



RESPUESTA DE *Origanum vulgare* L. AL ESTRÉS POR NaCl †

[RESPONSE OF *Origanum vulgare* L. TO NaCl-STRESS]

Gregorio Lucero-Vega¹, Beatriz Andrea-Valdez Caro²,
Luis Guillermo Hernández-Montiel³, Tomás Rivas-García⁴
and Bernardo Murillo-Amador^{3*}

¹ Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al sur km. 5.5. La Paz, Baja California Sur, México.

² Instituto Tecnológico de Los Mochis. Boulevard Juan de Dios Bátiz y 20 de Noviembre. Los Mochis, Sinaloa, México. C.P. 81259.

³ 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. Tel. +52-612-123-84-84 Ext. 3440. E-mail:bmurillo04@cibnor.mx

⁴ Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5, C.P. 56230 Texcoco, México.

*Corresponding author

SUMMARY

Background. One of the classic land degradation problems that man has had to face is controlling, preventing, or improving soils affected by salinity. **Objective.** The objective of this study was to evaluate the physiological and morphometric response of *Origanum vulgare* L. plants subjected to five concentrations of NaCl (0, 50, 100, 150 and 200 mM NaCl). **Methodology.** The experiment was established in a completely randomized design with five treatments based on different concentrations of NaCl (0, 50, 100, 150 and 200 mM) with four replications per treatment. Each repetition consisted of 14 plants. The variables evaluated were fresh and dry weight of leaves, leaf area, fresh and dry weight of stem, stem length, fresh and dry weight, and root length, chlorophyll content a and b, relative water content and water potential. **Results.** The results showed that the fresh and dry weight of leaves, stem and root, foliar area, as well as the length of stem and root showed significant differences between treatments, they decreased as NaCl concentrations increased in the culture medium, as did the chlorophyll content "a and b". It is concluded that oregano plants have the capacity to absorb Na from the culture medium in 50, 100 and 150 mM of NaCl. **Implications.** The study makes the possibility to determine the tolerance of oregano to salinity, by subjecting the plants to different concentrations of NaCl and assessing whether it has the capacity to absorb Na⁺ from the culture medium. The study shows that it is possible to grow oregano in floating root hydroponic conditions, considering the advantages that this system offers, such as saving water and nutrients, being possible to obtain adequate yield using water of moderate salinity (50 mM NaCl) that represents an electrical conductivity of 5.8 dS m⁻¹. **Conclusions.** All variables decreased as NaCl concentrations increased in the culture medium. Oregano showed the ability to absorb Na⁺ from the culture medium in 50, 100 and 150 mM NaCl.

Key words: aromatic herbs; nutritive solution; water potential.

RESUMEN

Antecedentes. Uno de los problemas clásicos de degradación de la tierra que ha tenido que enfrentar el hombre, es controlar, prevenir o mejorar los suelos afectados por la salinidad. **Objetivo.** El objetivo de esta investigación fue evaluar la respuesta fisiológica y morfométrica de plantas de *Origanum vulgare* L. sometidas a cinco concentraciones de NaCl (0, 50, 100, 150 y 200 mM). **Metodología.** El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con cinco tratamientos a base de diferentes concentraciones de NaCl (0, 50, 100, 150 y 200 mM) con cuatro repeticiones por tratamiento. Cada repetición estuvo conformada con 14 plantas. Las variables evaluadas fueron peso fresco y seco de hojas, área foliar, peso fresco y seco de tallo, longitud de tallo, peso fresco y seco y longitud de raíz, el contenido de clorofila a y b, contenido relativo de agua y el potencial hídrico. **Resultados.** Los resultados mostraron que el peso fresco y seco de hojas, tallo y raíz, área foliar, así como la longitud de tallo y raíz presentaron diferencias significativas entre tratamientos, disminuyendo conforme las concentraciones de NaCl se incrementaron, al igual que

† Submitted September 16, 2021 – Accepted January 19, 2022. <http://doi.org/10.56369/tsaes.3975>



el contenido de clorofila a, b, contenido relativo de agua y el potencial hídrico fue más negativo conforme la concentración de NaCl se incrementó. **Implicaciones.** El estudio permite determinar la tolerancia de orégano a la salinidad, al someter las plantas a diferentes concentraciones de NaCl y valorar si tiene capacidad de absorber Na^+ del medio de cultivo. Asimismo, muestra que es posible cultivar orégano en condiciones de hidroponía en raíz flotante, considerando todas las ventajas que este sistema ofrece, como ahorro de agua y nutrientes, siendo posible obtener rendimiento adecuado utilizando agua de salinidad moderada (50 mM de NaCl) que representa una conductividad eléctrica de $5.8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. **Conclusiones.** Todas las variables disminuyeron conforme las concentraciones de NaCl se incrementaron en el medio de cultivo. El orégano mostró capacidad de absorber el Na^+ del medio de cultivo en 50, 100 y 150 mM de NaCl.

Palabras clave: hierbas aromáticas; potencial hídrico; solución nutritiva.

INTRODUCCIÓN

Las plantas aromáticas son aquellas cuyos principios activos están conformados total o parcialmente por esencias. Este tipo de plantas son un grupo diverso de especies botánicas cada una de ellas con características biológicas propias y una adaptación diferenciada a las condiciones de clima y suelo. En los últimos años, la demanda de estas especies está experimentando un aumento constante (Fanlo *et al.* 2009; Zaccardelli *et al.* 2021). El orégano es una de las especies aromáticas más importantes en el mundo, destacada por sus usos en la alimentación y elaboración de medicamentos, licores y cosméticos (Juárez-Rosete *et al.*, 2019). En el periodo 2015-2019, en México, la producción de orégano se ha mantenido con un promedio de 154 toneladas por año, cuya producción mayor se presenta en el Estado de Baja California Sur, seguido de Chihuahua y Estado de México (SADER-SIAP 2021). La demanda alta de orégano, tanto en el mercado nacional como el internacional y la dependencia de poblaciones silvestres para satisfacerla, ha obligado a los pobladores de las zonas áridas y semiáridas a explotar este recurso. El manejo que se ha venido haciendo en la recolección del orégano (*Origanum vulgare* L.) hace que se plantee como una alternativa de cultivo para regiones áridas o con problema de agua, donde no exista el riesgo de sobreexplotar el resto de los recursos naturales (Anaya *et al.* 2017; SEMARNAT 2009). Sin embargo, la salinidad en el suelo o en el agua para riego, es una limitante para lograr cultivos exitosos. En los suelos afectados por salinidad, la planta requiere de más energía para absorber agua y nutrientes del suelo, por ello llega al punto de marchitez más rápido e impide el crecimiento de la misma (Jiaping y Wenjuan 2021).

El género *Origanum* pertenece a la familia Lamiaceae, que agrupa 38 especies, la mayoría son plantas aromáticas muy utilizadas debido a su contenido de aceites esenciales, además de sus propiedades antisépticas y antimicrobianas. En la actualidad el orégano es muy buscado y apreciado debido a sus innumerables usos tanto culinarios como medicinales (Milevskaya *et al.* 2019; Morales-Valverde, 1999). El nombre común de orégano se aplica a 40 especies de

plantas herbáceas pertenecientes a cuatro familias botánicas. Las plantas de las diferentes familias de orégano mexicano se encuentran en estado silvestre, en regiones áridas y semiáridas del país (Nieto-Garibay *et al.* 2013). Sus principales hábitats se ubican en suelos generalmente pedregosos de cerros, laderas y cañadas entre los 400 y 2,000 metros de altitud, aunque se encuentran en mayor abundancia entre los 1,400 y 1,800 metros de altitud (Aguilar-Murillo *et al.* 2013). En la actualidad, el uso de plantas tolerantes a la salinidad puede ser una alternativa viable para enfrentar la problemática del aumento de suelos salinos en el mundo (Dong *et al.* 2021).

El estrés por salinidad en plantas disminuye su potencial de crecimiento y por ende su biomasa. En esta condición, el crecimiento de hojas, tallos raíces y frutos es inferior, lo cual se representa en una disminución del rendimiento, ocasionando también la disminución de la clorofila, azúcares solubles y proteínas solubles (Mohamed *et al.*, 2021; Maman *et al.*, 2021). La alta salinidad provoca estrés osmótico en las células; en esta condición, la planta presenta dificultad para absorber agua y nutrientes de la solución del suelo o solución nutritiva, porque la raíz tiene que incrementar los solutos en sus células para superar la cantidad de solutos o sales principalmente NaCl que se encuentran en la solución en contacto con la raíz. En general, el estrés por salinidad afecta la morfología, también los procesos fisiológicos y bioquímicos de la planta (Bahaa *et al.*, 2019; Himani *et al.*, 2021). Bajo las premisas anteriores, el objetivo de esta investigación fue evaluar la respuesta de plantas de orégano (*Origanum vulgare* L.) sometidas a diferentes concentraciones de NaCl.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se realizó en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) dentro de una estructura de casa de malla (malla antiáfidos tipo cristal 18 % de sombreo, 50 mesh) debajo de esta se colocó otra malla (color negro, 35 % de sombreo). El CIBNOR está ubicado en la

porción meridional de la península de Baja California Sur, a los 24° 08' latitud norte y 110° 24' longitud oeste, a 7 metros sobre el nivel del mar y 17 a km al oeste de La Paz, Baja California Sur, México. El sitio experimental tiene un clima del tipo Bw (h') hw (e) considerado como semiárido. Los datos climatológicos se registraron durante las 24 horas del día y durante todo el periodo del experimento dentro de la casa de malla utilizando una estación climatológica portátil (Vantage Pro2® Davis Instruments, Davis, California, USA). Los valores promedio, máximo y mínimo de la temperatura fueron, 28, 45.70 y 12.30 °C, respectivamente; la humedad relativa promedio fue de 67.00%, la precipitación total fue de 18.40 mm; la intensidad de la radiación solar promedio fue de 344.16 watts m⁻².

Preparación de contenedores hidropónicos

Las macetas se colocaron en una placa de poliestireno de alta densidad (Foamular® 250 de 2.54 cm de espesor, modelo CAN24P3/0E, Owens Corning, Corning, New York, USA) a la cual se le realizaron orificios, de tal manera que permitiera insertar alrededor de 1/4 de la maceta en esa placa. Se colocaron 15 macetas por placa. Posteriormente, la placa se colocó dentro de cajas de plástico cerradas modelo Mérida (Novatec Pagani®, Culiacán, Sinaloa, México), color verde, con capacidad aproximada de 50 L.

Material vegetal y condiciones de crecimiento

Las plantas de orégano se obtuvieron mediante reproducción por esquejes, los cuales eran tallos lignificados con 8 meses a un año, diámetro de 2.5 a 3 mm. Los esquejes se cortaron a 10 cm de longitud y se les retiraron la mayoría de las hojas, dejando solo dos hojas maduras en la parte superior de cada esqueje, con el propósito de evitar su deshidratación. El enraizamiento de los esquejes se obtuvo al colocarlos en charolas de poliestireno de 200 cavidades, con un sustrato comercial inerte (Sogemix PM®, Rivière-Ouelle, Quebec, Canadá), el cual contiene turba de Sphagnum Canadiense (65-75 % vol⁻¹), vermiculita, cal dolomítica y calcítica y un agente humectante.

Las plantas se colocaron en macetas del número 5 (volumen aproximado de 150 mL) las cuales contenían vermiculita, cuyo contenido químico expresado en porcentaje, según el fabricante es de 37-45 de SiO₂, 16-30 de MgO, 11-15 de Al₂O₃, 5-15 de Fe₂O₃, 3-6 de K₂O, 0.5-1 de CaO, 0.5-1 de TiO₂, 0.5-1 de Na₂O, 0.01-0.3 de MnO y 0.01-0.3 de Cr₂O₃. En cada maceta se colocó una planta, previo al llenado de la maceta con el sustrato, se colocó dentro de la misma, una tira de tela absorbente (Magitel®, Ciudad

de México, México) la cual permitió que, a través de esta, el agua ascendiera por capilaridad hacia el sustrato, manteniéndolo siempre húmedo en tanto las plantas elongaran sus raíces y éstas entraron en contacto con la solución nutritiva. Este sistema de producción se conoce como hidroponía en raíz flotante y durante el periodo experimental fue necesario el aporte constante de oxígeno, lo cual se logró con un sistema de aire presurizado conectado a cada caja por medio de dos microtubos de 8 mm de grosor, esto para asegurar que la concentración de oxígeno en la solución nutritiva permaneciera de 8 a 9 partes por millón.

Manejo del experimento

El contenedor de plástico modelo Mérida se aforó a 35 L. La conductividad eléctrica del agua fue de 196.6 µS m⁻¹ misma que se obtuvo de la planta desalinizadora ubicada en el campo experimental del CIBNOR. Se utilizó una solución nutritiva basada en 106.6 ppm de N (NO₃), 14.5 ppm de N (NH₄), 30 ppm de P, 100 ppm de K, 85 ppm de Ca, 48 ppm de Mg, 50 ppm de S, 2.40 ppm de Fe, 0.70 ppm de Mn, 0.10 ppm de Zn, 0.40 ppm de B, 0.02 ppm de Cu y 0.01 ppm de Mo. La solución nutritiva se acondicionó añadiendo al agua (g L⁻¹) nitrato de amonio (0.0435), nitrato de calcio tetrahidratado (0.5325), fosfato mono amónico (0.0577), nitrato de magnesio (0.0716), nitrato de potasio (0.2174), sulfato de magnesio heptahidratado (0.3705), sulfato de zinc heptahidratado (0.4400), ácido bórico (2.2900), sulfato de manganeso tetrahidratado (2.8450), sulfato ferroso heptahidratado (11.9500), sulfato de cobre pentahidratado (0.0786) y molibdato de sodio dihidratado (0.0253).

Diseño experimental

El experimento se estableció en un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos salinos a base de diferentes concentraciones de NaCl (0, 50, 100, 150 y 200 mM de NaCl) con cuatro repeticiones por tratamiento. Cada repetición consistió en 14 plantas, es decir, 56 plantas por tratamiento para un total de 280 plantas o unidades experimentales.

Aplicación de NaCl

La aplicación del NaCl se inició después de dos semanas de adaptación de las plántulas al medio de cultivo, aplicando el NaCl de manera gradual con incrementos de 50 mM de NaCl cada dos días con el fin de evitar un shock osmótico en las plantas, acorde con la metodología propuesta por Murillo-Amador *et al.* (2007). El pH de la solución con los tratamientos salinos y los nutrientes se midieron diariamente

manteniéndola a un valor de 5.0 a 6.0, adicionando hidróxido de potasio (KOH) para incrementarlo o ácido sulfúrico (H₂SO₄) para disminuirlo.

Cosechas

Las cosechas de hojas se realizaron en dos ocasiones durante el periodo de experimentación. Los cortes de las hojas/tallos se ejecutaron cuando estas alcanzaron el tamaño comercial (aproximadamente 15 cm de longitud), empleando una tijera de podar y evitando dañar los tallos más nuevos. La cosecha final consistió en tomar las 14 plantas por repetición/tratamiento (total 280 plantas) a las que se les evaluó peso fresco y seco de raíz, hoja y tallo.

Crecimiento

El peso fresco y seco de hoja, tallo y de raíz (g) y la longitud de tallo y raíz (cm) se cuantificó en cada planta. Posteriormente se midió el área foliar (cm²) mediante un integrador de área foliar (Li-Cor, modelo LI-3000A, serie PAM 1701, Lincoln, Nebraska, USA). La longitud de tallo y raíz se determinó utilizando el programa de cómputo WinFolia® (Regent Instruments Inc., Quebec, Canadá) acoplado a un escáner (Epson® Expression 11000XL Pro, Los Alamitos, California, USA). Para determinar peso fresco y seco de raíz, hoja y tallo se utilizó una balanza analítica (Mettler® Toledo, modelo AG204, Columbus, Ohio, USA). El peso seco de raíz, hoja y tallo en las cosechas se obtuvo al colocar los tejidos frescos en bolsas de papel e introduciéndolas en una estufa de circulación de aire forzado (Shel-Lab®, modelo FX-5, serie-1000203, Cornelius, Oregon, USA) a una temperatura de 70 °C, hasta obtener su deshidratación completa (aproximadamente 72 h). Al final del experimento, se cosecharon todas las plantas de cada tratamiento y también se dividieron en raíz, hoja y tallo.

Contenido de clorofila

Al iniciar el experimento se etiquetó una planta por tratamiento y repetición, a la cual se le realizaron evaluaciones semanales durante el periodo de experimentación. El contenido de clorofila a, b y total se realizó de la manera siguiente. Se seleccionaron tres hojas completamente maduras y expandidas de una planta por tratamiento y repetición. Las muestras de hojas se tomaron con un sacabocados metálico de 1.3 cm de diámetro. Las muestras de tejido vegetal se colocaron en una solución con acetona al 80 % en tubos de ensayo durante un periodo de 72 h. La absorbancia se midió con un espectrofotómetro con UV/Visible (PyeUnicam SP6-550®, Garforth, West Yorkshire, UK) y las concentraciones de clorofila se calcularon usando la ecuación propuesta por Strain y

Svec (1966).

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

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

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

Contenido relativo de agua

El contenido relativo de agua (CRA) se midió y calculó mediante el método de Yamasaki y Dillenburg (1999). Se utilizaron tres hojas de la planta previamente etiquetada; de cada hoja se obtuvo una muestra con un sacabocados de 1.3 cm de diámetro, a la cual se le cuantificó el peso fresco (PF). Para determinar el peso turgente (PT) las muestras de tejido vegetal se colocaron en agua destilada por un periodo de 24 h dentro de una caja Petri de plástico de 6.2 cm de diámetro y 1.5 cm de altura, con tapa. Las muestras de tejido se colocaron en cada caja Petri con tres repeticiones por tratamiento. Una vez que las muestras de tejido vegetal alcanzaron la turgencia máxima, se pesaron para obtener el peso turgente (PT) y posteriormente se colocaron en bolsas de papel y se introdujeron en una estufa de circulación de aire forzado (Shel-Lab®, modelo FX-5, serie-1000203, Cornelius, Oregon, USA) a una temperatura de 70 °C, hasta obtener su deshidratación completa (48 h), con el fin de obtener el peso seco (PS). Los pesos del material vegetal se obtuvieron utilizando una báscula analítica con precisión de 0.0001 g. Los valores de PF, PT y PS se utilizaron para calcular el CRA usando la ecuación siguiente. $\text{CRA (\%)} = [(\text{PF} - \text{PS}) / (\text{PT} - \text{PS})] \times 100$.

Potencial hídrico

El potencial hídrico se midió en muestras de tejido vegetal de la planta previamente etiquetada y utilizando un equipo de laboratorio de potencial de agua (hídrico) de suelos o muestras botánicas (hojas, tejidos, granos, semillas) (WP4-T®, Dewpoint PotentialMeter, Decagon Devices Inc., Pullman, Washington, USA). Este equipo funciona bajo el principio de punto de rocío, mediante sensores con espejo de condensación y temperatura infrarroja.

Contenido de sodio (Na⁺) en el medio de cultivo

El contenido de Na⁺ (ppm) en el medio de cultivo se determinó semanalmente durante el periodo de experimentación, utilizando equipos portátiles (Laquatwin-Horiba®, Irvine, California, USA). En total se tomaron 780 lecturas del contenido de Na⁺. La

conductividad eléctrica (CE, dS m^{-1}), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad (PSU) y los sólidos disueltos totales (SDT), se midieron diariamente en la solución con los tratamientos salinos y la solución nutritiva utilizando equipo multiparamétrico (Thermo Scientific Orion®, Waltham, Massachusetts, USA) para un total de 780 lecturas por cada variable. La CE, la PSU y los SDT se cuantificaron con el propósito de determinar de manera indirecta el contenido de Na^+ durante el periodo de experimentación.

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza acorde con el modelo de diseño experimental completamente al azar con una fuente de variación que consistió en cinco tratamientos salinos (variable independiente) a base de diferentes concentraciones de NaCl (0, 50, 100, 150 y 200 mM de NaCl) con cuatro repeticiones por tratamiento. Previo al análisis de varianza, se confirmó la homogeneidad de la varianza para el conjunto de datos, utilizando la prueba de Bartlett. Las variables respuesta (variables dependientes) fueron el peso fresco y seco de hoja, tallo y raíz, el área foliar, la longitud de tallo y de raíz, el contenido de clorofila a y b, el contenido relativo de agua y el potencial hídrico de la hoja. Se realizaron comparaciones múltiples de medias (Tukey HSD $p \leq 0.05$). El contenido relativo de agua expresado en valores porcentuales recibió un tratamiento estadístico especial que requería transformación mediante arco seno o transformación angular previo al análisis de varianza (Sokal y Rohlf, 1998). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statistica® v. 13.5 (TIBCO® Software Inc., 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento

El peso fresco y seco de hojas, el área foliar, el peso fresco y seco de tallo, la longitud de tallo, peso fresco y longitud de raíz, mostraron diferencias significativas entre los tratamientos a base de diferentes concentraciones de NaCl. Los valores del peso fresco y seco de hojas fueron mayores en el control (0 mM NaCl), mientras que las plantas sometidas a 200 mM de NaCl presentaron el peso fresco de hojas menor, disminuyendo respecto al control un 73.15 para peso fresco y 81.33 % para peso seco, respectivamente. Las plantas cultivadas en el tratamiento 0 mM de NaCl mostraron un valor mayor del área foliar; sin embargo, ésta disminuyó respecto al control 79.64 % en las plantas cultivadas en 200 mM de NaCl. El peso fresco y seco y la longitud del tallo de las plantas cultivadas en el control fueron mayores respecto a las plantas cultivadas en 200 mM de NaCl, disminuyendo en

relación con el control en 74.49, 64.84 y 49.94 %, respectivamente.

El peso fresco y la longitud de raíz mostraron valores superiores en las plantas cultivadas en 0 mM NaCl y disminuyeron respecto al control en 76.45 y 35.33 %, respectivamente en las plantas sometidas a 200 mM de NaCl. El peso seco de raíz no mostró diferencias significativas entre tratamientos; sin embargo, se observó que el peso seco de raíz fue mayor en las plantas cultivadas en 0 mM NaCl, con reducciones mayores en 50, 150 y 200 mM en relación con las plantas cultivadas en 0 mM NaCl con valores de 51.77, 76.12 y 82.23 %, respectivamente.

El peso seco de raíz menor se presentó en las plantas cultivadas en 200 mM de NaCl. Las variables asociadas a la biomasa de la parte aérea (peso fresco y seco de hojas, peso fresco y seco de tallos y área foliar), incluyendo la longitud de tallo, mostraron diferencias significativas entre tratamientos y disminuyeron sus valores conforme las concentraciones de NaCl se incrementaron (Tabla 1). La biomasa asociada a la raíz, que incluye el peso fresco, peso seco y longitud de raíz, mostraron diferencias entre tratamientos de NaCl y de manera similar a la biomasa de parte aérea, sus valores disminuyeron a medida que las concentraciones de NaCl se incrementaron en el medio de cultivo.

Los resultados anteriores eran esperables, sobre todo por la presencia excesiva del NaCl en el medio de cultivo, pues limita el crecimiento y el desarrollo de las plantas en mayor o menor proporción, dependiendo del nivel de tolerancia de la especie (Maas y Hofman, 1977; Katerji *et al.*, 2001). Resultados similares reportaron Collado *et al.* (2012) al observar una disminución en la biomasa de hojas, tallos, raíz y biomasa total de dos especies de orégano, *Origanum vulgare* L. sp. *viridulum* y *Origanum x majoricum* Cambess sometidas a diferentes niveles de conductividad eléctrica en el agua de riego (2, 4, 6 y 8 dS m^{-1} , cuya equivalencia aproximada de CE a mM de NaCl es 15, 32.8, 51.7 y 72.1, respectivamente), utilizando como fuente de salinidad el NaCl, CaCl_2 y MgCl_2 .

En especies no halófitas como *Solanum lycopersicum* L., Mohamed *et al.* (2021) reportaron resultados similares al cultivar las plantas en macetas e invernadero con una mezcla de arena y arcilla (1:3), aplicando tres riegos con solución salina (150 mM de NaCl). A los 60 días evaluaron el crecimiento la planta, observando un crecimiento menor en las plantas tratadas con solución salina, con una reducción en comparación con el testigo de 25.4 % en la altura y de 34.9 % en la biomasa (follaje+raíz).

Tabla 1. Valores promedio de las variables evaluadas en las plantas de orégano sometidas a diferentes concentraciones de NaCl.

	Significancia del ANOVA	Concentraciones de NaCl (mM)				
		0	50	100	150	200
Peso fresco de hoja (g)	$p \leq 0.0001$	12.74a	9.14ab	4.72bc	3.97c	3.42c
Peso seco de hojas (g)	$p \leq 0.000004$	3.60a	1.71b	1.00b	0.71b	0.66b
Área foliar (cm ²)	$p \leq 0.00001$	312.99a	195.42b	106.28bc	81.99c	64.61c
Peso fresco de tallo (g)	$p \leq 0.00005$	4.43a	2.19b	1.79b	1.18b	1.13b
Peso seco de tallo (g)	$p \leq 0.0001$	1.28a	0.65b	0.60b	0.40b	0.45b
Longitud de tallo (cm)	$p \leq 0.000001$	30.21a	20.11b	17.98bc	15.60bc	14.82c
Peso fresco de raíz (g)	$p \leq 0.0002$	9.81a	5.18b	2.82b	2.39b	2.31b
Peso seco de raíz (g)	$p \geq 0.22$	1.97a	0.95a	1.73a	0.47a	0.35a
Longitud de raíz (cm)	$p \leq 0.04$	12.34a	9.76ab	9.94a b	7.98b	10.97ab
Contenido de clorofila a (µg cm ²)	$p \leq 0.0002$	20.14a	10.92b	11.55b	14.61b	11.80b
Contenido de clorofila b (µg cm ²)	$p \leq 0.00002$	8.07a	4.43b	4.20b	5.46b	4.90b
Contenido relativo de agua (%)	$p \leq 0.0002$	66.12b	74.15a	64.32b	75.97a	67.14b
Potencial hídrico (MPa)	$p \leq 0.000003$	-3.89a	-4.51a	-6.19bc	-7.77bc	-10.05c

*Valores promedio por filas con diferente literal difieren significativamente (Tukey HSD, $p \leq 0.05$). ANOVA= Análisis de varianza. mM=milimoles.

Asimismo, Mata y Meléndez (2005) reportaron en *Lippia palmeri*, que el crecimiento de la raíz fue menos afectado por la salinidad que el crecimiento de hojas y tallos. Estos autores indujeron la salinidad mediante soluciones de NaCl (0, 72, 108, 144, 216 y 287 mM) que produjeron potenciales osmóticos de -0.30, -0.45, -0.60, -0.90, y -1.20 MPa. Los resultados mostraron que la tasa relativa de crecimiento disminuyó linealmente y el peso de las hojas disminuyó nueve veces al disminuir el potencial osmótico de las soluciones desde el control hasta el tratamiento de -1.20 MPa, concluyendo que, en comparación con otras plantas no halófitas, el orégano mexicano es moderadamente tolerante a la salinidad.

En especies del mismo género, Baatour *et al.* (2010) sometieron a plántulas de *Origanum majorana* a diferentes concentraciones de NaCl (0, 50, 100, 150 mM) mostrando que el crecimiento, el contenido de agua y el desarrollo de los diferentes órganos de las plantas disminuyeron en la concentración mayor de NaCl (150 mM). El número de hojas se redujo; sin embargo, el área foliar y la longitud de raíz no se afectaron significativamente. También observaron un aumento en la superficie total de la hoja y su grosor en las diferentes concentraciones de NaCl. Por su parte, Valdés-Oyervides *et al.* (2012) en un estudio con *Lippia graveolens* H.B.K. mostraron que la inducción de estrés en los ambientes con NaCl afectó negativamente la producción de biomasa (peso fresco y número de hojas), cuyo efecto inhibitorio en el crecimiento vegetativo fue reportado previamente en *Origanum vulgare* por Said-Al Ahl y Mahmoud (2010).

En este estudio, la longitud de raíz fue un tema controversial, porque la longitud de raíz disminuyó al

incrementarse las concentraciones de NaCl en el medio de cultivo, como se esperaba; sin embargo, en la concentración de 200 mM de NaCl, la longitud de raíz fue superior, excluyendo al testigo. Lo anterior se atribuye a la respuesta que presenta la planta hacia un medio de cultivo adverso como lo es la salinidad, pues las raíces presentaron halotropismo negativo, lo que significa que, las raíces crecen lejos de la sal, es decir, intentan escapar de este entorno. Esta respuesta se activa por un gradiente positivo de auxinas, que se redistribuye en el sistema radicular (Jung y McCouch, 2013). Si bien la longitud de raíz se incrementó en 200 mM, ésta no presentó un desarrollo vigoroso, debido a su escasa iniciación lateral, porque el peso fresco y seco de raíz disminuyeron al incrementarse las concentraciones de NaCl en el medio de cultivo.

Contenido de clorofilas

El contenido de clorofila a y b mostró diferencias significativas entre tratamientos, cuyos valores superiores se presentaron en los tejidos de las plantas sometidas a 0 y 150 mM de NaCl, disminuyendo en 200 mM en valores de 42.94 y 49.07 % respecto a 0 mM NaCl. El efecto inhibitorio de la salinidad sobre los procesos bioquímicos (Amira y Qados 2011; Conceição *et al.* 2017), indica que la salinidad reduce el contenido de pigmentos fotosintéticos, efecto que fue evidente en las plantas de orégano de este estudio, pues el contenido de clorofila disminuyó significativamente en todos los tratamientos respecto al control cuando las concentraciones de NaCl se incrementaron en el medio de cultivo. La clorofila a se redujo 42.94 % y la clorofila b 49.07 %.

Resultados similares a este estudio reportó Ramírez-Leyva (2009) en *Lippia graveolens*, pues el contenido

de clorofila total y el rendimiento disminuyeron en 30 y 60 g de NaCl en 10 L de agua; sin embargo, se incrementaron cuando se cultivaron en solución nutritiva sin NaCl. mientras que la fotosíntesis mostró valores superiores en 60 g de NaCl, lo cual indica que al inducir las plantas a estrés por salinidad estas asimilan una cantidad mayor de CO₂.

El estrés salino modificó en mayor medida el contenido de clorofila b lo cual coincide con los resultados presentados por Houimli *et al.* (2010) quienes reportaron que la clorofila b es más sensible al estrés salino. También Nahida *et al.* (2011) al evaluar el efecto del agua de riego con diferentes niveles de NaCl (0.9, 5 y 10 dS m⁻¹, cuya equivalencia aproximada es de 5.3, 41.9 y 92.5 mM de NaCl, respectivamente) en el crecimiento, la composición y el rendimiento de aceite esencial en hojas de *Origanum majorana* L. reportaron que el crecimiento y el contenido de clorofila se afectaron significativamente al incrementarse los niveles de salinidad.

Contenido relativo de agua

El contenido relativo de agua (CRA) mostró diferencias significativas entre tratamientos cuyo valor más alto se presentó en los tejidos de las plantas cultivadas en 150 mM de NaCl mientras que el valor menor se presentó en plantas sometidas a 100 mM de NaCl, con una reducción de 15.34 % del CRA respecto a las plantas cultivadas en 0 mM. Los valores del CRA mostrados en las plantas cultivadas en 50, 150 y 200 mM de NaCl no fueron inferiores a los mostrados por las cultivadas en 0 mM; sin embargo, en 100 mM de NaCl se presentó una reducción del 15.34 % respecto a 0 mM. En este estudio, las plantas se establecieron en el sistema de raíz flotante en hidroponía, por lo que se estima que esta condición facilita a las plantas absorber el agua y los nutrientes, en comparación con plantas establecidas en un suelo en igual condición de salinidad. Por su parte, Chaman-Medina (2007) evaluó el CRA en *Capsicum annuum* L. obteniendo valores menores de CRA en plantas sometidas a 200 mM de NaCl, mientras que Alamgir-Hossain *et al.* (2011) reportaron valores menores del CRA en tratamientos de 200 mM de NaCl en *Arachis hypogea* L.

Potencial hídrico

El potencial hídrico mostró diferencias significativas entre tratamientos observándose el valor más negativo en los tejidos de las plantas cultivadas en 200 mM seguido por 150, 100, 50 y 0 mM, respectivamente. El potencial hídrico de la planta disminuyó conforme aumentaron las concentraciones de NaCl en el medio de cultivo, lo cual supone una cantidad de agua disponible para la planta en proporción menor, que

repercute en su crecimiento y desarrollo. Estos resultados coinciden con lo reportado por Chaman-Medina (2007) quien aseveró que la planta tiende a perder agua debido al aumento de sales en el sustrato por lo que la planta debe mantener un potencial hídrico más negativo que el sustrato para asegurar la absorción de agua.

Contenido de Na⁺ en el medio de cultivo

La evaluación de Na⁺ y el resto de las variables de salinidad del medio de cultivo se hicieron en tres fechas, con intervalos de 7 días. El contenido de Na⁺ en el medio de cultivo presentó diferencias significativas entre tratamientos de NaCl, fechas de muestreo y la interacción NaCl × fechas (Figura 1). El análisis de la interacción NaCl × fechas mostró que el contenido de Na⁺ se incrementó conforme los niveles de NaCl se incrementaron en el medio de cultivo dentro de la misma fecha de muestreo. Al comparar el contenido de Na⁺ entre fechas, se observó que el contenido inicial se incrementó en el segundo muestreo en todas las concentraciones de NaCl (0, 100, 150 y 200 mM). El contenido de Na⁺ se redujo ligeramente en la tercera fecha de muestreo en 50, 100 y 150 mM de NaCl, mientras que, en 200 mM de NaCl, se mantuvo con una concentración promedio similar al de 150 mM (Figura 1). Las plantas expuestas a estrés salino, especialmente a NaCl absorben más iones de Na⁺ y Cl⁻ (Gopal *et al.*, 2014). La concentración de Na⁺ en la primera fecha de muestreo mostró valores significativamente mayores (de acuerdo con el tratamiento); en la segunda fecha de muestreo se presentó un incremento ligero en todos los tratamientos y en la última fecha de muestreo disminuyó en el medio de cultivo en 50, 100 y 150 mM de NaCl lo cual se atribuye a la absorción de este ion por la planta. Estos resultados coinciden con los reportados por Parida y Das (2005) quienes afirman que las plantas realizan una distribución de Na⁺ en los tejidos más maduros que funcionan como compartimentos que son eventualmente aniquilados, pues las plantas de orégano sometidas a los tratamientos de NaCl presentaron defoliación.

Conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y salinidad en el medio de cultivo

El análisis descriptivo de la variación de la conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT) y la salinidad en el medio de cultivo durante el periodo de experimentación, mostró que en los tres parámetros mencionados se presentaron incrementos en todos los tratamientos de NaCl, así como en el tratamiento control (Figura 2). La primera lectura (lectura inicial) de los tres parámetros se registró el 26 de septiembre y sucesivamente se registraron

diariamente hasta la última lectura (lectura final) que se midió el 11 de noviembre. En promedio, la CE se incrementó 7.16 dS m^{-1} y como se esperaba, el incremento fue proporcional a la concentración de NaCl en el medio de cultivo, mostrando incrementos de 0.22, 2.65, 7.73, 10.42 y 14.78 dS m^{-1} en 0, 50, 100, 150 y 200 mM, respectivamente.

Respuestas similares mostraron los parámetros SDT y salinidad, con incrementos promedios de 2.87 g L^{-1} y 4.34 PSU en SDT y salinidad, respectivamente. El incremento en unidades de SDT y salinidad fue proporcional a la concentración de NaCl en el medio de cultivo, excepto los SDT en 0 mM. El incremento en unidades de TDS fueron 0.48, 3.06, 4.40 y 6.45 partes por mil en 50, 100, 150 y 200 mM, mientras que el incremento en unidades de salinidad fueron 0.12, 1.63, 4.66, 6.12 y 9.17 PSU en 0, 50, 100, 150 y 200 mM, respectivamente. El término SDT describe la cantidad de sólidos disueltos en el agua, término

estrechamente ligado a la conductividad eléctrica. Cuanto mayor es la cantidad de sales disueltas en el agua mayor será el nivel de CE y por consiguiente mayor será el nivel de salinidad.

Los SDT, la CE y la salinidad mostraron una tendencia a incrementar sus valores conforme aumentaron las concentraciones de NaCl en el medio de cultivo. En estas variables también se observó un incremento en la evaluación final respecto a la primera valoración. Acorde con Klauer-García (2009), el orégano se adapta a cualquier tipo de suelo; sin embargo, no es conveniente cultivarlo en salinidad alta, porque perjudica el desarrollo normal; en suelos con salinidad ligera, el cultivo no presenta problemas, estimando que la salinidad para orégano debe mantenerse por debajo de los 2 dS m^{-1} . Por su parte, Collado *et al* (2012) mencionan que *Origanum vulgare* L. sp. *viridulum* rindió 40 % o más de hojas y más del doble de aceite esencial que *Origanum x majoricum* Cambess en la

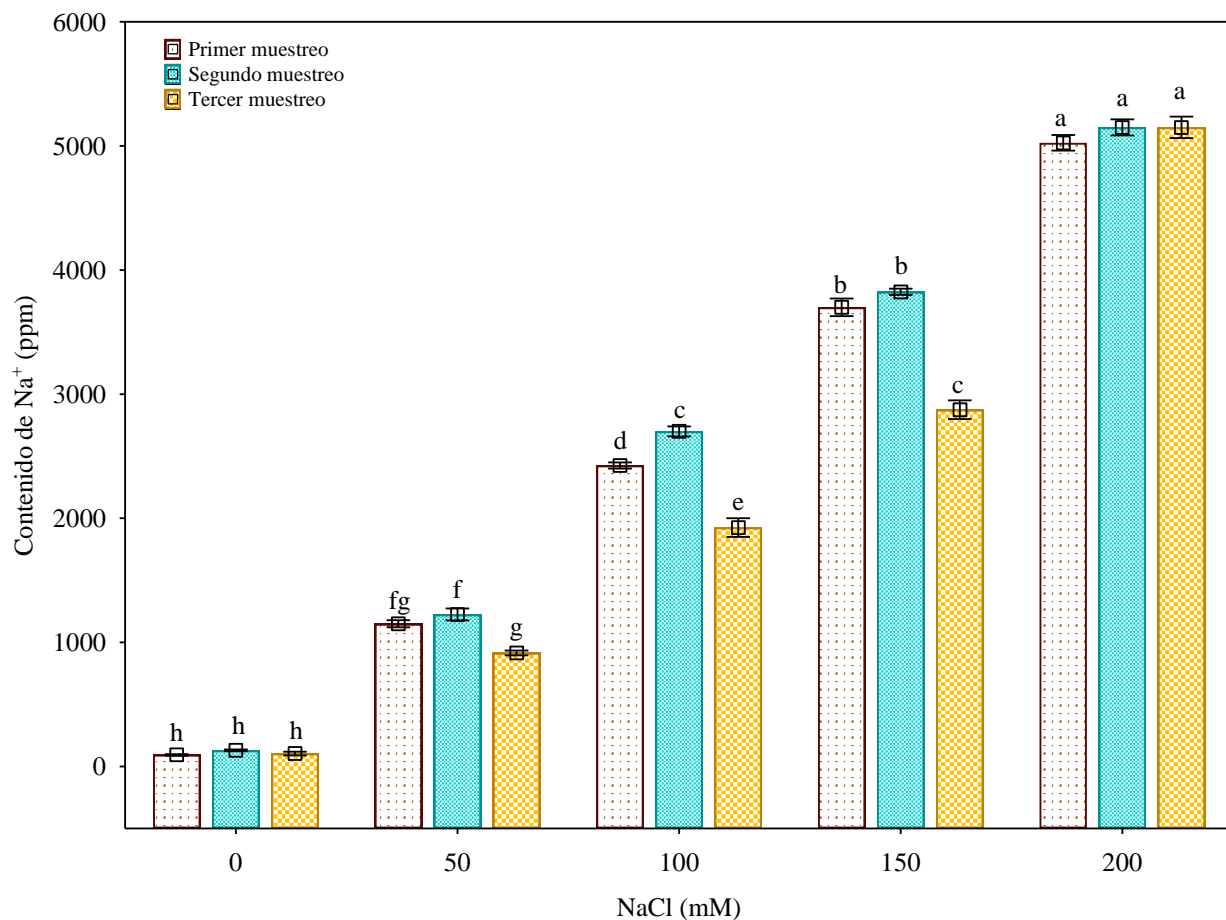


Figura 1. Variación temporal del contenido de Na^+ en el medio de cultivo de plantas de orégano sometidas a diferentes concentraciones de NaCl. Barras con la misma literal no difieren estadísticamente (Tukey HSD $p \leq 0.05$). Los valores de las barras corresponden al promedio \pm el error estándar ($n=4$).

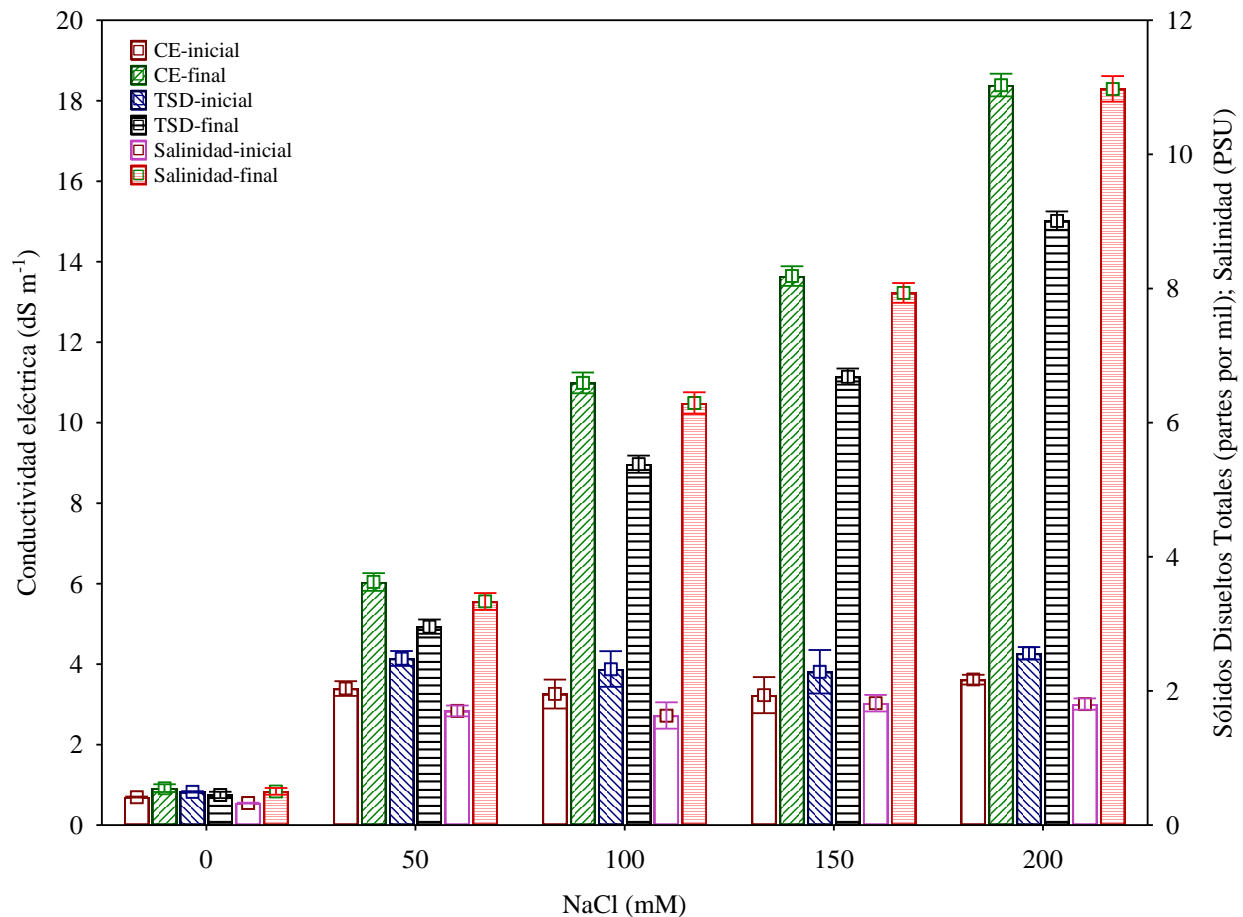


Figura 2. Variación de la conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y salinidad en el medio de cultivo de plantas de orégano sometidas a diferentes concentraciones de NaCl. Los valores de las barras corresponden al promedio \pm el error estándar ($n=4$).

mayoría de las condiciones de conductividad eléctrica. Estos autores proponen que, si estos resultados se mantienen en pruebas experimentales de campo, se recomienda el uso de *O. vulgare* con respecto a *O. x majoricum* para rendimiento de hojas y de aceite, con salinidades de hasta 6 dS·m⁻¹ en la cosecha inicial.

CONCLUSIONES

El orégano mostró tolerancia moderada a la salinidad (CE= 5.8 dS m⁻¹, 50 mM de NaCl), logrando absorber Na⁺ del medio de cultivo en 50, 100 y 150 mM de NaCl.

Todas las variables evaluadas disminuyeron conforme las concentraciones de NaCl se incrementaron en el medio de cultivo.

El orégano crece y se desarrolla adecuadamente en el sistema de hidroponía en raíz flotante y puede ser una alternativa para zonas áridas con recursos hídricos

escasos y por lo general de agua no apta para la agricultura.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo técnico de Carmen Mercado Guido, Lidia Hiraes Lucero, Pedro Luna García, Saúl Briseño Ruiz, Raymundo Ceseña Núñez y Adrián Jordán Castro.

Funding. This research was conducted with funds from the CONACYT-Problemas Nacionales 2017-I grant No. 4631 of the project titled “Modelo de aprovechamiento y eficiencia máxima de agua salinizada acoplado a unidireccional sistema de acuaponia-agricultura” supported by FORDECYT-PRONACES and with funds from the institutional project PAZA (CIBNOR).

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest. The funding sources had no role in the design of the study, in the collection, analysis, or

interpretation of data, in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

Compliance with ethical standards. Do not apply.

Data availability. The authors confirm that all data underlying the findings are fully available without restriction upon reasonable request to the corresponding author, Dr. Bernardo Murillo-Amador (bmurillo04@cibnor.mx). All relevant data necessary to replicate this study are described in the paper.

Author contribution statement (CRediT)

G. Lucero-Vega -Data curation, Formal analysis, Writing original draft; **B.A. Valdéz-Caro** - Investigation, Visualization, Methodology, Validation; **L.G. Hernández-Montiel** -Supervision, Validation, Visualization, Writing-review & editing; **T Rivas-García** - Conceptualization, Methodology, Formal analysis; **B. Murillo-Amador** - Conceptualization, Methodology, Formal Analysis, Writing-review & editing, Funding acquisition, Supervision, Validation, Resources, Project administration.

REFERENCIAS

- Aguilar-Murillo, X., Valle-Meza, G., González-Rosales, G. and Murillo-Amador, B., 2013. *Guía de cultivo de orégano*. La Paz, Baja California Sur, México:Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Pp. 1-3.
- Alamgir-Hossain, M., Ashrafuzzaman, M. and Razi-Ismael, M., 2011. Salinity triggers proline synthesis in peanut leaves. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 5, pp. 159-168.
- Amira, M.S. and Qados, A., 2011. Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant *Vicia faba* (L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10, pp. 7-15. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2010.06.002>
- Anaya, C.M.A., Ayala, Z.J.F., Muñoz, C.L., Hernández, O.L., Peydecastaing, J. and Durrieu, V., 2017. β -Cyclodextrin inclusion complexes containing clove (*Eugenia caryophyllata*) and Mexican oregano (*Lippia berlandieri*) essential oils: Preparation, physicochemical and antimicrobial characterization. *Food Packaging and Shelf Life*, 14, pp. 96-101. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.09.002>.
- Baatour, O., Kaddour, R., Aidi Wannes, W., Lachaal, M. and Marzouk, B., 2010. Salt effects on the growth, mineral nutrition, essential oil yield and composition of marjoram (*Origanum majorana*). *Acta Physiologica Plantarum*, 32, pp. 45-51. <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0374-4>.
- Bahaa, B.M. S., Mohamed S.H. and Hany S.O., 2019. Ameliorating the deleterious effects of saline water on the antioxidants defense system and yield of eggplant using foliar application of zinc sulphate. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(2), pp. 244-251. [Doi.org/10.1016/j.aos.2019.12.008](https://doi.org/10.1016/j.aos.2019.12.008).
- Chaman-Medina, M.E., 2007. Variaciones en el contenido relativo de agua y de prolina de *Capsicum annuum* L. inducido por NaCl. *Arnaldoa*, 14(2), pp. 251-258.
- Collado, C.E., Gil, A. and Cosentino, D.J., 2012. Efecto de la salinidad sobre el aceite esencial y la biomasa de dos genotipos de oréganos (*Origanum* spp.) cultivados en invernáculo. *Horticultura Argentina*. 31(75), pp. 32-39.
- Conceição, G.M.A., Abreu, P.I., Santa, C.C., Hauser, D.R.A. and Satika, S.M., 2017. Salinity effects on photosynthetic pigments, proline, biomass, and nitric oxide in *Salvinia auriculata* Aubl. Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 29(e9), pp. 1-13. <https://doi.org/10.1590/s2179-975x4716>.
- Dong, S., Wan, S., Kang, Y. and Li, X., 2021. Establishing an ecological forest system of salt-tolerant plants in heavily saline wasteland using the drip-irrigation reclamation method. *Agricultural Water Management*, 245, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106587>.
- Fanlo, M., Melero, R., Moré, E. and Cristóbal, R., 2009. *Cultivo de plantas aromáticas, medicinales y condimentarias en Cataluña, España*. Cataluña:Centro Tecnológico Forestal de Cataluña. 80 pp.
- Gopal, S., Kiyoon, Kim., Shuijin, H. and Tongmin, S., 2014. Effect of salinity on plants and the role of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria in alleviation of salt stress. Chapter 6. Pp. 117-144. In: A. Parvaiz and R.W. Mohd, eds. *Physiological mechanisms and adaptation strategies in plants under changing environment*. Vol 1. New York Heidelberg Dordrecht London: Springer. DOI 10.1007/978-1-4614-8591-9.
- Himani-Punia, Jayanti-Tokas, Anurag-Malik, Satpal-Singh, D.S. Phogat, Axay-Bhuker, Virender,

- S.M., Anju Rani. and R.N. Sheokand., 2021. Discerning morpho-physiological and quality traits contributing to salinity tolerance acquisition in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *South African Journal of Botany*, 140, pp. 409-418. Doi.org/10.1016/j.sajb.2020.09.036.
- Houimli, S.I.M., Denden, M. and Mouhandes, B.D., 2010. Effects of 24-epibrassinolide on growth, chlorophyll, electrolyte leakage and proline by pepper plants under NaCl-stress. *EurAsian Journal of BioSciences*, 4, pp. 96-104. <https://doi.org/10.5053/ejobios.2010.4.0.12>.
- Jiaping, L. and Wenjuan, S., 2021. Cotton/halophytes intercropping decreases salt accumulation and improves soil physicochemical properties and crop productivity in saline-alkali soils under mulched drip irrigation: A three-year field experiment. *Field Crops Research*, 262, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108027>
- Juárez-Rosete, C.R., Aguilar-Castillo, J.A., Aburto-González, C.A. and Alejo-Santiago, G., 2019. Biomass production, nutritional requirement of nitrogen, phosphorus and potassium, and concentration of the nutrient solution in oregano. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 25(1), pp. 17-28. Doi: 10.5154/r.rchsh.2018.02.006
- Jung, J. and McCouch, S., 2013. Getting to the roots of it: Genetic and hormonal control of root architecture. *Frontiers in Plant Science*, 4(186), pp. 1-32.
- Katerji, N., van-Hoorn J.W., Hamdy, A., Mastroiilli, M., Oweis, T. and Erskine, W., 2001. Response of two varieties of lentil to soil salinity. *Agricultural Water Management*, 47(1), pp. 179-190. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(00\)00109-8](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00109-8).
- Klauer-García, D.F., 2009. Manual técnico de cultivo ecológico de orégano (*Origanum* sp L.). Ediciones El Taller Asociación de Promoción y Desarrollo, 1ª Edición. Perú. 56 pp.
- Maas, E.V. and Hoffman, G.J., 1977. Crop Salt Tolerance—Current Assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 103(2), pp. 115-134.
- Mata, G.R. and Meléndez, G.R., 2005. Growth characteristics of Mexican oregano (*Lippia berlandieri* Schauer) under salt stress. *The Southwestern Naturalist*, 50(1), pp. 1-6. [https://doi.org/10.1894/0038-4909\(2005\)050<0001:GCOMOL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1894/0038-4909(2005)050<0001:GCOMOL>2.0.CO;2).
- Milevskaya, V.V., Prasad, S. and Temerdashev, Z.A., 2019. Extraction and chromatographic determination of phenolic compounds from medicinal herbs in the Lamiaceae and Hypericaceae families: A review. *Microchemical Journal*, 145, pp. 1036-1049. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.11.041>.
- Mohamed, M. A., Kaouthar, J., Mohamed, S. A., Salah, M. E., Mohammad, Y., Mahmoud, S. O., Mona, H. S. and Kamel, H. 2021., Wuxal amino (Bio stimulant) improved growth and physiological performance of tomato plants under salinity stress through adaptive mechanisms and antioxidant potential. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(6), pp. 3204-3213. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.04.040>.
- Morales-Valverde, R., 1999. *El orégano: un condimento tradicional*. Etnobotánica. Madrid. pp.165:37.
- Murillo-Amador, B., Yamada, S., Yamaguchi, E., Rueda-Puente, E.O., Ávila-Serrano, N.Y., García-Hernández, J.L., López-Aguilar, D.R., Troyo-Diéguez, E. and Nieto-Garibay, A., 2007. Influence of calcium silicate on growth, physiological parameters, and mineral nutrition in two legume species under salt stress. *Journal Agronomy and Crop Science*, 193(6), pp. 413-421. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2007.00273.x>.
- Nahida Jelali, Wissal Dhifi, Thouraya Chahed and Brahim Marzouk., 2011. Salinity effects on growth, essential oil yield and composition and phenolic compounds content of marjoram (*Origanum majorana* L.) leaves. *Journal of Food Biochemistry*, 35(5), 1443-1450. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2010.00465.x>.
- Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B., Mercado-Guido, M.C., Hiraes-Lucero, L., Luna-García, P., Briseño-Ruiz, S.E., Díaz-Ramírez, M., Ceseña-Núñez, J.R. and Jordán-Castro, A. 2013. *La composta en la producción de hierbas aromáticas en Baja California Sur*. La Paz, Baja California Sur, México:Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. pp.1-22.
- Parida, A.K., Das, A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*,

- 60(3), pp. 324-349.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010>.
- Ramírez-Leyva, K., 2009. Evaluación de la producción de biomasa, variables fisiológicas y densidad estomática en orégano mexicano (*Lippia graveolens*) por efecto de inducción de estrés por salinidad. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Antonio Narro. 29 pp.
- Said-Al Ahl, H.A.H. and Mahmoud, A., 2010. Effect of zinc and/or iron foliar application on growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. *Ozean Journal of Applied Sciences*, 3, pp. 97-110.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. SADER. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)., 2021. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Datos Nacionales para el cultivo de orégano. Consultado en diciembre de 2021.
- SEMARNAT., 2009. *Paquete tecnológico para la producción de orégano*. Guadalajara, Jalisco, México: Comisión Nacional Forestal. pp. 6-16.
- Sokal, R.R. and Rohlf, F.J., 1998. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. Third edition. Four Printing. W.H. Freeman & Company. New York, USA. 887 pp.
- Strain, H.H. and Svec, W.A., 1966. Extraction, separation, estimation, and isolation of the chlorophylls. The chlorophylls 1, Academic Press. pp. 21-66.
<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>.
- Valdés-Oyervides, F.J., Rivas-Morales, C., Benavides-Mendoza, A., Núñez-González, M.A., Verde-Star, J., Oranday-Cárdenas, A. and Robledo-Torres, V., 2012. Efectos de iones y sales en la productividad y acumulación de prolina en *Lippia graveolens* H.B.K. *Revista Phytón Internacional de Botánica Experimental*, 81(2), pp. 191-198.
- Yamasaki, S., Dillenburg, L.R., 1999. Measurement of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 11(2), pp. 69-75.
- Zaccardelli, M., Roscigno, G., Pane, C., Celano, G., Di Matteo, M., Mainente, M., Vuotto, A., Mencherini, T., Esposito, T., Vitti, A. and De Falco, E., 2021. Essential oils and quality composts sourced by recycling vegetable residues from the aromatic plant supply chain. *Industrial Crops and Products*, 162, pp. 1-8.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113255>.