

Estado hídrico y crecimiento de plantas de menta (*Mentha spicata* L.) bajo tratamientos con vermicompost y déficit hídrico Water status and growth of mint plants (*Mentha spicata* L.) under vermicompost and water deficit treatments

Clara Samira Rojo-Zavala¹, Alejandra Nieto-Garibay^{2†}, Enrique Troyo-Diéguez²,
Gregorio Lucero-Vega³ y Emilio García-Galindo²

¹ Instituto Tecnológico de los Mochis. Blvd. Juan de Dios Bátiz y 20 de noviembre s/n, Fraccionamiento El Parque. 81259 Los Mochis, Sinaloa, México.

² Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. Av. Instituto Politécnico Nacional No. 195, Col. Playa Palo de Sta. Rita Sur. 23096 La Paz, B.C.S., México.

[†] Autora para correspondencia (anieto04@cibnor.mx)

³ Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al sur km 5.5, Apartado postal 19-B. 23080 La Paz, B.C.S., México.

Editor de Sección: Dr. Ramon Jaime Holguín Peña

RESUMEN

Aproximadamente el 85% de las tierras emergidas en nuestro planeta están sometidas a la acción de la sequía. Dentro de los manejos que se realizan para lograr una mayor retención de agua en el suelo, es el uso de abonos agrícolas. La aplicación del vermicompost es uno de los abonos más usados para la mejora y preservación de los suelos agrícolas, es de fácil elaboración y bajo costo. Profundizar en el conocimiento de su uso en suelos de zonas áridas, permite un mejor uso de este recurso para la solución de problemas de sequía. Bajo este contexto el objetivo de este trabajo fue generar información acerca del uso del vermicompost y su efecto en un suelo con déficit hídrico en el cultivo de menta. Para esto se estableció un experimento con un diseño completamente al azar con dos factores el uso de vermicompost con un nivel de dosis usada por los productores de Baja California Sur, y déficit hídrico edáfico con un nivel estableciéndose después de haber realizado un riego a saturación hasta que se provoque una pérdida de turgencia sostenida en las plantas. Quedando los tratamientos de suelo-vermicompost-sin déficit (SVSD), suelo-vermicompost con déficit (SVCD), suelo-sin déficit (SSD) y suelo-con déficit (SCD). Los resultados mostraron que la dosis de vermicompost que se utiliza por algunos de los productores en Baja California Sur para el cultivo de menta es insuficiente para mitigar el efecto del déficit hídrico edáfico en el cultivo de menta. El efecto del déficit hídrico edáfico en plantas de menta se manifestó como un potencial hídrico negativo. Para futuras investigaciones se recomienda el uso de diferentes dosis de vermicompost para determinar las mejores cantidades de este abono para el cultivo de menta bajo déficit hídrico.



Palabras clave: morfometría, relaciones hídricas, sequía.

SUMMARY

Approximately 85% of the emerging lands on our planet are subject to the action of drought. The use of natural fertilizers is part of the strategies to achieve greater retention of water in the soil. The application of vermicompost is one of the most used fertilizers for the improvement and preservation of agricultural soils, it is easy to prepare and low cost. Deepening the knowledge of its use in soils of arid zones allows better use of this resource for the solution of drought problems. In this context, the objective of this work was to generate information about the use of vermicompost and its effect on soil with water deficit in the cultivation of mint. For this, an experiment was established with a completely randomized design with two factors: the use of vermicompost with a unique dose level that is used by some of the

Cita recomendada:

Rojo-Zavala, C. S., Nieto-Garibay, A., Troyo-Diéguez, E., Lucero-Vega, G., & García-Galindo, E. (2023). Estado hídrico y crecimiento de plantas de menta (*Mentha spicata* L.) bajo tratamientos con vermicompost y déficit hídrico. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-12. e1634. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1634>

Recibido: 22 de agosto de 2022.

Aceptado: 17 de abril de 2023.

Artículo. Volumen 41.

Agosto de 2023.

producers of Baja California Sur, and edaphic water deficit with a level established after having carried out irrigation to saturation until causing a sustained loss of turgor in the plants. The treatments established were soil-vermicompost-without deficit (SVSD), soil-vermicompost with a deficit (SVCD), soil-without deficit (SSD), and soil-with deficit (SCD). The results showed that the dose of vermicompost used by some of the producers in Baja California Sur for the cultivation of mint is insufficient to mitigate the effect of edaphic water deficit in the cultivation of mint. The effect of edaphic water deficit on mint plants was manifested as negative water potential. For future research, the use of different doses of vermicompost is recommended to determine the best amounts of this fertilizer for growing mint under water deficit.

Index words: *morphometric, water relations, growth.*

INTRODUCCIÓN

Una de las limitaciones ambientales más grandes de la productividad de los cultivos agrícolas es el estrés por déficit hídrico, se plantea que cerca del 10% de la superficie del planeta se ve afectada por estrés y miles de hectáreas de tierra son abandonadas debido a las causas que trae consigo. Aproximadamente el 85% de las tierras emergidas en nuestro planeta están sometidas a la acción de la sequía, y la falta de agua para las actividades humanas se ha convertido en uno de los principales problemas a nivel mundial (Florido y Bao, 2014). Dentro de los manejos que se realizan para lograr una mayor retención de agua en el suelo, es el uso de abonos agrícolas. La aplicación del vermicompost es uno de los abonos más usados para la mejora y preservación de los suelos agrícolas, es de fácil elaboración y bajo costo. Es el resultado de las transformaciones bioquímicas y microbiológicas que sufre la materia orgánica al pasar a través del tracto digestivo de las lombrices (Ramnarain, Ansari y Ori, 2019). Como parte de sus múltiples beneficios, contiene nutrientes en su forma más asimilable para la planta, permite una mayor duración del agua en el suelo y una mayor retención, debido a las propiedades de la materia orgánica que contiene (Ebrahimi, Soury, Mousavi y Sahebani, 2021). Su uso cobra mayor relevancia en suelos agrícolas de regiones áridas con una predominancia de arenas y poco porcentaje de materia orgánica. Estos suelos se caracterizan por la escasa retención de agua y requieren aportaciones de enmiendas que aumenten esta capacidad de retención (FAO, 2009). Adicionalmente el clima de estas regiones se caracteriza por altas temperaturas y una escasa precipitación, como lo es Baja California Sur donde este valor es de aproximadamente 200 mm promedio anual. Los cultivos en esta región constantemente se enfrentan a déficit hídrico, lo que representa un aspecto importante a atender por su impacto en el rendimiento de cultivos con importancia económica. La producción de hierbas aromáticas y de particularmente el cultivo de menta (*Mentha spicata* L.), Baja California Sur es uno de los estados sobresalientes productores de esta especie, que se exporta y cumple con protocolos de buenas prácticas agrícolas o algunas certificaciones orgánicas. Produce el 100% de menta orgánica en México con una importante entrada de divisas al país por su valor agregado como orgánica (SIAP, 2019). A su vez México es el tercer productor de esta especie en el mundo (FAOSTAT, 2014). Desde el punto de vista social su importancia radica en que es producido por una amplia gama de pequeños productores y empresas de hierbas que se utilizan para actividades culinarias y medicinales (Juárez-Rosete et al., 2013). Debido a la importancia de mejorar las propiedades de los suelos de esta región, su preservación y cubrir con las necesidades del tipo de producción orgánica que demanda el uso de fertilizantes y abonos de origen natural e inocuo, se hace importante el estudio del efecto de estos en la fisiología del estado hídrico la planta y su crecimiento. El estado hídrico de una planta está en función del agua disponible en el suelo y determina su desarrollo (Xiong y Nadal, 2020). En este sentido pocos son los estudios que se encuentran para conocer la respuesta del cultivo de menta en suelos con incorporación de vermicompost y déficit hídrico,

con el fin de generar conocimiento para un mejor manejo por parte de agricultores. Bajo este contexto, el objetivo de este trabajo fue generar información acerca del uso del vermicompost y su efecto en un suelo con déficit hídrico en el crecimiento de plantas de menta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de Estudio

El estudio se realizó en el campo experimental del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR), localizado a 17 km al norte de ciudad de La Paz, Baja California Sur, México que se ubica a 24° 08' 10.03" N y 110° 25' 35.31" O. Los suelos de este sitio se caracterizan por contener 90.9% de arena, con un contenido de materia orgánica (MO) de 0.1% (García-Galindo, 2018¹). La zona se caracteriza por una precipitación media anual aproximada de 200 mm (Garza-Torres et al., 2020)

Material Vegetativo y Establecimiento del Cultivo

A esquejes de 10 cm obtenidos de plantas madre de *Mentha spicata* del campo agrícola del CIBNOR se les aplicó en la punta enraizador en polvo (Radix 10000^{MR} Intercontinental Import Export S.A. de C.V.) y se sembraron en charolas de germinación de poliestileno con 50 cavidades con sustrato comercial inerte (SOGEMIX[®]) proporcionando riegos cada tercer día. A los 25 días de haber sido sembrado en las charolas y asegurando el desarrollo de raíz se trasladaron 20 plantas por cada cama de 1.3 m × 3 m, con una distancia entre planta y planta de 30 centímetros.

Diseño Experimental y Tratamientos

Se estableció un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial donde el factor uno fue la fertilización utilizando vermicompost con un solo nivel y un grupo control sin vermicompost, y el factor dos el déficit hídrico también con un nivel y un grupo control sin déficit hídrico. Los tratamientos establecidos fueron: suelo-vermicompost-con déficit (SVCD), suelo con déficit (SCD), suelo vermicompost sin déficit (SVSD) y suelo sin vermicompost y sin déficit (SSD Control). El surco central se consideró como la unidad experimental eliminando el factor orilla al momento de evaluar las diferentes variables. Para los tratamientos con composta (SVCD y SVSD) se agregaron 1.5 kg de vermicompost por cada cama de 1.3 m × 3 m, que equivale a 4.5 Mg ha⁻¹, dosis utilizada por los agricultores de menta en Baja California Sur para este cultivo. El vermicompost se incorporó a las camas de siembra antes del trasplante. Una vez realizado el trasplante el riego se mantuvo a capacidad de campo durante 19 días antes de iniciar los tratamientos de déficit hídrico edáfico como tiempo de aclimatación de las plantas. Los tratamientos de déficit hídrico edáfico se iniciaron dando un riego de saturación a todas las plantas del experimento, para posteriormente reponer el riego solo a las plantas cuyos tratamientos se establecieron sin déficit hídrico edáfico: suelo-vermicompost-sin déficit hídrico (SVSD) y suelo-sin déficit hídrico (SSD), lo que representó su riego aproximadamente cada tercer día. Para el caso de los tratamientos que si fueron sometidos a déficit hídrico edáfico suelo-vermicompost-con déficit (SVCD) y suelo-con déficit (SCD) las plantas se dejaron sin riego hasta observar una pérdida de turgencia sostenida por la mañana sin que llegara al punto de marchitez permanente. El riego en todas las parcelas se

¹ García-Galindo, E. (2018). *Mitigación del déficit hídrico en Mentha spicata L. con fertilizantes orgánicos, expresado en variables fisiológicas y de producción*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, La Paz, BCS, México. <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/1733>

realizó con un sistema automatizado operado con energía solar que consiste en uso de mangueras de riego presurizado por goteo en cada cama, así como un sensor de humedad del suelo, se determinan los valores de humedad deseados y llegado al valor se activa el riego. En este caso se programó para los tratamientos sin déficit el riego cada tercer día, en el caso de los tratamientos con déficit el riego se realizó con el mismo sistema, pero de forma manual hasta observar los síntomas de pérdida de turgencia de la planta (Gutiérrez, Villa, Nieto y Porta, 2014).

Variables Edáficas

Se realizaron análisis en el laboratorio de edafología del CIBNOR para caracterizar parámetros físicos de la composta y vermicompost utilizadas en el experimento. Se determinó el porcentaje de saturación (%), la densidad aparente (DA) por el por gravimetría (Jackson, 1976), capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), y porosidad (Pe) con la metodología estandarizada del laboratorio (Ortiz y Ortiz, 1990). Y se determinó la materia orgánica por el método de Walkley y Black (1934).

Humedad del Suelo

La humedad del suelo se midió utilizando el método gravimétrico (Del Valle-Florencia, 1992) donde se tomaron 50 g de suelo a una profundidad de 30 cm considerando el mayor volumen radicular. Se tomaron 5 muestras de suelo por tratamiento y se transportaron en recipientes de aluminio cerrados al laboratorio de Fisiotecnia Vegetal para obtener el peso seco de cada muestra con una balanza granataria (Mettler Toledo modelo 2002), secándose previamente en un horno de secado (TERLAB, HS-H-A 100308) a 80 °C durante 24 h habiendo alcanzado peso constante. Las mediciones se realizaron diariamente, desde el trasplante hasta el final del experimento siendo un total de 25 días.

Variables Morfométricas

Al momento del trasplante se muestrearon 5 plántulas por tratamiento (planta por repetición), para medir las variables morfométricas iniciales, al final del experimento (23 días después del trasplante ddt) se realizó nuevamente un muestreo de plantas para medir nuevamente las variables morfométricas y determinar así un crecimiento del tiempo 0 al tiempo final del experimento. Para registrar las variables morfométricas de las plantas de menta se trasladaron al laboratorio de Fisiotecnia Vegetal del CIBNOR, se separaron en raíz, tallo y hojas para obtener las medidas de: longitud de tallo y raíz (cm) (LT y LR) con un vernier digital, área foliar total (AFt) (cm²) utilizando un medidor de área foliar (LI-COR, modelo-LI-3000^a, serie PAM 1701, Lincoln, NE, US), peso fresco (g) (PFt) y seco de tallo (g) (PST), peso fresco (g) (PFH) y seco de hojas (g) (PSH) y raíz (g) (PFR, PSR). El peso seco se obtuvo colocando las plantas a una temperatura de 70 °C durante 24 h (alcanzando peso constante) en un horno de flujo laminar (Shel-Lab, modelo FX-5, serie 1000203). Los pesos fresco y seco se obtuvieron con una balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204).

Variables Fisiológicas (Estado Hídrico y Clorofila)

Se realizaron determinaciones del potencial hídrico de la hoja (Ψ_w) una vez que las plantas bajo déficit hídrico mostraron pérdida de turgencia y se mantuvo a la mañana siguiente sin llegar al punto de marchitez permanente a los 23 días posteriores al trasplante, utilizando un potenciómetro (WP4 - Water Potential Meter Dew Point Potentiometer). Para lo cual, se muestrearon tres plantas (planta por repetición) y se transportaron en bolsas de poliestireno donde se colocó un papel húmedo con el fin de que la planta se mantuviera en equilibrio hídrico disminuyendo la pérdida de agua por transpiración, mientras era trasladada al laboratorio de Fisiotecnia Vegetal.

Dos determinaciones más de Ψ_w se realizaron siguiendo la metodología mencionada, a los 12 días después de haberse dado el riego a saturación y a los 23 días después del riego a saturación. Los datos se registraron en unidades Megapascuales (MPa). Se realizaron dos determinaciones de clorofila a, b y total, cada una de las mediciones coincidió con las del Ψ_w . Se muestrearon tres hojas sanas y turgentes por planta, de las cuales se extrajeron con un sacabocados tres círculos por hoja, se pesaron y se utilizó el método de extracción en acetona del tejido foliar. Se registró la absorbancia con un espectrofotómetro UV/Visible (model HELIOS OMEGA, Thermo Scientific, Finland), y se estimaron la clorofila a y b aplicando las siguientes funciones (Strain y Svec, 1966):

$$\text{Chlorophyll a (mg ml}^{-1}\text{)} = 11.64 (A663) - 2.16 (A645)$$

$$\text{Chlorophyll b (mg ml}^{-1}\text{)} = 20.97 (A645) - 3.94 (A663)$$

Donde A663 y A645 corresponden a los valores de absorbancia de la longitud de onda (λ) de 663 nm y 645 nm, respectivamente.

La clorofila total se calculó como la suma de la clorofila a y b.

Análisis Estadístico

Los resultados de las diferentes variables se sometieron a pruebas de homocedasticidad y normalidad de Shapiro-Wilks para posteriormente ser analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) factorial con una confiabilidad de 95%, en caso de resultar con diferencias estadísticas, los tratamientos se compararon con la prueba de rango múltiple Tukey al 0.05 de nivel de confianza, se analizaron usando un programa de cómputo de Statistica ver. 10.0. (Statsoft, 2011). Los datos de humedad del suelo expresados en porcentaje fueron transformados para su análisis a través del arco seno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variabes Edáficas

Los resultados de los análisis físicos del vermicompost y suelo mostraron que el contenido de Materia orgánica (MO) se encuentra por debajo de la normatividad mexicana (NMX-Ff-109-SCFI-2007, 2008) que establece que la MO sea del 20 al 50%. Sin embargo, están por encima de valores que se han encontrado en trabajos como los de Aguilar-Benítez *et al.* (2012) con 1.5% de MO en tratamientos con vermicompost y que representaron una mejora comparada con suelos sin vermicompost. Respecto a la densidad aparente para el caso del vermicompost y suelo, se encontraron valores por arriba de los valores de la normatividad mexicana que establece valores de entre 0.4 y 0.9 g cm⁻³ (NMX-Ff-109-SCFI-2007, 2008), (Cuadro 1). De acuerdo con la FAO (2009) valores de densidad aparente bajos (generalmente por debajo de 1.3 g cm⁻³)

Cuadro 1. Resultados del análisis de las características físicas del suelo y vermicompost.
Table 1. Soil and vermicompost physical characteristics analysis results.

	Saturación	Da	CC	PMP	Pe	M.O.
	%	g cm ⁻³	%			
Vermicomposta	92.72	0.98	22.3	1.36	1.68	12.5
Suelo	--	1.57	20.8	2.5	--	0.1

Da = densidad aparente (Jackson, 1976); CC = capacidad de campo*; PMP = punto de marchitez permanente*; Pe = porosidad*; -- = no determinado (*Ortiz y Ortiz, 1990); M.O. = materia orgánica (Walkley y Black, 1934).

Da = apparent density (Jackson, 1976); CC = field capacity*; PMP = wilting coefficient*; Pe = porosity; -- = non determined (*Ortiz and Ortiz, 1990); M.O. = organic matter (Walkley y Black, 1934).

indican una condición porosa del suelo. De acuerdo con el valor obtenido para el vermicompost y suelo (0.98 y 1.57 g cm^{-3} respectivamente), el vermicompost posee una porosidad mayor con respecto a la del suelo, por lo que su incorporación mejora la condición del suelo. A diferencia de lo encontrado por Castro-Rivera *et al.* (2022) donde el compost presentó valores de densidad aparente de 1.34 cm^3 , casi igual al suelo (1.37 g cm^{-3}) al cual incorporan el vermicompost.

Humedad de Suelo

Los resultados de la humedad del suelo mostraron que la humedad promedio durante los primeros seis días se mantuvo sin diferencias estadísticas entre los tratamientos SSD (22.9%), SCD (20.9%), SVSD (22%) y SVCD (21.9%) ($P > 0.05$) (Figura 1), debido a que se inició con un riego a saturación para todos los tratamientos. A partir del sexto día se presentó la diferencia entre los tratamientos con déficit hídrico tanto con y sin vermicompost (SCD y SVCD) y los de sin déficit hídrico (SSD y SVSD). El déficit hídrico edáfico fue diferente entre las fechas de evaluación, registrando los valores más bajos para el día 23 donde el tratamiento SCD presentó una humedad del 4% y para el día 24 el tratamiento SVCD con una humedad del 5%. Las diferencias estadísticas ($P < 0.05$) correspondieron a plantas bajo déficit hídrico y que presentaron un porcentaje medio de humedad más bajo (18.7) comparado a las plantas sin déficit hídrico (23.6), (Cuadro 2). De acuerdo con el Cuadro 2 las diferencias estadísticas corresponden más al déficit hídrico que a la condición del vermicompost. Si bien se ha documentado que la incorporación del vermicompost en el suelo mejora la retención de humedad en el suelo para los cultivos de frijol, quinoa, moringa y arroz (Tharmaraj, Ganesh, Kolanjinathan, Suresh-Kumar y Anandan, 2011; Aguilar-Benítez *et al.*, 2012; Hirich, Choukr-Allah y Jacobsen, 2014; Demir (2019), los resultados encontrados en este trabajo difieren de ello. Pedroza-Sandoval, Yáñez, Sánchez y Samaniego (2015) menciona que la adición de vermicompost no tiene diferencias significativas cuando se trata de humedad de suelo en un cultivo, debido a una dosis insuficiente de este abono, señala que se debe de utilizar dosis superiores de 40 Mg ha^{-1} para que pueda tener un efecto favorable. Lo anterior quiere decir que una dosis de 4.5 Mg ha^{-1} que se usó en este estudio y que se acostumbra aplicar en Baja California Sur por algunos agricultores parece no ser suficiente para incrementar en el porcentaje de humedad.

Cuadro 2. Resultado de la variable humedad del suelo (%) entre los tratamientos Suelo-vermicompost-déficit hídrico (SVCD), suelo-déficit hídrico (SCD), suelo-vermicompost-sin déficit hídrico (SVSD) y suelo-sin déficit hídrico (SSD).

Table 2. Result of the variable soil moisture (%) between the treatments Soil-vermicompost-water deficit (SVCD), soil-water deficit (SCD), soil-vermicompost-without water deficit (SVSD) and soil-without water deficit (SSD).

Tratamientos	Humedad
	%
SVCD	18.57 b*
SCD	18.98 b
SVSD	24 a
SSD	23.16 a

*Medias con letras iguales dentro de cada columna son estadísticamente iguales, según Tukey ($P \leq 0.05$).

*Means with same letters within each column are statistically equal, according to Tukey ($P \leq 0.05$).

Estado Hídrico de la Planta y Contenido de Clorofila

Las plantas presentaron características de estrés hídrico (pérdida de turgencia sostenida) a los 13 días de haberse realizado el riego a saturación, por lo que se realizó una primera medición de potencial hídrico de la planta (Ψ_w). El día de medición correspondió a un porcentaje de humedad en suelo para cada tratamiento de: SVCD 7%, SVSD 17%, SCD 9%, SSD 16% (Figura 1). A partir de que las plantas empezaron a mostrar signos de estrés hídrico la tendencia fue la misma a lo largo del experimento. La segunda medición del potencial hídrico se realizó a los 23 días de que se dio el riego a saturación, los resultados estadísticos muestran que las diferencias significativas de Ψ_w corresponden más al déficit hídrico que a los tratamientos con vermicompost (Cuadro 3). Los porcentajes de humedad que se presentaron en la segunda fecha de medición del Ψ_w fueron menores a la primera medición: SVCD 6%, SVSD 14%, SCD 4%, SSD 12% (Figura 1).

Los resultados del Ψ_w de este estudio coinciden con los expuesto por Hayat, Ahmed, Zarebanadkouki, Cai y Carminati (2019) quienes comentan que conforme el suelo se seca el potencial hídrico de la planta decrece. En el presente estudio los menores valores de Ψ_w correspondieron los tratamientos con menor humedad.

Por su parte, los resultados de clorofila no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los factores estudiados, pero si entre las fechas de muestreo que se realizaron una coincidiendo con la primera medición del Ψ_w y la segunda con el segundo muestreo del Ψ_w , disminuyendo del primero al segundo muestreo (Cuadro 4).

La diferencia entre los valores de clorofila a, b y total (Cuadro 4) del primer muestreo corresponden casi a un 50% menos que en el segundo muestreo. Esto se

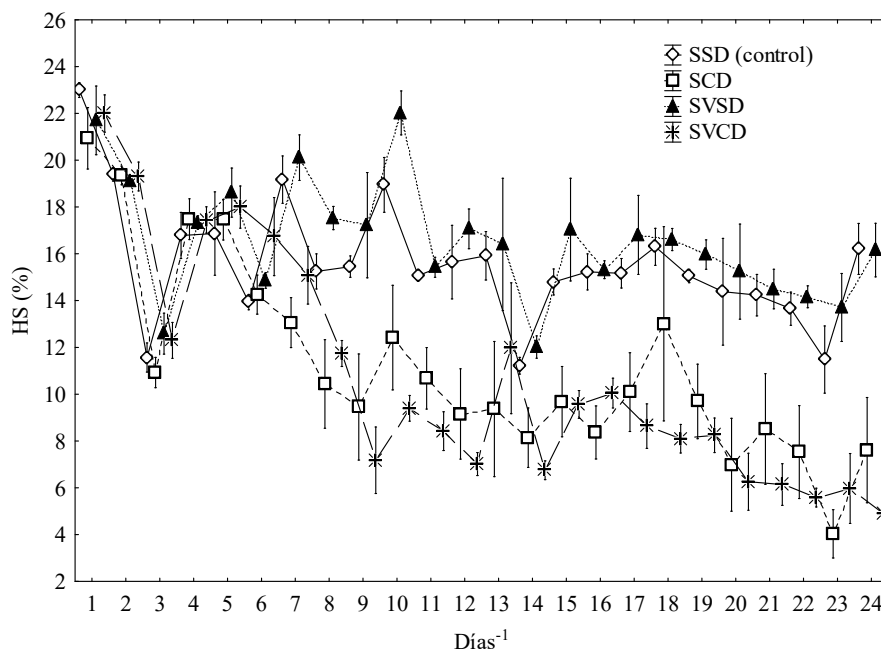


Figura 1. Humedad de suelo de los tratamientos, Suelo Sin Déficit (SSD), Suelo Con Déficit (SCD), Suelo Vermicompost Sin Déficit (SVSD) y Suelo Vermicompost Con Déficit (SVCD), a través del tiempo de experimentación. Las barras verticales representan el error estándar de la media.

Figure 1. Soil moisture of the treatments, Soil Without Deficit (SSD), Soil with Deficit (SCD), Vermicompost Soil Without Deficit (SVSD) and Vermicompost Soil with Deficit (SVCD), through the time of experimentation. The vertical bars represent the standard error of the mean.

Cuadro 3. Resultado de la variable potencial hídrico de la planta (Ψ_w) entre los tratamientos Suelo-vermicompost-déficit hídrico (SVCD), suelo-déficit hídrico (SCD), suelo-vermicompost-sin déficit hídrico (SVSD) y suelo-sin déficit hídrico (SSD).**Table 3. Result of the water potential variable of the plant (Ψ_w) between the treatments Soil-vermicompost-water deficit (SVCD), soil-water deficit (SCD), soil-vermicompost-without water deficit (SVSD) and soil-without water deficit (SSD).**

Tratamientos	Ψ_w (MPa)	
	Fecha 1	Fecha 2
SSD	-3 a**	-1.53 a**
SVSD	-2.2 a	-1.38 a
SCD	-7 b	-5.51 b
SVCD	-3.5 a	-5.20 b

**Medias con letras iguales dentro de cada columna son estadísticamente iguales, según Tukey ($P \leq 0.01$).

**Means with the same letters within each column are statistically equal, according to Tukey ($P \leq 0.01$).

debió a que en el primer muestreo de clorofila el estrés hídrico no se presentaba en un 100%, es decir, el suelo aún mostraba un índice medio de humedad. Con respecto al segundo muestreo la humedad tuvo un descenso y correspondió a una degradación de este pigmento. Esto es sustentado por Hosseinzadeh, Amiri y Ismaili (2016) quienes comentan que un alto estrés de sequía estimula la degradación de clorofila. Por otro lado, Pimienta-Barrios, Robles y Martínez (2012) menciona que la pérdida de clorofila es uno de los impactos de la sequía y es considerada como un importante indicador de estrés por sequía fisiológica. Sin embargo, la disminución de clorofila en condiciones de sequía también es considerada un mecanismo para disminuir la absorción de la luz y así reducir la fotoinhibición.

Morfometría

El factor de fertilización mediante el uso de vermicompost no presentó diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables morfométricas de las plantas de menta (Cuadro 5). Las diferencias correspondieron al factor déficit hídrico en las variables de peso seco de la hoja (PSH), longitud de raíz (LR), peso seco del tallo (PST), peso seco de raíz (PSR), (Cuadro 5). Todas las variables presentaron los mayores valores para las plantas que no estuvieron sometidas a déficit hídrico (Cuadro 6). Los resultados de este trabajo coinciden con los de Hirich *et al.* (2014) quienes, para plantas bajo tratamientos combinados de déficit hídrico y uso de abonos orgánicos, encontraron que los pesos secos individuales de la planta se vieron afectados negativamente por el déficit hídrico, sin embargo, no se presentaron diferencias con los tratamientos de abonos orgánicos. Por otro lado, la disminución de la biomasa en las variables PSH, PST y PSR debidas al déficit hídrico coinciden con los del trabajo de Balaguera, Álvarez y Rodríguez (2008) (Cuadro 6). Ellos mencionan que los valores menores de biomasa total en los tratamientos con bajos niveles de humedad se atribuyen a una disminución del potencial de turgencia y cierre de

Cuadro 4. Resultados de clorofila ($\mu\text{g cm}^{-2}$) de los dos muestreos realizados en plantas de menta bajo estrés hídrico y vermicompost.**Table 4. Chlorophyll results ($\mu\text{g cm}^{-2}$) of the two samplings carried out on mint plants under water stress and vermicompost.**

	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
Primer muestreo	17.4±1.8 a	5.95±0.7 a	23.3±2.6 a
Segundo muestreo	7.6±1.4 b	2.7±0.5 b	10.3±1.9 b

*Medias con letras diferentes por columna indican diferencia estadística Tukey ($P \leq 0.05$).

*Means with the same letters within each column are statistically equal, according to Tukey ($P \leq 0.05$).

Cuadro 5. Promedios de las variables morfométricas entre los tratamientos Suelo-vermicompost-déficit hídrico (SVCD), suelo-déficit hídrico (SCD), suelo-vermicompost-sin déficit hídrico (SVSD), suelo-sin déficit hídrico (SSD).
Table 5. Averages of morphometric variables between treatments Soil-vermicompost-water deficit (SVCD), soil-water deficit (SCD), soil-vermicompost-without water deficit (SVSD), soil-without water deficit (SSD).

Tratamientos	Tallo				Hoja			Raíz	
	LT	PF	PS	AF	PF	PS	Long	PF	PS
	cm	g		cm ²	g		cm	g	
SSD	5.4ns	42ns	3ns	43ns	8ns	3ns	30.6ns	80ns	17ns
SVSD	5.1ns	52ns	3ns	46ns	9ns	4ns	26.8ns	121ns	32ns
SCD	5.2ns	118ns	5ns	57ns	9ns	5ns	28ns	127ns	36ns
SVCD	5.5ns	63ns	4ns	54ns	9ns	5ns	30.8ns	134ns	49ns

ns = no significativo; Long = longitud; PF = peso fresco; PS = peso seco; AF = área foliar.
 ns = non-significant; Long = length; PF = fresh weight; PS = dry weight; AF = leaf area.

estomas, debido a la baja humedad del suelo y potencial hídrico más negativo, lo que provoca que las diferencias en la presión de turgencia generen un área foliar menor para plantas cultivadas bajo sequía (May-Lara, Pérez, Ruiz, Ic-Caamal y García, 2011; Florido y Bao, 2014). Por otro lado, las variables longitud del tallo, área foliar, peso fresco de hojas, tallo y raíz, no se vieron afectadas por la insuficiencia de agua, es decir, la producción de la planta fue igual para ambos tratamientos (Cuadro 5). Resultados similares se obtuvieron por Luna-Flores, Estrada, Jiménez y Pinzón-López (2012) quienes encontraron que las variables morfométricas como altura, longitud de la raíz, número de hojas y biomasa no fueron afectadas por el estrés hídrico.

El vermicompost no tuvo influencia en la morfometría de la planta, es decir, las dimensiones finales de las partes de las plantas fueron similares para aquellas plantas sin vermicompost que para las que se les adicionó este abono. Lo anterior coincide con los resultados de Acosta-Durán, Vázquez, Villegas, Vence y Acosta (2014) en plantas de *Ageratum houstonianum* con tratamientos de vermicompost a una dosis baja del 25% sin efecto en variables morfométricas. Por lo que, la dosis de vermicompost en este trabajo pudo haber sido baja como para no provocar estadísticamente significativas en las plantas.

Al analizar los resultados de la tasa de crecimiento relativo de los diferentes órganos de la planta, tallo, hojas y raíz, sólo se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el factor vermicompost. Los tratamientos con vermicompost presentaron una tasa de crecimiento relativo menor, es decir, una velocidad de crecimiento menor del peso seco del tallo (0.04 y 0.03) comparados con los tratamientos sin vermicompost (0.06) (Cuadro 7). La tasa de crecimiento relativo de los pesos frescos y área foliar del resto de los órganos no presentaron diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 7).

Cuadro 6. Promedios de la comparación entre medias de tratamientos con déficit hídrico (DH) y sin déficit hídrico (SDH), para el peso seco de hojas (PSH), longitud de raíz (LR), peso seco del tallo (PST) y peso seco de la raíz (PSR).

Table 6. Averages of the comparison between means of treatments with water deficit (DH) and without water deficit (SDH), for dry weight of leaves (PSH), root length (LR), dry weight of the stem (PST) and dry weight of the root (PSR).

Tratamientos	PSH	LR	PST	PSR
	g	cm	g	
DH	13.4 b	31 b	3 b	23 b
SDH	24 a	53 a	4 a	43 a

**Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes, según Tukey ($P \leq 0.01$).

**Means with the same letters within each column are statistically equal, according to Tukey ($P \leq 0.01$).

Cuadro 7. Promedios de la de Tasa de crecimiento (TC) relativo de tallo, hoja y raíz de los tratamientos Suelo-vermicompost-déficit hídrico (SVCD), suelo-déficit hídrico (SCD), suelo-vermicompost-sin déficit hídrico (SVSD), suelo-sin déficit hídrico (SSD).
Table 7. Relative growth rate (TC) averages of stem, leaf and root treatments Soil-vermicompost-water deficit (SVCD), soil-water deficit (SCD), soil-vermicompost-without water deficit (SVSD), soil-without water deficit (SSD).

Tratamientos	Tallo			Hoja			Raíz		
	LT	PF	PS*	PF	PS *	LR	PF	PS	
	cm	g			g			cm	g
SSD	0.031	0.05	0.06	0.03	0.01	0.01	0.04	0.04	
SVSD	0.018	0.03	0.04	0.02	0.01	0.009	0.04	0.04	
SCD	0.023	0.05	0.06	0.03	0.04	0.02	0.04	0.05	
SVCD	0.023	0.04	0.03	0.03	0.05	0.02	0.05	0.06	

*Diferencia entre tratamientos con vermicompost.

*Differences between vermicompost treatments.

CONCLUSIONES

El efecto del déficit hídrico edáfico en plantas de menta se manifestó como un potencial hídrico negativo. La incorporación de vermicompost en una dosis de 4.5 Mg ha⁻¹ que se maneja de forma cotidiana por algunos productores de Baja California Sur para la menta parece ser insuficiente para mitigar los efectos en el crecimiento de plantas de menta con déficit hídrico. La generación de información como el presente trabajo genera antecedentes para seguir realizando estudios acerca de las dosis mejores para cultivos como la menta.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FONDOS

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: A.N.G., y C.S.R.Z. Metodología: A.N.G., C.S.R.Z., E.G.G., G.L.V., y B.M.A. Análisis formal: A.N.G., C.S.R.Z., E.T.D., y B.M.A. Investigación: C.S.R.Z., A.N.G., y E.G.G. Recursos: A.N.G. Escritura, preparación del borrador original: C.S.R.Z. Escritura, revisión y edición: A.N.G., E.T.D., y B.M.A. Supervisión: A.N.G. Administración del proyecto: A.N.G. Adquisición de fondos: A.N.G.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con el apoyo de una beca a través del proyecto Ciencia Básica de COANCYT "Análisis del sistema suelo-planta-atmósfera de cultivos con hierbas aromáticas dentro de malla sombra por medio de algoritmos multivariantes inteligentes" con clave CB-2014-01/236240. A los técnicos de los diferentes laboratorios del CIBNOR: Lic. Lidia Hilaes Lucero y Dra. María del Carmen Mercado Guido por su apoyo en el laboratorio de fisiotecnia vegetal, M.C. Manuel S. Trasviña Castro por su apoyo en los análisis del laboratorio de edafología y a los técnicos de campo experimental del CIBNOR, Saúl E. Briseño Ruiz, Pedro Luna García, José Raymundo Ceseña Núñez, Adrián Jordán Castro.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Durán, C., Vázquez-Benítez, N., Villegas-Torres, O., Vence, L. B., & Acosta-Peñaloza, D. (2014). Vermicomposta como componente de sustrato en el cultivo de *Ageratum houstonianum* Mill. y *Petunia hybrida* E. Vilm. en contenedor. *Bioagro*, 26(2), 107-114.
- Aguilar-Benítez, G., Peña-Valdivia, C. B., García-Nava, J. R., Ramírez-Vallejo, P., Benedicto-Valdés, S. G., & Molina-Galán, J. D. (2012). Rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en relación con la concentración de vermicompost y déficit de humedad en el sustrato. *Agrociencia*, 46(1), 37-50.
- Balaguera, H. E., Álvarez-Herrera, J. G., & Rodríguez, J. D. (2008). Effect of the water deficit on the transplant of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *Agronomía Colombiana*, 26(2), 246-255.
- Castro-Rivera, R., Aguilar-Benítez, G., Peña-Valdivia, C. B., Cruz-Crespo, E., Solís-Oba, M. M., & Lara-Ávila, J. P. (2022). Reacciones fisiológicas y crecimiento inicial de maíz tuxpeño con vermicompost y suspensión de riego. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(13), 1-10.
- Del Valle-Florencia, H. (1992). *Prácticas de Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmósfera*. Chapingo, Texcoco, México: Editorial Departamento de Publicaciones de la Dirección de Difusión Cultural de la Universidad Autónoma de Chapingo. ISBN: 9688841900
- Demir, Z. (2019). Effects of Vermicompost on Soil Physicochemical Properties and Lettuce (*Lactuca sativa* Var. Crispa) Yield in Greenhouse under Different Soil Water Regimes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(17), 2151-2168. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1654508>
- NMX-Ff-109-SCFI-2007 (Norma Oficial Mexicana). (2008). Humus de Lombriz (Lombricomposta)-Especificaciones y Métodos de Prueba, publicada el 10 de junio de 2008, *Diario Oficial de la Federación*. México, D. F.: SEGOB.
- Ebrahimi, M., Souri, M. K., Mousavi, A., & Sahebani, N. (2021). Biochar and vermicompost improve growth and physiological traits of eggplant (*Solanum melongena* L.) under deficit irrigation. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8(19), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00216-9>
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2009). *Guía para descripción de suelo*. Roma Italia: FAO.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization Statistics). (2014). *Base de datos estadísticos*. Consultada el 28 de abril, 2020, desde <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Florido-Bacallao, M., & Bao-Fundora, L. (2014). Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales*, 35(3), 70-88.
- Garza-Torres, R., Troyo-Diéguez, E., Nieto-Garibay, A., Lucero-Vega, G., Magallón-Barajas, F. J., García-Galindo, E., ... Murillo-Amador, B. (2020). Environmental and Management Considerations for Adopting the Halophyte *Salicornia bigelovii* Torr. as a Sustainable Seawater-Irrigated Crop, *Sustainability*, 12(707), 1-14. <https://doi.org/10.3390/su12020707>
- Gutiérrez, J., Villa-Medina, J. F., Nieto-Garibay, A., & Porta-Gándara, M. Á. (2014). Automated Irrigation System Using a Wireless sensor network and GPRS module. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 60(1), 166-176. <https://doi.org/10.1109/TIM.2013.2276487>
- Hayat, F., Ahmed, M. A., Zarebanadkouki, M., Cai, G., & Carminati, A. (2019). Measurements and simulation of leaf xylem water potential and root water uptake in heterogeneous soil water contents. *Advances in Water Resources*, 124, 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2018.12.009>
- Hirich, A., Choukr-Allah, A. R., & Jacobsen, S. E. (2014). The combined effect of deficit irrigation by treated wastewater and organic amendment on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) productivity. *Desalination and Water Treatment*, 52(10-12), 2208-2213. <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.777944>
- Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H., & Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica*, 54, 87-92. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0162-x>
- Jackson, M. L. (1976). *Análisis Químico de Suelos*. Barcelona, España: Editorial Omega. ISBN: 9788428202619
- Juárez-Rosete, C. R., Aguilar-Castillo, J. A., Juárez-Rosete, M. E., Bugarín-Montoya, R., Juárez-López, P., & Cruz-Crespo, E. (2013). Hierbas aromáticas y medicinales en México: Tradición e innovación. *Revista Bio Ciencias*, 2(3), 119-129.

- Luna-Flores, W., Estrada-Medina, H., Jiménez-Osornio, J. J. M., & Pinzón-López, L. L. (2012). Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 343-353.
- May-Lara, C., Pérez-Gutiérrez, A., Ruiz-Sánchez, E., Ic-Caamal, A. E., & García-Ramírez, A. (2011). Efecto de niveles de humedad en el crecimiento y potencial hídrico de *Capsicum chinense* Jacq. Y su relación con el desarrollo de *Bemisia tabaci* Genn. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(3), 1039-1045.
- Ortiz, V. B., & Ortiz, S. C. A. (1990). Edafología. Chapingo, Texcoco, México: Editorial AUACH.
- Pedroza-Sandoval, A., Yáñez-Chávez, L. G., Sánchez-Cohen I., & Samaniego-Gaxiola, J. A. (2015). Efecto del hidrogel y vermicomposta en la producción de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(4), 375-381.
- Pimienta-Barrios, E., Robles-Murguía C., & Martínez-Chávez, C. C., (2012). Respuesta ecofisiológica de árboles jóvenes nativos y exóticos a sequía y lluvia. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(SPE5), 15-20.
- Ramnarain, Y. I., Ansari, A. A., & Ori, L. (2019). Vermicomposting of different organic materials using the epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8, 23-36. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0225-7>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquero). (2019). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Consultado el 27 de junio, 2022, desde <https://www.gob.mx/siap>
- Statsoft. (2011). *STATISTICA User's Guide*. Version 10. Tulsa, OK, USA: Statsoft Inc.
- Strain, H. H., & Svec, W. A. (1966). Extraction, separation, estimation, and isolation of the chlorophylls. In: L. P. Vernon, & G. R. Seely (Eds.). *The Chlorophylls* (pp. 21-66). London, United Kingdom: Academic Press.
- Tharmaraj, K., Ganesh, P., Kolanjinathan, K., Suresh-Kumar, R., & Anandan, A. (2011). Influence of vermicompost and vermiwash on physico chemical properties of rice cultivated soil. *Current Botany*, 2(3), 1-4.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>
- Xiong, D., & Nadal, M. (2020). Linking water relations and hydraulics with photosynthesis. *The Plant Journal*, 101, 800-815. <https://doi.org/10.1111/tpj.14595>