estas sustancias naturales son propias del metabolismo vegetal y al estar disponibles, las plantas reducen el consumo de energía adicional para sintetizarlas, con una respuesta más rápida ante condiciones de estrés (Montano *et al.* 2007, Pulido *et al.* 2013). Los compuestos de FitoMas-E[®] tienen el potencial de vigorizar el cultivo, desde la germinación hasta la fructificación, con la disminución de daños por salinidad, sequía, exceso de humedad, fitotoxicidad, plagas y trasplantes, no es tóxico para las plantas ni los animales (Castillo *et al.* 2011, Pulido *et al.* 2013). Considerando que el uso del FitoMas-E[®] puede ser una alternativa viable para incrementar la producción agrícola en condiciones de estrés por NaCl, el objetivo fue evaluar la respuesta interactiva de tres variedades de albahaca cultivadas en hidroponía y sometidas a estrés por salinidad (NaCl) a la aplicación de FitoMas-E[®].

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El experimento se realizó en una estructura construida con tubos de acero galvanizado, cubierta

con malla de 1610 PME CR, con hilos de $16 \times 10 \text{ cm}^{-2}$, orificios de $0.4 \times 0.8 \text{ mm}$, color cristal 40% de sombra, ubicada en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR[®]), México, localizado al norte de la Ciudad de La Paz, Baja California Sur, México, 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 (Ojeda-Silvera *et al.* 2015).

Las temperaturas promedio máxima y mínima dentro de la malla sombra durante el periodo de experimentación fue de 26.84 ± 5.21 , 44.17 ± 4.92 , $13.40 \pm 5.83 \text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente, con $52.8 \pm 14.95\%$ de humedad relativa. Los datos de las variables climatológicas registrados durante el estudio se obtuvieron de una estación climatológica portátil (Vantage Pro2[®] Davis Instruments) que se colocó dentro de la estructura de malla sombra.

Material genético

Las plántulas se obtuvieron a partir de semillas certificadas de las variedades de albahaca: Napoletano, Nufar y Emily, provenientes de la Empresa Seed Vis[®] Company.

Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial ($3A \times 2B \times 4C$), considerando a las variedades de albahaca (Napoletano, Nufar y Emily) como factor A, las dosis de FitoMas-E[®] (0 y 0.5 mL L^{-1}) como factor B y las concentraciones de NaCl (0 , 50 , 100 y 150 mM) como factor C, para un total de 24 tratamientos con cuatro repeticiones cada uno. Las semillas se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades con Sogemix PM[®] como sustrato comercial inerte. Para mantener la humedad y lograr una emergencia homogénea, se aplicaron riegos diarios hasta saturación del sustrato. Cuando las plántulas alcanzaron una altura promedio de 10 cm se trasladaron en canastillas para hidroponía de 150 mL , utilizando como soporte vermiculita y una fracción de fibra absorbente de algodón para garantizar el contacto de las raíces con el agua, durante los primeros días post-trasplante, en un sistema de hidroponía de raíz flotante. Como contenedores para

hidroponía se utilizaron cajas de poliuretano expandido de $69 \times 38.5 \times 25 \text{ cm}$ y 38 L de capacidad, aforadas con agua proveniente de la planta potabilizadora del CIBNOR, a la cual se le midió la conductividad eléctrica ($CE = 0.22 \text{ dS m}^{-1}$). Las canastillas se fijaron en los contenedores hidropónicos mediante orificios de una pulgada (seis canastillas por contenedor). La nutrición de las plantas se efectuó con la solución nutritiva de Samperio (1997) adaptada para albahaca, ajustada a razón de 1 L por cada 100 L de agua a la que se le midió el pH para garantizar que se encontrara en el rango óptimo (6.5 ± 0.4). La aplicación de los tratamientos con el bioestimulante FitoMas-E[®] inició después de un periodo de aclimatación de siete días, después del trasplante (DDT), asperjando la parte aérea de las plantas con dosis de 0.5 mL L^{-1} y agua destilada (control). Cuando se encontraban plenamente establecidas (15 días), se inició de manera gradual la aplicación de los tratamientos con NaCl, para evitar un choque osmótico (Murillo-Amador *et al.* 2007), iniciando con una concentración de 25 mM de NaCl en todos los tratamientos salinos, hasta llegar a la máxima concentración de cada tratamiento (50 , 100 y 150 mM).

Variables morfométricas

Al concluir el periodo de evaluación experimental (65 días), las plantas se trasladaron al laboratorio para separar raíz, tallo y hoja, para luego determinar la longitud de tallo y raíz (cm) con una regla graduada. La biomasa fresca de raíz, tallo y hojas (g) pesando en una balanza analítica (Mettler Toledo[®], modelo AG204). La biomasa seca de la parte aérea y raíces, se obtuvo colocando en bolsas de papel las partes aéreas y raíces para luego secar en una estufa (Shel-Lab[®], modelo FX-5, serie-1000203) a temperatura de $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta obtener peso constante (aproximadamente 72 h). Posteriormente se pesó en balanza analítica (Mettler Toledo[®], AG204) expresando el peso en gramos de materia vegetal seca. El área foliar (cm^2) se determinó con un integrador de área foliar (Li-Cor[®], modelo-LI-3000A, serie PAM 1701).

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza y comparaciones múltiples de medias (Tukey, HSD $p \leq 0.05$), con el programa Statistica v. 10.0 para Windows (Statsoft 2011).

RESULTADOS

La biomasa fresca de la parte aérea (BFPA) mostró diferencias significativas entre variedades ($F_{2,72} = 298.27$, $p \leq 0.001$), NaCl ($F_{3,72} = 69.06$, $p \leq 0.001$), FitoMas-E[®] ($F_{1,72} = 393$, $p \leq 0.001$), interacciones variedades \times NaCl ($F_{6,72} = 9.41$, $p \leq 0.001$), variedades \times FitoMas-E[®] ($F_{2,72} = 5.63$, $p \leq 0.005$) y variedades \times NaCl \times FitoMas-E[®] ($F_{6,72} = 12.64$, $p \leq 0.0001$). Se determinó que las concentraciones de NaCl disminuyeron la BFPA, siendo Emily la variedad más afectada, con la concentración de NaCl de 150 mM (Tabla 1). La BFPA fue mayor cuando la concentración de NaCl fue de 0 mM (control) para las tres variedades, siendo Napoletano la que alcanzó mayores valores. Se observó que al aumentar la concentración de NaCl de moderado (50 mM) a severo (150 mM), la BFPA disminuyó, siendo más notable con 100 y 150 mM. La interacción variedades \times FitoMas-E[®], mostró que la BFPA alcanzó los valores mayores en las plantas tratadas con 0.5 mL L⁻¹ de FitoMas-E[®], destacando Napoletano con los mayores valores (Tabla 2), seguida de Nufar y Emily. La interacción variedades \times NaCl \times FitoMas-E[®], mostró que la BFPA se incrementó en las plantas tratadas con el bioestimulante con respecto a las que no fueron tratadas, alcanzando los valores mayores la combinación de 0 mM de NaCl y 0.5 mL L⁻¹ de FitoMas-E[®] (Tabla 3), y el incremento de la concentración de NaCl disminuyó de forma significativa la BFPA, siendo la variedad Emily la más afectada con la combinación de 150 mM de NaCl y 0 mL L⁻¹ FitoMas-E[®]. Los valores mayores los obtuvo Napoletano al aplicar el bioestimulante con las concentraciones de NaCl moderadas y severas.

La biomasa fresca de raíz (BFR) mostró diferencias significativas entre variedades ($F_{2,72} = 55.586$, $p \leq 0.0001$), NaCl ($F_{3,72} = 355.409$, $p \leq 0.0001$), FitoMas-E[®] ($F_{1,72} = 193.706$, $p \leq 0.0001$),

las interacciones variedades \times NaCl ($F_{6,72} = 4.42$, $p \leq 0.001$), variedades \times FitoMas-E[®] ($F_{2,72} = 5.89$, $p \leq 0.004$) y variedades \times NaCl \times FitoMas-E[®] ($F_{6,72} = 10.21$, $p \leq 0.001$). El análisis de la interacción variedades \times NaCl, mostró que la BFR fue mayor en Napoletano en 0 mM y conforme la concentración de NaCl incrementó, se observó una disminución significativa para las tres variedades, siendo Emily en 150 mM la más afectada con una reducción de 85.6% con respecto al control (Tabla 1). El análisis de la interacción variedades \times FitoMas-E[®], mostró que la BFR alcanzó los valores mayores en Napoletano en 0.5 mL L⁻¹ de FitoMas-E[®], observándose un incremento superior al 30% con respecto al control (Tabla 2). En la interacción variedades \times NaCl \times FitoMas-E[®] la BFR mostró valores superiores en Napoletano y Nufar con 0 mM y 0.5 mL L⁻¹ de FitoMas-E[®], mostrando incrementos en la BFR cuando se trataron con el bioestimulante aún en condiciones de estrés por NaCl (Tabla 3).

La biomasa seca de parte aérea (BSPA) mostró diferencias significativas entre variedades ($F_{2,72} = 48.37$, $p \leq 0.000$), NaCl ($F_{3,72} = 181.25$, $p \leq 0.0001$), FitoMas-E[®] ($F_{1,72} = 76.73$, $p \leq 0.0001$), las interacciones variedades \times NaCl ($F_{6,72} = 3.22$, $p \leq 0.007$) y variedades \times NaCl \times FitoMas-E[®] ($F_{6,72} = 5.67$, $p \leq 0.0002$). El análisis de la interacción variedades \times NaCl, mostró que la BSPA incrementó en Nufar y Napoletano en el control (0 mM de NaCl). El análisis de variedades \times NaCl \times FitoMas-E[®] mostró que la BSPA aumentó en las variedades cuando se aplicó FitoMas-E[®] (Tabla 3); sin embargo, cuando se aplicó el NaCl, la BSPA disminuyó en Emily con 150 mM de NaCl y 0 mL L⁻¹ de FitoMas-E[®].

La biomasa seca de raíz (BSR) mostró diferencias significativas entre variedades ($F_{2,72} = 68.13$, $p \leq 0.0001$), NaCl ($F_{3,72} = 207.68$, $p \leq 0.0001$), FitoMas-E[®] ($F_{1,72} = 165.51$, $p \leq 0.0001$), las interacciones variedades \times NaCl ($F_{6,72} = 5.38$, $p \leq 0.0001$), variedades \times FitoMas-E[®] ($F_{2,72} = 12.93$, $p \leq 0.00001$) y variedades \times NaCl \times FitoMas-E[®] ($F_{6,72} = 2.29$, $p \leq 0.044$). El análisis de la interacción variedades \times NaCl, mostró a Napoletano con valor mayor en BSR en 0 mM; pero al incrementar la concentración de NaCl, disminuyó de forma significativa

Tabla 1. Valores promedio de variables morfométricas de plantas de tres variedades de albahaca sometidas a estrés por NaCl considerando la interacción variedades × NaCl.

Variedades	NaCl (mM)	BFPA (g)	BFR (g)	BSPA (g)	BSR (g)	LT (cm)	LR (cm)	DT (mm)	AF (cm ²)
Napoletano	0	206.12 ^a	197.63 ^a	17.46 ^a	24.14 ^a	42.97 ^a	88.79 ^a	16.50 ^b	3042.401 ^a
	50	154.95 ^c	131.95 ^c	13.76 ^b	15.79 ^b	42.00 ^{ab}	66.96 ^b	13.18 ^{cd}	1838.353 ^{cd}
	100	103.78 ^f	97.24 ^{def}	9.59 ^c	10.26 ^{cde}	34.99 ^{cd}	46.05 ^d	8.95 ^{fg}	1151.659 ^e
	150	78.36 ^{gh}	78.64 ^{fg}	7.73 ^c	7.79 ^{def}	30.77 ^{de}	19.34 ^g	7.59 ^g	923.392 ^{ef}
Nufar	0	171.43 ^b	161.82 ^b	17.70 ^a	15.51 ^b	38.02 ^{bc}	69.19 ^b	20.07 ^a	2599.753 ^b
	50	124.11 ^e	105.47 ^{de}	12.75 ^b	12.87 ^{bc}	34.56 ^{cd}	60.80 ^c	15.28 ^{bc}	1520.786 ^d
	100	91.04 ^{fg}	84.41 ^{efg}	9.12 ^c	8.33 ^{def}	26.72 ^{ef}	27.29 ^f	11.14 ^{def}	989.630 ^{ef}
	150	62.33 ⁱ	53.77 ^h	4.44 ^{de}	5.04 ^{fg}	20.31 ^g	18.64 ^d	9.04 ^{fg}	744.798 ^{fg}
Emily	0	129.40 ^{de}	164.74 ^b	12.91 ^b	15.58 ^b	37.91 ^{bc}	49.18 ^d	16.52 ^b	2108.066 ^c
	50	94.10 ^f	112.41 ^{cd}	8.90 ^c	10.89 ^{cd}	31.11 ^{de}	33.57 ^e	11.59 ^{de}	1540.387 ^d
	100	71.80 ^{hi}	64.46 ^{sh}	7.22 ^{cd}	6.94 ^{ef}	25.94 ^f	26.69 ^f	9.79 ^{efg}	973.105 ^{ef}
	150	30.29 ^j	23.78 ⁱ	3.55 ^e	2.28 ^g	9.58 ^h	7.54 ^h	4.26 ^h	467.993 ^g
Nivel de significancia	-	0.001	0.001	0.007	0.001	0.001	0.001	0.0006	0.00003

BFPA: biomasa fresca de parte aérea, BFR: biomasa fresca de raíz, BSPA: biomasa seca parte aérea, BSR: biomasa seca raíz, LT: longitud de tallo, LR: longitud de raíz, AF: área foliar. Valores promedios con literales diferentes en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey HSD, $p \leq 0.05$).

Tabla 2. Valores promedio de variables morfométricas de plantas de tres variedades de albahaca sometidas a estrés por NaCl considerando la interacción variedades × FitoMas-E[®].

Variedades	FitoMas-E [®] (mL L ⁻¹)	BFPA (g)	BFR (g)	BSR (g)	LT (cm)	AF (cm ²)
Napoletano	0	113.44 ^c	102.81 ^c	10.46 ^{bc}	35.78 ^b	1331.473 ^c
	0.5	158.17 ^a	149.93 ^a	18.52 ^a	39.59 ^a	2146.429 ^a
Nufar	0	96.88 ^d	79.33 ^d	8.71 ^{cd}	27.05 ^d	1203.529 ^c
	0.5	127.58 ^b	123.41 ^b	12.16 ^b	32.75 ^c	1723.955 ^b
Emily	0	64.84 ^e	78.64 ^d	6.91 ^d	21.99 ^e	977.820 ^d
	0.5	97.98 ^d	104.06 ^c	10.94 ^b	30.28 ^c	1566.955 ^b
Nivel de significancia	-	0.005	0.004	0.00001	0.004	60.01

BFPA: biomasa fresca de parte aérea, BFR: biomasa fresca de raíz, BSR: biomasa seca de raíz, LT: longitud de tallo, LR: longitud de raíz, AF: área foliar. Valores promedios con literales diferentes en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey HSD, $p \leq 0.05$).

la BSR hasta llegar a su menor valor en Emily con 150 mM de NaCl, que representó una disminución del 85.3% con respecto al control (Tabla 1). El análisis de variedades × FitoMas-E[®] mostró que la BSR incrementó con 0 mM y 0.5 mL L⁻¹ FitoMas-E[®] en las tres variedades, alcanzando los mayores valores Napoletano con 0.5 mL L⁻¹, mientras que la interacción variedades × NaCl × FitoMas-E[®] mostró que las plantas de Napoletano con 0 mM de NaCl y 0.5 mL L⁻¹ de FitoMas-E[®] incrementaron la BSR aún en condiciones de estrés por NaCl (Tabla 3).

La longitud del tallo (LT) mostró diferencias significativas entre variedades ($F_{2,72} = 156.63$, $p \leq 0.0001$), NaCl ($F_{3,72} = 250.32$, $p \leq 0.0001$), FitoMas-E[®] ($F_{1,72} = 121.47$, $p \leq 0.0001$), las interacciones variedades × NaCl ($F_{6,72} = 14.59$, $p \leq 0.001$), variedades × FitoMas-E[®] ($F_{2,72} = 5.84$, $p \leq 0.004$)

y variedades × NaCl × FitoMas-E[®] ($F_{6,72} = 5.64$, $p \leq 0.00007$). Al analizar las interacciones se encontró que para variedades × NaCl, Napoletano con 0 y 50 mM tuvo la mayor LT y con el aumento del NaCl la LT disminuyó en las tres variedades, siendo Emily con 150 mM la más afectada (Tabla 1). La interacción variedades × FitoMas-E[®] indica que los mayores valores de LT se obtuvieron cuando las plantas de las tres variedades se trataron con 0.5 mL L⁻¹ de FitoMas-E[®], con un incremento superior al 10% con respecto al control (Tabla 2). La interacción variedades × NaCl × FitoMas-E[®] mostró que la LT fue mayor en Napoletano con 0 mM y 0.5 mL L⁻¹ de FitoMas-E[®] (Tabla 3), siendo más afectada Emily con 150 mM y 0 mL L⁻¹ FitoMas-E[®].

La longitud de raíz (LR) mostró diferencias significativas entre variedades ($F_{2,72} = 430.12$, $p \leq 0.0001$), NaCl ($F_{3,72} = 104.851$, $p \leq 0.0001$), FitoMas-

Tabla 3. Valores promedio de variables morfométricas de plantas de tres variedades de albahaca sometidas a estrés por NaCl considerando la interacción variedades × NaCl × FitoMas-E®.

Variedades	NaCl (mM)	FitoMas-E® (mL L ⁻¹)	BFFA (g)	BFR (g)	BSPA (g)	BSR (g)	LT (cm)	LR (cm)	DT (mm)	AF (cm ²)
Napoletano	0	0	175.23 ^b	185.71 ^{ab}	15.60 ^{ab}	17.02 ^{bcd}	41.43 ^{ab}	83.47 ^b	13.95 ^{def}	2294.25 ^{cd}
	0	0.5	237.01 ^a	209.55 ^a	19.32 ^a	31.26 ^a	44.50 ^a	94.11 ^a	19.06 ^{ab}	3790.551 ^a
	50	0	120.56 ^{def}	95.17 ^{ghij}	11.55 ^{bcd}	11.50 ^{fgh}	40.07 ^{ab}	62.67 ^{de}	10.92 ^{fghi}	1387.87 ^{fgh}
	50	0.5	189.35 ^b	168.74 ^{bc}	15.97 ^{ab}	20.07 ^b	43.92 ^a	71.24 ^{cd}	15.45 ^{bcd}	2288.83 ^{cd}
	100	0	88.58 ^{gh}	76.47 ^{ijkl}	8.69 ^{defgh}	8.10 ^{ghij}	32.14 ^{cdef}	40.31 ^{gh}	7.942 ^{jk}	901.51 ^{hijk}
	100	0.5	118.10 ^{ef}	118.02 ^{efg}	10.49 ^{cdef}	12.42 ^{efg}	37.85 ^{abc}	51.80 ^f	9.96 ^{ghijk}	1401.80 ^{fgh}
Nufar	150	0	69.39 ^{hi}	53.87 ^l	6.68 ^{fghi}	5.23 ^{jk}	29.47 ^{defgh}	16.87 ^k	6.97 ^k	742.25 ^{jk}
	150	0.5	87.33 ^{gh}	103.41 ^{efghi}	8.78 ^{defgh}	10.34 ^{fghi}	32.07 ^{cdef}	21.80 ^{jk}	8.21 ^{jk}	1104.52 ^{hij}
	0	0	149.12 ^c	114.04 ^{fgh}	15.84 ^{ab}	11.92 ^{efgh}	35.57 ^{bcd}	65.42 ^{cd}	17.56 ^{bcd}	2239.58 ^{cde}
	0	0.5	193.75 ^b	209.59 ^a	19.57 ^a	19.09 ^{bc}	40.47 ^{ab}	72.97 ^c	22.57 ^a	2959.92 ^b
	50	0	108.64 ^f	76.77 ^{ijkl}	9.67 ^{cdefg}	11.42 ^{fgh}	31.28 ^{cdefg}	50.92 ^f	13.35 ^{efg}	1222.84 ^{ghij}
	50	0.5	139.58 ^{cde}	134.18 ^{cde}	15.83 ^{ab}	14.32 ^{cdef}	37.84 ^{abc}	70.68 ^{cd}	17.22 ^{bcd}	1818.73 ^{ef}
Emily	100	0	74.13 ^{hi}	77.91 ^{hijkl}	9.01 ^{cdefgh}	7.13 ^{hij}	25.09 ^{fghi}	18.78 ^k	9.44 ^{hijk}	836.78 ^{ijk}
	100	0.5	107.95 ^f	90.92 ^{ghijk}	9.23 ^{cdefgh}	9.53 ^{fghi}	28.34 ^{efgh}	35.80 ^{ghi}	12.83 ^{efgh}	1142.48 ^{hij}
	150	0	55.61 ⁱ	48.60 ^l	3.92 ^{ij}	4.37 ^{jk}	16.27 ^j	16.32 ^k	7.67 ^{jk}	514.91 ^{kl}
	150	0.5	69.04 ^{hi}	58.95 ^{jkl}	4.97 ^{hi}	5.71 ^{ij}	24.34 ^{ghi}	20.96 ^{jk}	10.42 ^{fghijk}	974.68 ^{hijk}
	0	0	115.19 ^f	162.52 ^{bcd}	12.39 ^{bcd}	13.13 ^{defg}	35.96 ^{bcd}	44.52 ^f	15.28 ^{cde}	1757.44 ^{defg}
	0	0.5	143.73 ^{cd}	166.97 ^{bc}	13.43 ^{bc}	18.03 ^{bcd}	39.86 ^{ab}	53.83 ^{ef}	17.77 ^{bc}	2458.69 ^{bc}
Nivel de significancia	50	0	86.93 ^{gh}	94.85 ^{fghi}	8.27 ^{defgh}	9.15 ^{fghi}	29.57 ^{defg}	28.32 ^{ij}	11.21 ^{fghi}	1357.16 ^{fghi}
	50	0.5	101.28 ^f	129.97 ^{def}	9.54 ^{cdefg}	12.62 ^{efg}	32.65 ^{cde}	38.82 ^{gh}	11.97 ^{efgh}	1723.61 ^{efg}
	100	0	57.26 ⁱ	57.17 ^{kl}	5.61 ^{ghi}	5.34 ^{ij}	22.42 ^{hij}	20.41 ^{jk}	8.57 ^{ijk}	796.67 ^{jk}
	100	0.5	86.33 ^{gh}	71.75 ^{ijkl}	8.84 ^{defgh}	8.55 ^{ghij}	29.46 ^{defgh}	32.97 ^{hi}	11.01 ^{fghij}	1149.54 ^{hij}
	150	0	0.00 ^j	0.00 ^m	0.00 ^j	0.00 ^k	0.00 ^k	0.00 ^k	0.00 ^l	0.00 ^l
	150	0.5	60.58 ⁱ	47.57 ^l	7.11 ^{efghi}	4.56 ^{jk}	19.17 ^{ij}	15.09 ^k	8.52 ^{ijk}	935.98 ^{hijk}
	-	0.001	0.001	0.0002	0.044	0.00007	0.003	0.0002	0.0004	0.0004

BFFA: biomasa fresca de parte aérea, BFR: biomasa fresca de raíz, BSPA: biomasa seca parte aérea, BSR: biomasa seca raíz, LT: longitud de tallo, LR: longitud de raíz, DT: diámetro del tallo, AF: área foliar. Valores promedios con literales diferentes en una misma columna difieren estadísticamente (Tukey HSD, p ≤ 0.05).

$E^{\text{®}}$ ($F_{1,72} = 229.16$, $p \leq 0.0001$), las interacciones variedades \times NaCl ($F_{6,72} = 40.17$, $p \leq 0.001$) y variedades \times NaCl \times FitoMas- $E^{\text{®}}$ ($F_{6,72} = 3.62$, $p \leq 0.0034$). La interacción variedades \times NaCl mostró que Napoletano incrementó la LR con 0 mM de NaCl (Tabla 1). Aunque la LR disminuyó en las tres variedades con el incremento de la concentración de NaCl, siendo Emily mostró la que tuvo la menor LR con 150 mM de NaCl. El análisis de variedades \times FitoMas- $E^{\text{®}}$ mostró que LR alcanzó los mayores valores en Napoletano con 0 mM y 0.5 mL L⁻¹ de FitoMas- $E^{\text{®}}$.

El diámetro de tallo (DT) mostró diferencias significativas entre variedades ($F_{2,72} = 50.57$, $p \leq 0.0001$), NaCl ($F_{3,72} = 274.99$, $p \leq 0.0001$), FitoMas- $E^{\text{®}}$ ($F_{1,72} = 159.28$, $p \leq 0.0001$), las interacciones variedades \times NaCl ($F_{6,72} = 4.50$, $p \leq 0.0006$) y variedades \times NaCl \times FitoMas- $E^{\text{®}}$ ($F_{6,72} = 7.64$, $p \leq 0.0002$). El DT mayor lo alcanzó Nufar con 0 mM de NaCl; aun cuando la DT disminuyó en las tres variedades a medida que aumento la concentración de NaCl (Tabla 1). En el análisis de interacción variedades \times NaCl \times FitoMas- $E^{\text{®}}$ mostró que el DT aumento para las plantas tratadas con FitoMas- $E^{\text{®}}$ aun en condiciones de estrés por NaCl (Tabla 3).

El área foliar (AF) mostró diferencias significativas entre variedades ($F_{2,72} = 43.56$, $p \leq 0.0001$), NaCl ($F_{3,72} = 400.96$, $p \leq 0.0001$), FitoMas- $E^{\text{®}}$ ($F_{1,72} = 244.40$, $p \leq 0.0001$), las interacciones variedades \times NaCl ($F_{6,72} = 6.10$, $p \leq 0.00003$), variedades \times FitoMas- $E^{\text{®}}$ ($F_{2,72} = 4.70$, $p \leq 0.012$) y variedades \times NaCl \times FitoMas- $E^{\text{®}}$ ($F_{6,72} = 4.74$, $p \leq 0.0004$). Al analizar las interacciones se observó que Napoletano mostró la mayor AF en el control; las tres variedades disminuyeron el AF al incrementar las concentraciones de NaCl (Tabla 1). Sin embargo, las tres variedades incrementaron el AF cuando se trataron con 0.5 mL L⁻¹ del bioestimulante (Tabla 2), siendo Napoletano con 0 mM NaCl y 0.5 mL L⁻¹ FitoMas- $E^{\text{®}}$ con mayor AF, incluso cuando se sometieron a estrés por NaCl (Tabla 3).

DISCUSIÓN

La disminución de las variables respuesta en

las plantas de albahaca sometidas a estrés de NaCl se puede deber al efecto osmótico de la solución salina en el medio de cultivo, así como el desequilibrio en la absorción y asimilación de nutrientes (Batista-Sánchez *et al.* 2015, 2017). Las concentraciones altas de NaCl en el medio de cultivo alteran la capacidad de las raíces para extraer agua. Además, dentro de la planta las concentraciones altas de NaCl son tóxicas (Lamz y González 2015), debido a que inhiben los procesos fisiológicos y bioquímicos (Rahneshan *et al.* 2018). Resultados similares fueron reportados por Asghari y Ahmadvand (2018) al estudiar el efecto de 50, 100, 150, 200 y 250 mM de NaCl en *Aloe vera*, observando que el estrés por NaCl provocó disminución en las características morfológicas de la planta e indicadores bioquímicos.

La salinidad reduce el intercambio de gases, lo que provoca disminución de la fotosíntesis, la conductividad estomática, el ajuste osmótico, la síntesis de ácidos nucleicos, actividad enzimática y balance hormonal, además afecta el proceso de transporte del agua e iones, por lo que las variables de crecimiento como la altura de la planta y la biomasa disminuyen (Evelin *et al.* 2012, Yue *et al.* 2012, Harter *et al.* 2014); lo que explica la respuesta de las plantas de albahaca cuando se sometieron a estrés por NaCl. Cuando a las plantas de las tres variedades se les aplicó el bioestimulante se observó un aumento en la BFPa aun cuando estas se encontraban sometidas al estrés por NaCl, lo que se relaciona con la actividad antiestrés que presenta el FitoMas- $E^{\text{®}}$, ya que contiene ácido glutámico, que actúa como agente osmótico del citoplasma de las células protectoras (Viñals-Verde *et al.* 2011). Otra hipótesis es la presencia en la composición química de aminoácidos del FitoMas- $E^{\text{®}}$, entre los que destacan como mayoritarios, alanina, glicina, triptófano, valina, leucina y lisina, algunos de ellos con efecto probado en la actividad metabólica de las plantas, además contiene macroelementos (N, P, K), que favorecen el desarrollo rápido de tejidos y órganos en las plantas (Viñals-Verde *et al.* 2011).

El incremento de BFR de las plantas de albahaca tratadas con FitoMas- $E^{\text{®}}$ aun cuando estaban sometidas a estrés por NaCl, se relaciona con la

presencia de sustancias complejas como péptidos, bases nitrogenadas y oligosacáridos, las cuales son estructuras básicas que funcionan como unidades para construir desde el RNA celular, sustancias complejas como vitaminas, enzimas y otras estructuras químicas esenciales en la adaptación y tolerancia al estrés, permitiendo que las plantas sometidas a niveles de estrés por NaCl, logren atenuar los efectos negativos de este en el crecimiento y desarrollo (Castillo *et al.* 2011, Batista-Sánchez *et al.* 2015). El contenido del aminoácido L-triptófano en el FitoMas-E[®], provocó un incremento significativo en la LT, lo que se puede deber a que es un precursor de la síntesis de las auxinas, que son fitohormonas que realizan funciones primordiales en el crecimiento y división celular; además contiene ácido glutámico que actúa como metabolito fundamental en la formación de tejidos vegetales (Castillo *et al.* 2011). Estudios previos realizados por Batista-Sánchez *et al.* (2015, 2017) mostraron que la LR se incrementó en variedades de albahaca al aplicar diferentes dosis de FitoMas-E[®], los que coincide con los resultados obtenidos, lo cual se relaciona con el contenido de fósforo del FitoMas-E[®], que desempeña una actividad importante en la formación del sistema radical. Respecto al incremento del DT en plantas de albahaca con el bioestimulante, es similar a los resultados que obtuvieron Ricardo y Aguilar (2005) en el DT de plantas de tomate, lo que se atribuye a los nutrientes de las zonas de reserva, que son movilizados a los tejidos de mayor actividad metabólica, necesaria para la formación y multiplicación de células y tejidos vegetales nuevos. También el AF de las plantas de albahaca aumentó al aplicar FitoMas-E[®], aun bajo estrés por NaCl. Este incremento se relaciona con la síntesis

de sustancias osmoprotectoras como prolina y glutación, además el bioestimulante activa las enzimas como las peroxidasas, polifenoloxidasas y quitinasas, que se relacionan con los mecanismos de defensa de las plantas (Peteira *et al.* 2008). Por otra parte, al aplicar el bioestimulante a las plantas se le provee de manera directa y/o indirecta sustancias propias de metabolismo celular de las plantas que se utilizarán sin tener que realizar un gasto de energía para sintetizarlas (Viñals-Verde *et al.* 2011).

CONCLUSIONES

Se presentó una respuesta diferencial entre las variedades de albahaca en las variables morfológicas en condiciones de estrés por NaCl y la aplicación del bioestimulante, siendo Napoletano la que mostró los mayores valores en la mayoría de las variables evaluadas. La concentración de 150 mM de NaCl ocasionó la muerte de las plantas de Emily, evidenciando que en esta concentración solo sobrevivieron las plantas de esta variedad al aplicar 0.5 mL L⁻¹ de FitoMas-E[®], demostrándose el efecto antiestrés del bioestimulante. La dosis de 0.5 mL L⁻¹ de FitoMas-E[®], fue la mejor respecto al control.

AGRADECIMIENTOS

A los proyectos CONACYT-PN-2017 (No. 4631) y SATREPS-JICA-JST-CIBNOR, así como los proyectos de ciencia básica SEP-CONACYT No. 236240 y No. 258282. Se agradece el apoyo técnico de Carmen Mercado-Guido, Pedro Luna-García, Lidia Hiraes-Lucero, Manuel Salvador Trasviña-Castro y Álvaro González Michel del CIBNOR.

LITERATURA CITADA

- Álvarez A, Campo A, Batista E, Morales A (2015) Evaluación del efecto del bionutriente Fitomas-E como alternativa ecológica en el cultivo del tomate. ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar 49: 3-9.
- Asghari R, Ahmadvand R (2018) Salinity Stress and its impact on Morpho-Physiological Characteristics of *Aloe vera*. Tropical Agricultural Science 41: 411-422.
- Batista-Sánchez D, Murillo-Amador B, Nieto-Garibay A, Alcaráz-Meléndez L, Troyo-Dieguéz E, Hernández-Montiel LG, *et al.* (2017) Mitigación de NaCl por efecto de un bioestimulante en la germinación de *Ocimum basilicum* L. Terra Latinoamericana 35: 309-320.

- Batista-Sánchez D, Nieto-Garibay A, Alcaráz-Meléndez L, Troyo-Dieguéz E, Hernández-Montiel LG, Ojeda-Silvera CM, et al. (2015) Uso del FitoMas-E[®] como atenuante del estrés salino (NaCl) durante la emergencia y crecimiento inicial de *Ocimum basilicum* L. *Nova Scientia* 15: 01-10.
- Castillo G, Villar J, Montano R, Martínez C, Pérez F, Albacete A, et al. (2011) Cuantificación por HPLC del contenido de aminoácidos presentes en el FitoMas-E. *ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* 45: 64-67.
- Evelin H, Giri B, Kapoor R (2012) Contribution of *Glomus intraradices* inoculation to nutrient acquisition and mitigation of ionic imbalance in NaCl-stressed *Trigonella foenum-graecum*. *Mycorrhiza* 22: 203-217.
- García-Gutiérrez C, Rodríguez-Meza GD (2012) Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. *Ra Ximhai Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable* 8: 1-10.
- Ghulam A, Saqib M, Akhtar J, Anwar ul Haq M (2015) Interactive effects of salinity and iron deficiency on different rice genotypes. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 178: 306-311.
- Godfray H, Beddington JR, Crute I, Haddad L, Lawrence D, Muir JF, et al. (2010) Food security: The challenge of feeding billion people. *Science* 327: 812-818.
- Harter LSH, Harter FS, Deuner C, Meneghello GE, Villela FA (2014) Salinidade e desempenho fisiológico de sementes e plântulas de mogango. *Horticultura Brasileira* 32: 80-85.
- Heidari M (2012) Effects of salinity stress on growth, chlorophyll content and osmotic components of two basil (*Ocimum basilicum* L.) genotypes. *African Journal of Biotechnology* 11: 379-384.
- Heidari M, Golpayegani A (2012) Effects of water stress and inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant status and photosynthetic pigments in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 11: 57-61.
- Kamel H, Ferchichi S, Ben Youssef S, Hans Werner K, Cruz C, Gandour M (2015) How does salinity duration affect growth and productivity of cultivated barley? *Agronomy Journal* 107: 174-180.
- Lamz A, González MC (2015) Indicadores del crecimiento inicial y del estado nutricional para la selección temprana de genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) tolerantes a la salinidad. *Cultivos Tropicales* 36: 41-48.
- Montano R, Zuaznabar R, García A, Viñals M, Villar J (2007) Fitomas E: Bionutriente derivado de la industria azucarera. *ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* 41: 14-21.
- Murillo-Amador B, Yamada S, Yamaguchi T, Rueda-Puente E, Ávila-Serrano N, García-Hernández JL, et al. (2007) Influence of calcium silicate on growth, physiological parameters and mineral nutrition in two legume species under salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 193: 413-421.
- Navejas-Jiménez J (2006) El sistema de producción orgánica en tomate y albahaca. En: Murillo-Amador B, Beltrán-Morales FA, García-Hernández JL, Fenech-Larios L (Eds). *La agricultura orgánica en Baja California Sur*. Edit. CIBNOR-UABCS. La Paz, Baja California Sur, México. pp. 71-81.
- Ojeda-Silvera CM, Murillo-Amador B, Nieto-Garibay A, Troyo-Dieguéz E, Reynaldo-Escobar IM, Ruíz-Espinoza FH, et al. (2015) Emergencia y crecimiento de plántulas de variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) sometidas a estrés hídrico. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2: 151-160.
- Peteira B, Fernández A, Rodríguez H, González E (2008) Efecto del BION y del FitoMasE como inductores de resistencia en plantas de arroz infestadas con *Stenotarsonemus spinki*. *Revista Protección Vegetal* 23: 32-37.

- Pulido VJ, Soto OR, Castellanos L (2013) Efecto del biobras y el FitoMas-E en el tomate de crecimiento indeterminado en casas de cultivo protegido. *Centro Agrícola* 1: 29-34.
- Rahneshan Z, Nasibi F, Moghadam A (2018) Effects of salinity stress on some growth, physiological, biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. *Journal of Plant Interactions* 13: 1 73-82.
- Rezende RA, Almendagna F, Rodrigues JD, Oliveira HR, Pasqual M, Gomes GM (2018) Salt stress and exogenous silicon influence physiological and anatomical features of in vitro-grown cape gooseberry. *Ciência Rural* 48: 1.
- Ricardo I, Aguilar CL (2015) Evaluación del FitoMas sobre el rendimiento agrícola del tomate (*Lycopersicon esculentum*) en un suelo vertisol. *Multiciencias* 15: 371-375.
- Samperio RG (1997) *Hidroponía Básica*. Editorial Diana. México. 176p.
- Sarwat M, Hashem A, Ahanger MA, Abd-Allah EF, Alqarawi AA, Alyemeni MN, *et al.* (2016) Mitigation of NaCl stress by arbuscular mycorrhizal fungi through the modulation of osmolytes, antioxidants and secondary metabolites in mustard (*Brassica juncea* L.) plants. *Frontier in Plant Science* 7: 869-883.
- StatSoft Inc (2011) *Statistica*. System reference. StatSoft, Inc., Tulsa, Oklahoma, USA. 1098p.
- Tarchoune I, Sgherri C, Baâtour B, Izzo R, Lachaâl M, Navari-Izzo F, *et al.* (2013) Effects of oxidative stress caused by NaCl or Na₂SO₄ excess on lipoic acid and tocopherols in Genovese and Fine basil (*Ocimum basilicum* L.). *Annals of Applied Biology* 163: 23-32.
- Viñals M, García A, Montano RL, Villar JC, García T, Ramil R (2011) Estimulante de crecimiento agrícola FITOMAS[®]; resultados de producción del año 2010 y su impacto en cultivos seleccionados de alimentos. *ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* 45: 1-23.
- Yue Y, Zhang M, Zhang J, Duan L, Li Z (2012) SOS1 gene overexpression increased salt tolerance in transgenic tobacco by maintaining a higher K⁺/Na⁺ ratio. *Journal of Plant Physiology* 169: 255-261.
- Zhu Y, Gong H (2014) Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. *Agronomy for Sustainable Development* 34: 455-472.