

Efecto de *Natrum muriaticum* sobre la fotosíntesis y la biomasa de plantas de albahaca cultivadas bajo estrés salino (NaCl)

José Manuel Mazón-Suástegui¹
Bernardo Murillo-Amador¹
Milagro García-Bernal²
Guadalupe Fabiola Arcos-Ortega¹
Francisco Higinio Ruiz-Espinoza³
Carlos Michel Ojeda-Silvera^{§1,3}

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC. Instituto Politécnico Nacional núm. 195, Colonia Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, México. (jmazon04@cibnor.mx; bmurillo04@cibnor.mx; farcos04@cibnor.mx). ²Universidad Central de las Villas. Santa Clara, Villa Clara, Cuba. (milagariabernal@gmail.com). ³Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur, México. (fruiz@uabcs.mx).

§Autor para correspondencia: cojedas1979@gmail.com.

Resumen

Los compuestos bioactivos altamente diluidos se han utilizado con éxito en el sector agrícola para estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas, incluso en condiciones de cultivo desfavorables. Por esta razón, se estudió la viabilidad de utilizar *Natrum muriaticum* (NaM), una ultradilución homeopática, como agente elicitor contra los efectos negativos del estrés salino por NaCl, en dos variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) cultivadas en un medio salino, en el CIBNOR, SC., en febrero-marzo de 2019. Se aplicó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial (2A×2B×3C), considerando las variedades Napoletano y Emily como factor A, la concentración de NaCl (0 y 75 mM) como factor B, y los tratamientos homeopáticos con NaM (7CH, 13CH y agua destilada como control) como factor C, sumando un total de 12 tratamientos con cuatro repeticiones cada uno, y la tasa fotosintética y producción de biomasa fresca y seca de la parte aérea como variables de respuesta. El análisis de varianza y las comparaciones múltiples de medias (DSH de Tukey $p \leq 0.05$) revelaron que ambas dinamizaciones de NaM (7CH y 13CH) favorecieron un aumento de las variables de respuesta evaluadas en plantas sometidas a estrés salino. El mayor aumento de la tasa fotosintética (75%) y de la biomasa fresca de la parte aérea (40%) con respecto al tratamiento control se obtuvo con NaM 7CH en la variedad Napoletano. En conclusión, la aplicación de NaM atenúa el estrés salino en *Ocimum basilicum* L., lo que confirma que la homeopatía agrícola es una alternativa respetuosa con el medio ambiente que puede aumentar la producción de albahaca en condiciones de estrés salino.

Palabras clave: especies aromáticas, estrés por salinidad, homeopatía agrícola, zonas áridas.

Recibido: mayo de 2022

Aceptado: agosto de 2022

Introducción

La albahaca es una planta aromática milenaria de las regiones tropicales y subtropicales del continente asiático pero cultivada en todo el mundo (Ono *et al.*, 2011). Por su agradable olor y sabor, la especie tiene una gran importancia comercial y es ampliamente utilizada en la industria alimentaria, ya sea para consumo fresco o seco y como saborizante para salsa y vinagre (Ojeda-Silvera *et al.*, 2015). Se utiliza en la industria cosmética debido a su contenido de aceites esenciales (Nieto *et al.*, 2016; Mazón-Suástegui *et al.*, 2018a; Batista-Sánchez *et al.*, 2022) y en la industria farmacéutica por sus propiedades estimulantes, diuréticas, antiespasmódicas y antialopécicas, entre otras (Batista-Sánchez *et al.*, 2015).

La albahaca se cultiva en los estados mexicanos de Guerrero, Nayarit, Morelos, Puebla, Baja California y Baja California Sur (BCS), de los cuales este último es el estado con mayor producción (SIAP, 2017). No obstante, la productividad de la albahaca en BCS está en riesgo porque las áreas agrícolas con tendencia a la salinidad han aumentado debido a sus condiciones semiáridas (Batista-Sánchez *et al.*, 2017). En los últimos años, el estrés abiótico en plantas asociado a la salinidad ha sido un efecto subyacente para la comunidad científica internacional debido a sus consecuencias negativas, causando una disminución en la producción de biomasa que reduce el rendimiento de las especies cultivadas y la sostenibilidad de la agricultura en las áreas afectadas (Kandil *et al.*, 2017; Mazón-Suástegui *et al.*, 2020a; Rodríguez-Alvarez *et al.*, 2020).

Según Khalig *et al.* (2014), las pérdidas globales en la agricultura por la salinidad, ha afectado una quinta parte de las tierras cultivadas y superan 12 mil millones de dólares anuales. Entre los efectos nocivos del estrés por salinidad se incluyen la disminución de la absorción de agua, los iones entrantes que podrían causar toxicidad, el desequilibrio nutricional y los cambios fisiológicos, como la tasa fotosintética por la reducción del área foliar y el menor intercambio de gases, que aislados o sinérgicos reducen la viabilidad del cultivo (Abbas *et al.*, 2015; Hessini *et al.*, 2015).

En la actualidad, se han desarrollado muchos estudios de investigación para enfrentar el problema asociado al agua y la salinidad. Estos estudios se han centrado en la selección de variedades tolerantes al estrés abiótico (Ojeda-Silvera *et al.*, 2013), evaluación de factores de transcripción de tolerancia mediante técnicas de biología molecular (García *et al.*, 2013) y aplicación de sustancias promotoras del crecimiento (Calvo *et al.*, 2014). En esta misma línea de investigación, la homeopatía agrícola con sustancias bioactivas ultradiluidas o nanomedicamentos es un tema novedoso para la agricultura global (Mazón-Suástegui *et al.*, 2018a).

Estudios recientes han demostrado la acción beneficiosa de algunos medicamentos homeopáticos ultradiluidos en las plantas, ya sea para reducir la presencia o los efectos nocivos de los organismos plaga (Martínez *et al.*, 2014; Meneses, 2017) o estimular el crecimiento y vigor de las plantas en su presencia (Modolon *et al.*, 2016; Mazón-Suástegui *et al.*, 2020b; Abasolo-Pacheco *et al.*, 2020; García-Bernal *et al.*, 2020). La aplicación de los nanomedicamentos como sustancias elicitoras de los efectos negativos del estrés por salinidad es un tema que ha sido poco explorado.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto elicitor de *Natrum muriaticum* frente al estrés inducido por NaCl en dos variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) cultivadas en sistema hidropónico, teniendo en cuenta variables de respuesta de actividad fotosintética y producción de biomasa.

Materiales y métodos

Sitio de estudio: el experimento se realizó en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), ubicado a 24° 08' 10.03" N y 110° 25' 35.31" O a 7 msnm al norte de la ciudad de La Paz, Baja California Sur, México (Ojeda-Silvera *et al.*, 2015). Una estructura construida con tubos de acero galvanizado cubiertos con un 1610 PME CR (hilos de 16*10 cm, malla color cristal orificios de 0.4*0.8 mm), equivalente a un 40% de sombra y temperatura media, máxima y mínima de 26.84 ±5.21, 44.17 ±4.92, 13.4 ±5.83 °C, respectivamente, y humedad relativa de 52.8 ±14.95%. Estos datos climatológicos se registraron con una estación climatológica portátil (Vantage Pro2® Davis Instruments, USA) dentro de una estructura de malla.

Material genético: las plántulas se obtuvieron a partir de semillas orgánicas certificadas de dos variedades de albahaca (Emily y Napoletano), de Seed Company (San Diego, CA, USA) con respuesta diferencial al estrés por NaCl.

Diseño experimental y tratamientos: se sembraron semillas en charolas de poliestireno de 200 pocillos con sustrato comercial inerte Sogemix PM® (Canadá). Para mantener la humedad y lograr una emergencia homogénea, se aplicó riego diario hasta lograr la saturación del sustrato. Cuando las plantas alcanzaron una altura promedio de 10 cm, se trasplantaron en macetas de 150 ml con vermiculita como sustrato de soporte y una fracción de fibra de algodón absorbente, lo que se realizó durante los primeros días posteriores al trasplante para garantizar el contacto de las plántulas con el agua en el momento de colocarlas en un sistema hidropónico.

El sistema se acondicionó con cajas de poliuretano expandido de 69 × 38.5 × 25 cm y 38 L de capacidad, calibradas con agua de la planta potabilizadora en el CIBNOR con una conductividad eléctrica de 0.22 dS m⁻¹. Las macetas se colocaron en la tapa de la caja de poliuretano en pozos [con un diámetro de 4 cm] (seis por caja) para garantizar el contacto del sistema radicular con el agua. Para la nutrición de las plantas, se utilizó una solución nutritiva (1 L 100 L⁻¹ de agua) adaptada para la albahaca según Samperio (1997), ajustando el pH para garantizar un rango óptimo de 6.5 ±0.2 (Mazón-Suástegui *et al.*, 2018a).

Los tratamientos NaM-7CH y NaM-13CH fueron preparados en el CIBNOR a partir de *Natrum muriaticum* 6CH y *Natrum muriaticum* 12CH (Similia-México®), que cuenta con registro oficial en la Secretaría de Salud de México como medicamento para uso humano (comprado a Farmacia Homeopática Nacional, CDMX, México). Su ingrediente activo inicial es la sal marina o sal de Guérande, cuyo componente principal es el NaCl, pero también contiene oligoelementos, como magnesio biodisponible, cloruro de potasio, hierro y calcio. Brevemente, para preparar las dinamizaciones de NaM 7CH y NaM 13CH, diluciones centesimales (1:99) en agua destilada y desionizada se agitaron vigorosamente en un equipo de vortex (BenchMixer®, Edison, NJ, USA) durante dos min, aplicando procedimientos básicos de homeopatía para obtener sustancias ultradiluidas (Mazón-Suástegui *et al.*, 2017; Ortiz *et al.*, 2017).

Se aplicó un experimento completamente al azar con un arreglo factorial (2A × 2B × 3C), considerando las variedades de albahaca (Napoletano y Emily) como factor A, los niveles de NaCl (0 y 75 mM) como factor B y las dinamizaciones homeopáticas de *Natrum muriaticum* (NM 7CH, 13CH y agua destilada sin tratamiento control) como Factor C, con un total de 12 tratamientos con cuatro repeticiones cada tratamiento.

La aplicación de los tratamientos de NaM comenzó el séptimo día posterior al trasplante y después de un período de aclimatación inicial, asperjando la parte aérea de las plantas con 150 ml por planta cada dos días y con agua destilada solo las del tratamiento control. Una vez que las plantas estaban completamente establecidas (15 días), la aplicación de los tratamientos estresantes de salinidad se inició gradualmente para evitar el shock osmótico (Murillo-Amador *et al.*, 2007). La aplicación inicio con 25 mM de NaCl y aumentó hasta la concentración esperada (75 mM).

VARIABLES EVALUADAS: la tasa fotosintética (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) se midió con un Sistema de Fotosíntesis Portátil LCpro-SD (IRGA) que incluía una cámara de hoja ancha (ADC, Hoddesdon, Herts, UK) en una hoja completamente turgente y sana, en días completamente soleados (tres mediciones) durante la semana previa al corte y en el momento de mayor radiación solar. A los 45 días del trasplante, se procedió a cortar y evaluar la biomasa determinando el peso fresco de la parte aérea (PFPA) en una balanza analítica (Mettler Toledo[®], modelo AG204, USA).

Para obtener el peso seco de la parte aérea (PSPA), todo el material fresco de cada planta se colocó en bolsas de papel, que se introdujeron en una estufa de secado (Shel-Lab[®], modelo FX-5, serie-1000203, USA) a 70 ° C durante 72 h para su deshidratación total y luego se pesaron en una balanza analítica (Mettler Toledo[®], AG204, USA) expresando el valor del material vegetal seco en gramos. Análisis estadísticos: Se realizaron análisis de varianza y comparaciones múltiples (DSH de Tukey, $p \leq 0.05$) con el programa Statistica v. 10.0 para Windows (StatSoft, Inc, 2011).

Resultados y discusión

Los resultados revelaron diferencias significativas ($p = 0.005$) para la tasa fotosintética en la interacción variedades x concentración de salinidad (NaCl), corroborando el efecto negativo y estresante del NaCl en esta variable de respuesta. Se registró una disminución superior al 25% en esta variable para ambas variedades de albahaca cuando las plantas fueron sometidas a una mayor prueba de salinidad de 75 mM (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de la interacción variedades x NaCl en la tasa fotosintética de las plantas y la producción de biomasa de dos variedades de albahaca sometidas a estrés por salinidad.

Variedades	NaCl (mM)	A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	BFPA (g)	BSPA (g)
Napoletano	0	17.9 a	176.5 a	32.3 a
Napoletano	75	12.4 c	104.4 c	12.8 c
Emily	0	13.5 b	145.3 b	27.3 b
Emily	75	9.5 d	86.3 d	12.4 c
Nivel de significancia		**	*	*

A= tasa fotosintética; BFPA= biomasa fresca de la parte aérea; BSPA= biomasa seca de la parte aérea. Los valores medios con letras diferentes en la misma columna difieren estadísticamente (DSH de Tukey, $p = 0.05$). Nivel de significancia del Anova * = $p \leq 0.05$; ** = $p \leq 0.001$.

Reyes *et al.* (2017) obtuvieron resultados similares cuando las plantas de arroz (*Oryza sativa*) fueron sometidas a estrés con 100 mM de NaCl. Otros autores encontraron una disminución en la actividad fotosintética de la mostaza (*Sinapis alba*) durante el cultivo bajo estrés por salinidad (Jamil *et al.*, 2013). Ambos estudios coincidieron en que la disminución significativa de la actividad fotosintética en plantas sometidas a estrés por salinidad podría explicarse en función del

efecto osmótico asociado al cierre estomático; como consecuencia, mostró una disminución del CO₂ entrante a las células. No obstante, al analizar el efecto de la interacción variedades × NaM, se observó una respuesta diferencial con tendencia a aumentar la tasa fotosintética (A) cuando las plantas de albahaca fueron tratadas con el medicamento homeopático elicitor *Natrum muriaticum*.

Este resultado se obtuvo independientemente de la dinamización aplicada (NaM 7CH o NaM 13CH), pero la variedad Napoletano tratada con NaM 7CH registró el mayor aumento significativo ($p=0.008$) en la tasa fotosintética (Cuadro 2). Este resultado podría explicarse por la presencia de nanopartículas o nanoestructuras moleculares del ingrediente activo en el tratamiento de NaM 7CH en ultradiluciones (Mazón-Suástegui *et al.*, 2018a).

Cuadro 2. Efecto de la interacción variedades × NaM en la tasa fotosintética de las plantas y la producción de biomasa de dos variedades de albahaca.

Variedades	NaM	A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	BFPA (g)	BSPA (g)
Napoletano	0	11.3 c	118.1 d	22 b
Napoletano	7CH	19.8 a	165.8 a	24.5 a
Napoletano	13CH	14.4 b	137.3 b	21.1 b
Emily	0	8.6 d	100.2 e	17.8 c
Emily	7CH	14.4 b	129.2 c	24.9 a
Emily	13CH	11.6 c	117.9 d	16.8 c
Nivel de significancia		**	*	*

A= tasa fotosintética; BFPA= biomasa fresca de la parte aérea; BSPA= biomasa seca de la parte aérea. Los valores medios con diferentes letras en la misma columna difieren estadísticamente (DSH de Tukey, $p=0.05$). Nivel de significancia del Anova * = $p \leq 0.05$; ** = $p \leq 0.001$.

Los resultados obtenidos confirmaron un principio básico de homeopatía ‘La Ley de Los Similares’ citado por Mazón-Suástegui *et al.* (2018b y 2018c), porque la misma sustancia (NaCl) homeopática ultradiluida tuvo un efecto elicitor y atenuante favorable del estrés por salinidad, mismo que se indujo experimentalmente con una dosis masiva de sal marina. La sal marina está constituida principalmente por NaCl, pero también contiene oligoelementos, como el magnesio (Mg), que juegan un papel crucial en la formación de la molécula de clorofila, que es el centro de acción directa de la reacción luminosa durante la fotosíntesis (Mazón-Suástegui *et al.*, 2018a).

Para la variable BFPA, los resultados mostraron diferencias significativas al analizar la interacción variedades × NaCl ($p=0.05$), observando una disminución en ambos de más del 35% cuando se aplicaron 75 mM de NaCl (Cuadro 1). Esta respuesta fue determinada por el efecto de inhibición del NaCl en las plantas a nivel celular que causa toxicidad, lo que limita el correcto desarrollo metabólico, afectando también la división y elongación celular (Asghari y Ahmadvand, 2018). Otra explicación aplicable podría ser la disminución de la tasa fotosintética observada bajo salinidad (75 mM) ya que las plantas tienen menos acumulación de biomasa y menos producción orgánica cuando experimentan una disminución en la fotosíntesis (Reyes *et al.*, 2017; Sandoval *et al.*, 2010).

Al analizar la triple interacción de los factores de variedades × NaCl × NaM para la tasa fotosintética, se encontraron diferencias significativas ($p=0.01$), observando un aumento de la variable (A) en plantas tratadas con ambas dinamizaciones de *Natrum muriaticum*, ultradiluidas a partir de sal marina (NaM 7CH y NaM 13CH), incluso cuando fueron sometidas simultáneamente a estrés mediante la adición de NaCl (Figura 1).

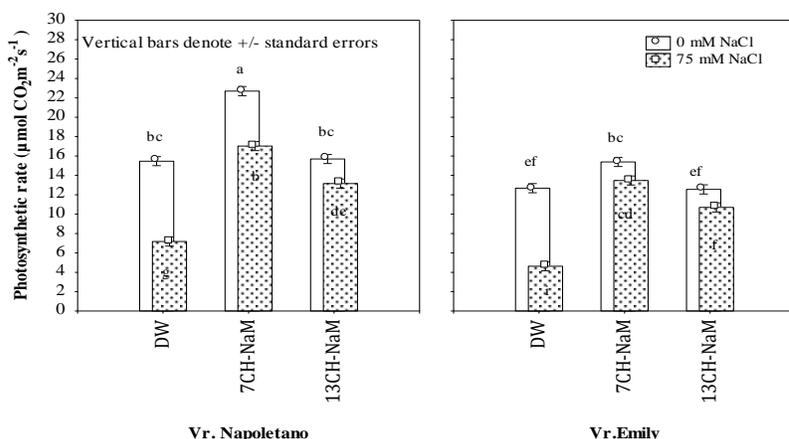


Figura 1. Efecto de la interacción variedades \times NaCl \times NaM en la tasa fotosintética de dos variedades de albahaca cultivadas en condiciones de estrés por salinidad. Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas ($p=0.05$).

Este resultado confirmó la hipótesis de que NaM provoca y atenúa el efecto del estrés por salinidad en las plantas de albahaca como se describió anteriormente. Estos resultados podrían estar determinados por la activación de los mecanismos fisiológicos intrínsecos de la planta para la autodefensa cuando se enfrenta a condiciones de salinidad estresantes, ya sea como respuesta directa a las nanopartículas de sal marina o indirectamente ante la presencia de nanoagregados moleculares que desencadenan una serie de mecanismos de señalización en cascada que propician una respuesta positiva en los organismos tratados, citado por Chikramane *et al.* (2010); García (2018); Mazón-Suástegui *et al.* (2018a); Mazón-Suástegui *et al.* (2020a y 2020b); Rodríguez-Álvarez *et al.* (2020) y cuya transducción permite activar mecanismos que aún requieren más estudios, como las sustancias osmoprotectoras en las plantas (Batista-Sánchez *et al.*, 2017).

Al analizar la interacción variedades \times NaM, se observaron diferencias significativas ($p=0.048$) para BFPA, independientemente de la dinamización homeopática aplicada. Ambas variedades de albahaca registraron un aumento de esta variable en plantas tratadas con NaM 7CH y NaM 13CH, aunque la mejor respuesta correspondió a Napoletano con aplicación de NaM 7CH (Cuadro 2).

Este resultado podría explicarse porque esta variedad tiene la característica de una mayor tolerancia a la salinidad causada por el NaCl, ya que estudios previos de Batista-Sánchez *et al.* (2017) reportaron resultados similares al estudiar la interacción de los bioestimulantes naturales (FitoMas-E) en la germinación inicial de las plantas y el crecimiento de la albahaca sometida a diferentes concentraciones de NaCl. Este estudio confirma que la variedad Napoletano responde más fácilmente a los efectos negativos del estrés salino por NaCl, lo que puede estar determinado por su información genética, que garantiza un crecimiento más rápido de sus diferentes órganos, incluso en condiciones desfavorables.

La triple interacción variedades \times NaCl \times NaM mostró diferencias significativas ($p=0.05$) para la variable de respuesta BFPA, que aumentó en ambas variedades de albahaca con la aplicación de NaM incluso cuando se encontraban simultáneamente en condiciones de estrés por salinidad (Figura 2). Este resultado confirmó la hipótesis de que el tratamiento con NaM tenía propiedades para mitigar el estrés por salinidad en plantas ya estresadas por la adición experimental de NaCl, lo que ya se discutió anteriormente.

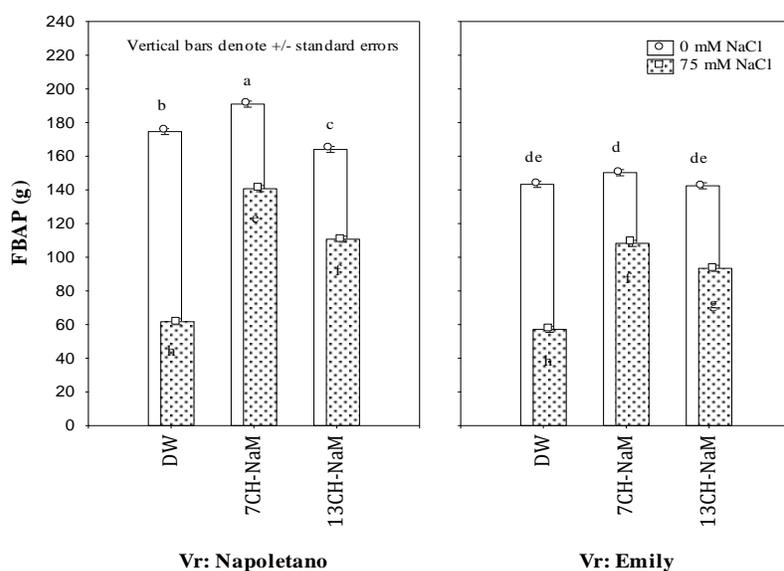


Figura 2. Efecto de la interacción variedades \times NaCl \times NaM en la biomasa fresca de la parte aérea de las dos variedades de albahaca cultivadas en condiciones de estrés por salinidad. Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas ($p=0.05$).

Los resultados de este estudio concuerdan con los encontrados por Giardini *et al.* (2012) al estudiar el efecto atenuante del estrés por salinidad de *Natrum muriaticum* (NaM) en tomate (*Solanum lycopersicom*), lo que también podría justificarse por la presencia de oligoelementos, como magnesio biodisponible, cloruro de potasio, hierro y calcio en cantidades traza, probablemente como nanopartículas o nanoagregados moleculares, citado por Mazón-Suástegui *et al.* (2018a) de estos elementos químicos y compuestos que constituyen el ingrediente activo original del medicamento homeopático oficial *Natrum muriaticum* 6CH y 12 CH (Similia[®] CDMX, México).

Por último, conviene destacar que estos oligoelementos, incluso a dosis mínimas, aunque medibles ponderables, juegan un papel importante en el desarrollo, crecimiento y productividad del tejido vegetal (Jeyasubramanian *et al.*, 2016). La BSPA fue significativa ($p=0.04$) para las interacciones variedades \times NaCl, con una disminución de esta variable en ambas plantas de albahaca estresadas con 75 mM de NaCl (Cuadro 1). El estrés por salinidad es uno de los factores esenciales que afectan la división y diferenciación celular en las plantas, que tienen como consecuencia menor producción y acumulación de biomasa, producto de la toxicidad de Na que favorece un desequilibrio nutricional y genera afectaciones directas al proceso fotosintético (Rahneshan *et al.*, 2018).

De acuerdo con el resultado producido por el análisis de la interacción variedades \times NaM, se observaron diferencias significativas ($p=0.05$), notando aumento de BSPA con respecto al control cuando se aplicó NaM 7CH (Cuadro 2). Por el contrario, no hubo diferencias significativas en esta variable para el tratamiento NaM 13CH con respecto al tratamiento control. En este caso, se podría argumentar que la dinamización 7CH contenía cantidades medibles del ingrediente activo original (sal marina) porque el factor de dilución aplicado (siete diluciones en serie 1:99) se encontraba debajo del límite establecido por el número de Avogadro, mientras que la dinamización 13CH se encontraba justo por encima de ese límite. Sin embargo, se ha comprobado que las especies marinas, como moluscos, camarones y peces obtienen beneficios medibles con la aplicación de

medicamentos homeopáticos ultradiluidos más allá del límite de Avogadro (dilución en serie equivalente a 1×10^{-23}). Esto se explica en función de los nanoagregados moleculares que activan los mecanismos de respuesta en los individuos tratados (Mazón-Suástegui *et al.*, 2017; 2018 a, b y c; Ortiz *et al.*, 2017; Rosero, 2017; García, 2018; Mazón-Suástegui *et al.*, 2020a y 2020b).

Al analizar la triple interacción variedades \times NaCl \times NaM para BSPA, los resultados mostraron diferencias significativas ($p= 0.041$), de las cuales la que destacó fue un aumento de esta variable de respuesta en plantas cultivadas en condiciones de salinidad y tratadas con NaM (Figura 3). Este hallazgo fue positivo por las sustancias ultradiluidas de NaM para activar los mecanismos de defensa de las plantas de albahaca que enfrentan estrés temprano por NaCl debido a la presencia de nanopartículas o nanoagregados moleculares contenidos en las dinamizaciones homeopáticas; estas partículas fueron capaces de activar señales a nivel celular que identificaron condiciones de estrés y activaron mecanismos de defensa y adaptación que aún deben ser estudiados más a fondo.

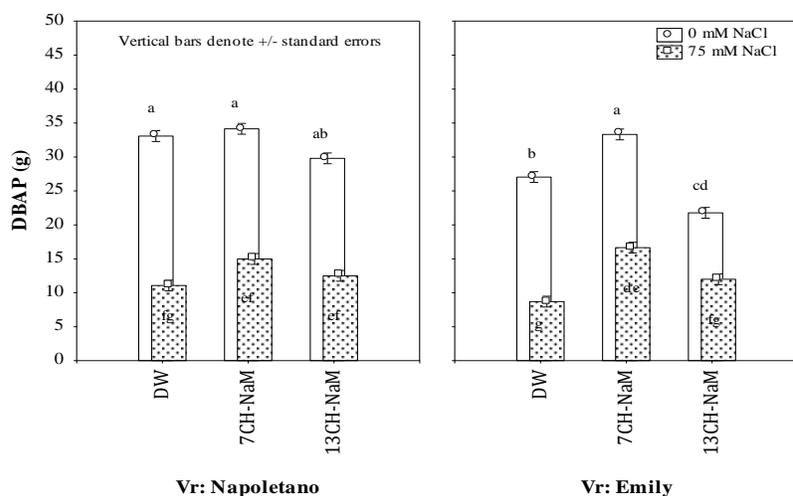


Figura 3. Efecto de las interacciones variedades \times NaCl \times NaM en la biomasa seca de la parte aérea de dos variedades de albahaca cultivadas bajo estrés por salinidad. Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas ($p= 0.05$).

En este sentido, autores como Zhu (2002) sugirieron que las plantas podían identificar y percibir señales referidas al estrés, mismas que eran transducidas en las células y transmitidas, desencadenando una cascada de respuestas bioquímicas, fisiológicas y genéticas que permitían a la planta adaptarse a condiciones desfavorables o claramente estresantes en el entorno circundante. Esta respuesta adaptativa es posible cuando el cambio en tales condiciones es gradual, lo que depende de la especie y agente que modula la señal, pero siempre enfocado a mantener un equilibrio u homeostasis interna del individuo con respecto a las condiciones ambientales.

Conclusiones

La albahaca (*Ocimum basilicum* L. variedades Napoletano y Emily) en cultivo hidropónico sometido a estrés por salinidad mediante la adición de cloruro de sodio (NaCl), mostró una respuesta fisiológica diferencial para las diferentes variables de respuesta evaluadas, como la tasa fotosintética y la productividad en términos de biomasa vegetal fresca y seca de la parte aérea. Esta respuesta favorable también fue diferencial con respecto a la aplicación de dinamizaciones

centesimales (7 CH y 13 CH) del medicamento homeopático *Natrum muriaticum* (NaM) para uso humano. En general, la aplicación de NaM 7 CH favoreció los resultados y los valores más altos en las variables de respuesta en condiciones de alta salinidad (75 mM). Este nanomedicamento homeopático mitigó los efectos negativos del estrés por salinidad inducido con NaCl en ambas variedades (Napoletano y Emily) de albahaca (*Ocimum basilicum* L.), pero la mayor respuesta con respecto al tratamiento control se obtuvo con NaM 7CH en la variedad Napoletano.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por CONACYT-F0033 [Programas Nacionales Estratégicos de Ciencia, Tecnología y Vinculación con los Sectores Social, Público y Privado] en México, proyecto de Ciencias Básicas 258282 [Evaluación experimental de homeopatía y nuevos probióticos en el cultivo de moluscos, crustáceos y peces de interés comercial], bajo la responsabilidad académica de JMMS. Los autores agradecen el apoyo de los Gobiernos de Cuba y México y del personal técnico del CIBNOR: Lidia Hiraes, Pedro Luna, Delfino Barajas y Pablo Ormart. Todos los autores contribuyeron en el desarrollo de la investigación y declaran que no hay conflictos de intereses. Diana Fischer prestó servicios editoriales en inglés.

Literatura citada

- Abasolo, P. F.; Ojeda, S. C. M.; García, G. V.; Melgar, V. C.; Nuñez, C. K. y Mazón, S. J. M. 2020. Efecto de medicamentos homeopáticos durante la etapa inicial y desarrollo vegetativo de plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). México. Terra Latinoam. 38(1):165-180. Doi:10.28940/terra.v38i1.666.
- Abbas, G.; Saqib, M.; Akhtar, J. and Haq, M. A. U. 2015. Interactive effects of salinity and iron deficiency on different rice genotypes. J. Plant Nutr. Soil Sci. 178(2):306-311.
- Asghari, R. and Ahmadvand, R. 2018. Salinity stress and its impact on morpho-physiological characteristics of Aloe Vera. Malaysia. Pertanika J. Trop. Agric. Sci. 41(1):411-421.
- Batista, S. D.; Murillo, A. B.; Nieto, G. A.; Alcaraz, M. L.; Troyo, D. E.; Hernández, M. L. and Ojeda, S. C. M. 2017. Mitigación de NaCl por efecto de un bioestimulante en la germinación de *Ocimum basilicum* L. México. Terra Latinoam. 35(4):309-320.
- Batista, S. D.; Nieto, G. A.; Alcaraz, M. L.; Troyo, D. E.; Hernández, M. L.; Ojeda, S. C. M. and Murillo, A. B. 2015. Uso del FitoMas-E® como atenuante del estrés salino (NaCl) durante la emergencia y crecimiento inicial de *Ocimum basilicum* L. México. Nova Scientia. 15(7):266-284.
- Batista, S. D.; Murillo, A. B.; Ojeda, S. C. M.; Mazón, S. J. M.; Preciado, R. P.; Ruiz, E. F. H. y Agüero, F. Y. M. 2022. Inducción de un bioestimulante y su respuesta en la actividad bioquímica de *Ocimum basilicum* L. sometida a salinidad. México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 9(2):3185-3191. Doi: 10.19136/era.a9n2.3185.
- Calvo, P.; Nelson, L. and Kloepper, J. W. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. Netherlands. Plant and Soil. 383(1):3-41. Doi: 10.1007/s11104-014-2131-8.
- Chikramane, P. S.; Suresh, A. K.; Bellare, J. R. and Kane, S. G. 2010. Extreme homeopathic dilutions retain starting materials: A nanoparticulate perspective. Reino Unido. Homeopathy. 99(4):231-242. Doi:10.1016/j.homp.2010.05.006.
- García-Bernal, M. R.; Ojeda, S. C. M.; Batista, S. D.; Abasolo, P. F. y Mazón, S. J. M. 2020. Respuesta del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Quivicán a la aplicación de medicamentos homeopáticos. México. Terra Latinoam. 38(1):137-147. Doi:10.28940/terra.v38i1.583.

- García, J. L. 2018. Análisis fisiológico y transcriptómico del efecto de medicamentos homeopáticos en la maduración gonádica del mejillón café *Modiolus capax*. México. Tesis. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC. 165 p.
- García, S.; Gómez, F. C.; Trejo, L. I. and Herrera, E. B. 2013. Factores de transcripción involucrados en respuestas moleculares de las plantas al estrés osmótico. México. Rev. Fitotec. Mex. 36(2):105-15.
- Giardini, F. P.; Días, V.W. and Ronie, E. 2012. Germinação e vigor de sementes de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) peletizadas com preparados homeopáticos de *Natrum muriaticum*, submetidas a estresse salino. Brasil. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer-Goiânia. 8(14):625-633.
- Hessini, K.; Ferchichi, S.; Ben, S.; Werner, K. H.; Cruz, C. and Gandour, M. 2015. How does salinity duration affect growth and productivity of cultivated barley? Agron. J. 107(1):174-180.
- Jamil, M. and Rha, E. S. 2013. NaCl Stress-Induced Reduction in Growth, Photosynthesis and Protein in Mustard. J. Agric. Sci. 5(9):114-127. Doi: 10.5539/jas.v5n9p114.
- Jeyasubramanian, K.; Thoppey, U. U. G.; Hikku, G. S.; Selvakumar, N.; Subramania, A. and Krishnamoorthy, K. 2016. Enhancement in growth rate and productivity of spinach grown in hydroponics with iron oxide nanoparticles. RSC Advances. 6(19):15451-15459.
- Kandil, A. A.; Shareif, A. E. and Gad, M. A. 2017. Effect of salinity on germination and seeding parameters of forage cowpea seed. Res. J. Seed Sci. 10(1):17-26.
- Khalig, S.; Vllah, Z.; Athar, H. and Khal, R. 2014. Physiological and biochemical basis of salt tolerance in *Ocimum basilicum* L. J. Medicinal Plants Studies. 2(1):18-27.
- Martínez, E. C. N.; Toro, H. A.; Guevara, J. A. L. e Ibarra, T. B. 2014. Evaluación de soluciones homeopáticas para controlar neoleucinodes elegantalis guenéé (Lepidóptera: crambidae) en cultivo de lulo. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA. 12(1):115-123.
- Mazón, S. J. M.; García, B. M. R.; Saucedo, P. E.; Campa, C. Á. and Abasolo, P. F. 2017. Homeopathy outperforms antibiotics treatment in juvenile scallop *Argopecten ventricosus*: effects on growth, survival, and immune response. Reino Unido. Homeopathy. 106(1):18-26. Doi.org/10.1016/j.homp.2016.12.002.
- Mazón, S. J. M.; Murillo, A. B.; Batista, S. D.; Agüero, F. Y.; García, B. M. R. and Ojeda, S. C. M. 2018a. *Natrum muriaticum* as an attenuant of NaCl-salinity in basil (*Ocimum basilicum* L.). México. Nova Scientia. 10(21):148-164. Doi:10.21640/ns.v10i21.1423.
- Mazón, S. J. M.; Tovar, R. D.; Leiva, J. S.; Arcos, F.; Garcia, B. M. R.; Avilés, Q. M. A.; Carvallo, J. A.; Corona, J. L.; García, L. E.; Cornejo, N. L. and Teles, A. 2018b. Aquacultural homeopathy: a focus on marine species. Reino Unido, London. IntechOpen. 4:67-91. Doi.org/10.5772/intechopen.78030.
- Mazón, S. J. M.; García, B. M. R.; Avilés, Q. M. A.; Campa, C. A.; Salas, J. y Abasolo, P. F. 2018c. Evaluación de medicamentos homeopáticos en la supervivencia y respuesta antioxidante del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* infectado con *Vibrio parahaemolyticus*. Revista MVZ Córdoba. 23(3):6850-6859.
- Mazón, S. J. M.; Ojeda, S. C. M.; García, B. M. R.; Batista, S. D. y Abasolo, P. F. 2020a. La Homeopatía incrementa la tolerancia al estrés por NaCl en plantas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Quivicán. México. Terra Latinoam. 38(1):149-163. Doi:10.28940/terra.v38i1.584.
- Mazón, S. J. M.; Ojeda, S. C. M.; Agüero, F. Y. M.; Batista, S. D.; García, B. M. R. y Abasolo, P. F. 2020b. Efecto de medicamentos homeopáticos en la germinación y crecimiento inicial de *Salicornia bigelovii* (Torr.). México. Terra Latinoam. 38(1):113-124. Doi:10.28940/terra.v38i1.580.

- Meneses, M. N. 2017. Agrohomeopatía como alternativa a los agroquímicos. *Rev. Médica de Homeopatía*. 10(1):9-13.
- Modolon, T. A.; Pietrowski, V.; Alves, I. F. A.; Guimarães, A. T. B. and Pizzato, M. 2016. Efeito de dinâmizações seqüenciais do preparado homeopático *Nux vomica* no desenvolvimento inicial de plantas de milho submetido ao percevejo barriga-verde *Dichelops melacanthus* Dallas (Heteroptera: Pentatomidae). *Cuadernos de Agroecología*.
- Murillo, A. B.; Yamada, S.; Yamaguchi, T.; Rueda, P. E.; Ávila, N.; García, J. L.; López, R.; Troyo, D. E. and Nieto, G. A. 2007. Influence of calcium silicate on growth, physiological parameters and mineral nutrition in two legume species under salt stress. *J. Agron. Crop Sci.* 193:413-421. Doi:10.1111/j.1439-037X.2007.00273.x.
- Nieto, G. A.; Murillo, A. B.; Troyo, D. E.; Reyes, P. J. J.; Hernández, M. L. G. y Yescas, P. 2016. Estrategias fisiológicas de cultivares de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) bajo agricultura protegida. México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc. Pub. Esp.* 17:3477-3490.
- Ojeda, S. C. M.; Nieto, G. A.; Reynaldo, E. I. M.; Troyo, D. E.; Ruiz, E. F. H. y Murillo, A. B. 2013. Tolerancia al estrés hídrico en variedades de albahaca *Ocimum basilicum* L. México. *Terra Latinoam.* 31(2):145-154.
- Ojeda, S. C. M.; Murillo, A. B.; Nieto, G. A.; Troyo, D. E.; Reynaldo, E. M. I.; Ruíz, E. F. H. y García, H. J. L. 2015. Emergencia y crecimiento de plántulas de variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) sometidas a estrés hídrico. México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios.* 2(5):151-160.
- Ono, E. O.; Rodrigues, J. D.; Barreiro, A. P. and Marques, M. O. M. 2011. Yield and composition of the essential oil of basil on plant growth regulators application. *J. Essential Oil Res.* 23(1):17-22. Doi:10.1080/10412905.2011.9700425.
- Ortiz, N. L.; Tovar, D.; Abasolo, F. y Mazón, J. M. 2017. Homeopatía, una alternativa para la acuicultura. *Rev. Med. Homeopat.* 10(1):18-24.
- Rahnesan, Z.; Nasibi, F. and Moghadam, A. A. 2018. Effects of salinity stress on some growth, physiological, biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. *J. Plant Interactions.* 13(1):73-82.
- Reyes, Y.; Martínez, L.; 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. Cuba. *Cultivos Tropicales.* 38(3):44-54.
- Rodríguez, M.; Morales, N.; Batista, D.; y Mazón, J. M. 2020. *Natrum muriaticum* atenúa el estrés por NaCl en *Capsicum annuum* L. var *Glabriusculum*. México. *Terra Latinoam.* 38(1):197-216. Doi:10.28940/terra.v38i1.677.
- Rosero, A. P. 2017. Evaluación de fármacos homeopáticos sobre el estado fisiológico de salud y nutrición en juveniles de pargo lunarejo *Lutjanus guttatus*. Tesis. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional. México, DF.
- Samperio, R. G. 1997. Hidroponía básica. Ed. Diana. 176 p.
- Sandoval, F. S.; Arreola, J. G.; Lagarda, Á.; Trejo, R.; Esquivel, O. y García, G. 2010. Efecto de niveles de NaCl sobre fotosíntesis y conductancia estomática en nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangh.) K. Koch). *Rev. Chapingo Ser. Zonas Áridas.*
- SIAP. 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- StatSoft Inc. 2011. Statistica. System reference. Inc. Tulsa, OK, USA.
- Zhu, J. K. 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual Review in Plant Biology.* 53:247-273.