



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

MITIGACIÓN DEL DÉFICIT HÍDRICO EN *Mentha
spicata* L. CON FERTILIZANTES ORGÁNICOS,
EXPRESADO EN VARIABLES FISIOLÓGICAS Y DE
PRODUCCIÓN.

T E S I S

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Agricultura Sustentable)

P r e s e n t a

Emilio García Galindo

La Paz, Baja California Sur, mayo de 2018.

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 12:00 horas del día 12 del Mes de marzo del 2018, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

"Mitigación del déficit hídrico en *Mentha spicata* L. con fertilizantes orgánicos, expresado en variables fisiológicas y de producción"

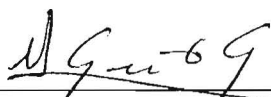
Presentada por el alumno:

Emilio García Galindo

Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN Agricultura Sustentable

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA



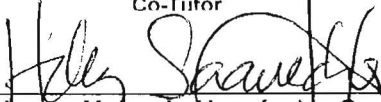
Dra. Alejandra Niéto Garibay
Director de Tesis



Dr. Bernardo Murillo Amador
Co-Tutor



Dr. Enrique Troyo Diéguez
Co-Tutor



Dra. Norma Yolanda Hernández Saavedra,
Directora de Estudios de Posgrado y
Formación de Recursos Humanos

Conformación de Comités

Comité Tutorial

Dra. Alejandra Nieto Garibay
Directora de tesis (CIBNOR)

Dr. Bernardo Murillo Amador
Co-Tutor (CIBNOR)

Dr. Enrique Troyo Diéguez
Co-Tutor (CIBNOR)

Comité Revisor de Tesis

Dra. Alejandra Nieto Garibay
Dr. Bernardo Amador
Dr. Enrique Troyo Diéguez

Jurado de Examen

Dra. Alejandra Nieto Garibay
Dr. Bernardo Murillo Amador
Dr. Enrique Troyo Diéguez

Suplente

Dra. Lilia Alcaraz Meléndez

Resumen

El estrés por déficit hídrico es considerado como el factor más limitante en la producción agrícola a nivel mundial. Esta condición genera adaptaciones morfológicas y fisiológicas en las plantas para lograr su desarrollo. La aplicación de fertilizantes orgánicos contribuye a mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo, aumentando la retención de humedad en el mismo. La diversidad de fertilizantes orgánicos es reducida, las compostas y vermicompostas suelen ser los más empleados a nivel mundial, y en los últimos años, algunos estudios demuestran que el uso de organismos marinos puede ser empleados con este fin, como es el caso de algunas especies de medusas. Bajo este contexto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta de un cultivo de *Mentha spicata* L., bajo tratamientos de déficit hídrico, y el rol de dos fertilizantes orgánicos en la mitigación de los efectos provocados por esta condición estresante. El experimento se estableció en un diseño de bloques al azar con arreglo en franjas que constó de dos factores de variación. Uno de los factores fue la fertilización, con tratamientos de medusa, vermicomposta y un grupo control, y el segundo factor, de déficit hídrico con sólo un nivel de déficit y un grupo control. Se midieron variables de respuesta del suelo como temperatura, potencial mátrico y porcentaje de humedad. Fisiológicos como fotosíntesis, contenido de clorofila "a", "b" y total, contenido indirecto de clorofila en unidades SPAD. Morfométricos como peso fresco y seco de hoja, tallo y raíz; índice de área foliar. Relaciones hídricas como potencial hídrico, contenido relativo de agua y potencial osmótico foliares. Finalmente se determinó el aporte mineral de los tratamientos. Los resultados obtenidos sugieren que *Mentha spicata* L., mantiene su producción en un escenario de déficit hídrico, a través, del ajuste osmótico, con lo cual mantiene el contenido relativo de agua (CRA) a nivel celular y potenciales hídricos bajos. Lo anterior demostrado a través de un incremento en el potencial osmótico y en el contenido de minerales en la planta que sirven como osmolitos en la misma. Por otro lado, mediante el cierre parcial de sus estomas provoca una menor pérdida de agua, lo cual a su vez provocó una reducción en su tasa fotosintética y su nivel de CO₂ subestomático, sin embargo, el análisis morfométrico mostró que esto no le impide sacrificar su producción. Así mismo, se observó un incremento en el desarrollo radicular en los tratamientos sometidos a déficit hídrico, el cual parece ser estimulado por la fertilización, en la que se obtuvieron los mayores pesos frescos y secos en la aplicación de medusa.

Palabras clave: Estrés hídrico, Ajuste osmótico, Fertilizantes orgánicos.

Vo.Bo.  |
Dra. Alejandra Nieto Garibay
Director de Tesis

Summary

Water stress is considered the most limiting factor in crop production worldwide. This condition induces morphological and physiological adaptations on plants in order to achieve their development. Application of organic amendments contributes to improve physical and chemical soil conditions, increasing water retention. The diversity of organic amendments is limited. Composts and vermicomposts are usually the most used worldwide, however in recent years, some studies showed that some marine organisms can be used for this purpose, such as some jellyfish species. Under this context the present study's objective was to evaluate the response of a *Mentha spicata* L. crop under a water stress scenario, and the role of two organic amendments on the mitigation of the effects caused by this stressful condition. The experiment was established in a random block design with a striped arrangement that consisted of two variation factors. A fertilization factor with treatments jellyfish and vermicompost treatments, and a control group. The second factor, with a single level of water deficit and a control group. Temperature, matric potential and moisture percentage were measured as comparative soil variables. Photosynthesis, Chlorophyll "a", "b", total content and indirect chlorophyll in SPAD units content, as physiological variables. Leaf, stem and root fresh and dry weights, as well as foliar area index were used as morphometric parameters. As water relations parameters, leaf water potential, relative water content and leaf osmotic potential were used as comparative variables. Finally, mineral content was determined in all treatments. The present study results suggest that *Mentha spicata* L., is able to maintain their production in spite of being submitted to a water stress deficit scenario through an osmotic adjustment strategy, keeping their cellular relative water content (RWC) and low water potential levels. It was observed through an increase in osmotic potential and mineral elements as osmolytes. Even when this makes the plant to partially close its stomata to prevent water loss, which in turn causes a reduction in its photosynthetic rate and its substomatic CO₂ level, the morphometric analysis showed that this does not prevent it from sacrificing their production. Likewise, an increase in root development was observed in treatments subjected to water deficit, which seems to be stimulated by fertilization, in which the highest fresh and dry weights were obtained with jellyfish fertilization.

Keywords: *Water stress, Osmotic adjustment, Organic amendments.*

Vo.Bo. 
Dra. Alejandra Nieto Garibay
Director de Tesis

Dedicatoria

A mis padres y hermana por su apoyo incondicional en cada nuevo reto de mi vida.

A todas esas personas que directa o indirectamente forman parte de este trabajo.

Agradecimientos

Aprovecho este espacio para agradecer a todas las personas que forman parte de este trabajo. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada con número 590663 para realizar mi trabajo de maestría. Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) por la oportunidad de realizar mis estudios de maestría en sus instalaciones. Este trabajo se realizó como parte de los objetivos del proyecto Ciencia Básica de CONACyT "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. Al personal del programa de posgrado del CIBNOR, Dra. Norma Hernández Saavedra, Lic. Leticia González Rubio Rivera, Lic. Osvelia Ibarra Morales, Tania Núñez Valdés, Horacio Sandoval Gómez, por el apoyo brindado durante esta etapa.

A mi directora Dra. Alejandra Nieto Garibay por su dirección, confianza, paciencia infinita y amistad brindada durante este periodo de formación. A mi comité tutorial Dr. Enrique Troyo Diéguez y Dr. Bernardo Murillo Amador por su apoyo y participación en este trabajo de investigación.

A la Dra. Lucía Ocampo Victoria por su disposición y ayuda en la captura e información de la medusa bola de cañón. A la Lic. Lidia Hiraes Lucero y M.C. Carmen Mercado Guido por su apoyo invaluable en el Laboratorio de Fisiotecnia Vegetal y Campo Agrícola Experimental. A los técnicos del Campo Agrícola Experimental Raymundo Ceseña Núñez, Adrián Jordán Castro, Saúl Edel Briseño Ruíz y Pedro Luna García por su apoyo y solidaridad durante la realización de mi experimento. Al M.C. Manuel Salvador Trasviña, M.C. Alondra Martínez Hernández, M.C. Horacio Bervera León, M. C. Griselda Francisca Peña Armenta, M. C. Roberto Hernández Herrera, M.C. Mónica A. Reza Sánchez por el apoyo brindado en los laboratorios de Edafología, Recursos Bentónicos y Modelación Bioeconómica, Espectrofotometría de Absorción Atómica, Bioquímica Fisiológica y de Respiración, respectivamente.

A mis amigos y compañeros de maestría por su apoyo, consejos y solidaridad.

Contenido

Resumen.....	i
Summary.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Lista de figuras.....	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1 Importancia del agua en las plantas.....	3
2.2 Déficit hídrico: relevancia de su estudio.....	3
2.3 Estrategias para soportar el estrés por déficit hídrico.....	5
2.4 Agricultura orgánica.....	8
2.5 Agricultura orgánica en el mundo y en México.....	9
2.6 Estudios con la especie <i>Mentha spicata</i> L.....	11
2.7 Vermicomposta como fertilizantes orgánicos.....	12
2.8 Medusa como alternativa de fertilizante orgánico.....	14
3. JUSTIFICACIÓN.....	15
4. HIPÓTESIS.....	16
5. OBJETIVOS.....	16
5.1 Objetivo general.....	16
5.1.2 Objetivos particulares.....	16
6. MATERIAL Y MÉTODOS.....	17
6.1 Área de estudio.....	17
6.2 Material vegetativo y establecimiento del cultivo.....	17
6.3 Obtención de vermicomposta y medusa.....	18
6.3.1 Vermicomposta.....	18
6.3.2 Medusa.....	18
6.4 Determinación de la dosis de fertilizantes.....	19
6.5 Diseño experimental y tratamientos.....	19
6.6 Establecimiento de experimento y aplicación de tratamientos.....	20
6.6.1 Vermicomposta.....	21
6.6.2 Medusa.....	21
6.6.3 Tratamiento de déficit hídrico.....	21
6.7 Muestreos y variables de respuesta.....	22
6.8 Caracterización de variables físico-químicas del suelo, vermicomposta y medusa.....	23

6.8.1 Suelo	23
6.8.2 Vermicomposta	24
6.8.3 Medusa	24
6.9 Variables del suelo: temperatura y estado hídrico	25
6.9.1 Temperatura.....	25
6.9.2 Humedad del suelo	25
6.9.3 Potencial mátrico	26
6.10 Variables de la planta: relaciones hídricas	27
6.10.1 Potencial hídrico	27
6.10.2 Potencial osmótico	28
6.10.3 Contenido relativo de agua.....	28
6.11. Variables de la planta: fisiología	29
6.11.1 Fotosíntesis.....	30
6.11.2 Clorofila a, b y total	30
6.11.3 Contenido Relativo de Clorofila en unidades SPAD.....	31
6.12 Variables de la planta: Morfometría.....	31
6.12.1 Primer muestreo de morfometría.....	31
6.12.2 Segundo muestreo de morfometría.....	33
6.13 Variables de la planta: contenido mineral.....	35
6.13.1 Preparación de las muestras.....	35
6.13.2 Determinación del contenido mineral.....	35
6.14 Análisis estadísticos.....	35
7. RESULTADOS	36
7.1 Caracterización de variables físico-químicas del suelo, vermicomposta y medusa.	36
7.1.1 Caracterización química del suelo, vermicomposta y medusa.	36
7.1.2 Caracterización física del suelo y vermicomposta.	37
7.2 Evolución de la humedad del suelo, potencial mátrico y temperatura.	37
7.2.1 Humedad del suelo	37
Figura 12. Humedad promedio del suelo por tratamiento y muestreo, a lo largo del experimento. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media (n=1,615).	40
7.2.2 Potencial mátrico	40

7.2.3 Temperatura del suelo.....	41
7.3 Evaluación del estado hídrico para cada tratamiento de déficit hídrico y fertilización.	44
7.3.1 Potencial hídrico foliar	44
7.3.2 Potencial osmótico	45
7.3.3 Contenido Relativo de Agua.....	46
7.4 Evolución de la clorofila, fotosíntesis, transpiración, y conductancia estomática en los diferentes tratamientos.....	48
7.4.1 Clorofila.....	48
7.4.1.1 Clorofila a	48
7.4.2 Fotosíntesis	54
7.5 Variables morfométricas.....	58
7.5.1 Primer muestreo	58
7.5.2 Segundo muestreo.....	65
7.5.3 Biomasa total	67
7.6 Contenido mineral.....	68
8. DISCUSIÓN	72
8.1 Caracterización de las propiedades físico-químicas del suelo, vermicomposta y medusa.	72
8.2 Humedad, potencial mátrico y temperatura del suelo.	72
8.3 Relaciones hídricas, clorofila, fotosíntesis.....	74
8.4 Contenido mineral.....	78
8.5 Morfometría	81
9. CONCLUSIONES	84
10. LITERATURA CITADA.....	86

Lista de figuras

Figura 1. Lista de países que destinan mayores áreas a la agricultura orgánica..	10
Figura 2. Captura de medusa bola de cañón, con cazamariposas.....	18
Figura 3. Medusas almacenadas.....	19
Figura 4. Representación del establecimiento del experimento	20
Figura 5. Lectura de conductividad eléctrica y aplicación campo experimental de medusa <i>Stomolophus meleagris</i>	21
Figura 6. Sistema de riego del experimento	22
Figura 7. Lectura de pesos de muestras de tierra para porcentajes de humedad	27
Figura 8. Toma de muestra de hojas para determinación de contenido de agua.	29
Figura 9. Tendencia de los datos de humedad del suelo.....	39
Figura 10. Humedad del suelo promedio entre factores tratamiento y fertilización	39
Figura 11. Humedad promedio del suelo (control) a lo largo del experimento, suelo con vermicomposta y suelo con medusa	40
Figura 12. Humedad promedio del suelo por tratamiento y muestreo, a lo largo del experimento	41
Figura 13. Temperaturas promedio del suelo (control), suelo con vermicomposta y suelo con medusa.....	43
Figura 14. Temperaturas promedio del suelo sin déficit hídrico (control), suelo con déficit hídrico.....	43
Figura 15. Temperaturas promedio del suelo por tratamiento, a lo largo del experimento	44
Figura 16. Temperaturas del suelo promedio factores tratamiento y fertilización.	45
Figura 17. Potencial hídrico promedio entre factores tratamiento y fertilización, a lo largo del experimento	46
Figura 18. Potencial osmótico promedio entre factores tratamiento y fertilización	47
Figura 19. Contenido Relativo de Agua (CRA) promedio entre tratamientos de déficit hídrico y fertilización	48
Figura 20. Contenido Relativo de Agua (CRA) promedio por tratamiento de déficit hídrico y fertilización de cada uno de los muestreos.....	48
Figura 21. Contenido promedio de clorofila (Chl) “a” para el tratamiento con déficit hídrico y fertilización, a lo largo del experimento	50
Figura 22. Contenido promedio del contenido de clorofila (Chl) “a”, a través de los muestreos	50
Figura 23. Contenido promedio de Chl “b” para el tratamiento con déficit hídrico y fertilización, a lo largo del experimento.....	51
Figura 24. Contenido promedio de Chl “b”, a través, de los muestreos	52
Figura 25. Contenido promedio de clorofila total (Chl) para el tratamiento con déficit hídrico y fertilización, a lo largo del experimento	53
Figura 26. Contenido promedio de Chl total, a través de los muestreos	53
Figura 27. Contenido promedio de Clorofila a través de SPAD para el tratamiento con déficit hídrico y fertilización, a lo largo del experimento	54

Figura 28. Contenido promedio de Clorofila a través de SPAD entre tratamiento y fertilización, a través de los distintos muestreos.....	55
Figura 29. Peso fresco de las ramificaciones maduras de tallo (TRMPF).....	63
Figura 30. Peso seco de las ramificaciones maduras de tallo (TRMPS).....	63
Figura 31. Peso seco de hojas de las ramificaciones maduras (HRMPF).....	64
Figura 32. Peso seco de hojas de las ramificaciones maduras (HRMPS)	64
Figura 33. Peso Fresco (P-F) promedio de Raíz.....	65
Figura 34. Biomasa fresca total de plantas	67
Figura 35. Biomasa seca total de plantas	68
Figura 36. Contenido de manganeso	69
Figura 37. Contenido de calcio.....	69
Figura 38. Contenido de sodio	70
Figura 39. Contenido de potasio	71
Figura 40. Contenido de magnesio	71

Lista de tablas

Tabla I. Muestréos realizados en plantas de <i>Mentha spicata</i> L.	23
Tabla II. Variables y métodos para el análisis de las propiedades químicas del suelo	23
Tabla III. Variables y métodos para el análisis de las propiedades físicas del suelo	24
Tabla IV. Variables y métodos para el análisis de las propiedades químicas de vermicomposta	24
Tabla V. Variables y métodos para el análisis de las propiedades físicas de vermicomposta	25
Tabla VI. Variables y métodos para el análisis de las propiedades químicas de medusa	25
Tabla VII. Características químicas del suelo (S), vermicomposta (VC) y medusa (MDS)	37
Tabla VIII. Características físicas del suelo (S) y vermicomposta (VC)	37
Tabla IX. Características físicas (textura) del suelo (S) y vermicomposta (VC)....	37
Tabla X. Resultados del análisis de varianza para la humedad de los suelos.....	38
Tabla XI. Resultados del análisis de varianza para el potencial mátrico	41
Tabla XII. Promedios y desviación estándar de los resultados de potencial mátrico	42
Tabla XIII. Resultados del análisis de varianza para las temperaturas del suelo .	42
Tabla XIV. Resultados del análisis de varianza para el potencial hídrico	45
Tabla XV. Resultados del análisis de varianza para el contenido relativo de agua (CRA).....	47
Tabla XVI. Grados de libertad y mínimos cuadrados resultante del análisis de varianza factorial para las variables de clorofila (Chl) a, b y total	49
Tabla XVII. Promedio \pm desviación estándar del contenido de clorofila	49
Tabla XVIII. Resultados de la tasa fotosintética (A), conductancia estomática (g), tasa transpiratoria (E), CO ₂ subestomático (Ci) y temperatura de la hoja (Th) ..	56
Tabla XIX. Resultados de la temperatura del aire (Ta), radiación fotosintéticamente activa (RFA), humedad relativa (HR) y déficit de presión de vapor (DPV)	56
Tabla XX. Resultados de la tasa fotosintética (A), conductancia estomática (g), conductividad estomática (E) y CO ₂ subestomático (Ci) y temperatura de la hoja (Th)	56
Tabla XXI. Resultados de la temperatura del aire (Ta), radiación fotosintéticamente activa (RFA), humedad relativa (HR) y déficit de presión de vapor (DPV)	57
Tabla XXII. Resultados de las diferencias entre tratamientos de déficit hídrico para datos de conductancia estomática (g), temperatura de la hoja (Th), humedad relativa (HR) y déficit de presión de vapor (DPV). Correspondientes al primer muestreo.....	57
Tabla XXIII. Resultados de la tasa fotosintética (A), conductancia estomática (g), tasa transpiratoria (E), CO ₂ subestomático (Ci) y temperatura de la hoja (Th) ..	58

Tabla XXIV. Resultados de la temperatura del aire (Ta), radiación fotosintéticamente activa (RFA), humedad relativa (HR) y déficit de presión de vapor (DPV)	58
Tabla XXV. Resultados de la temperatura del aire tasa fotosintética (A), conductancia estomática (g), tasa transpiratoria (E), CO ₂ subestomático (Ci) y temperatura de la hoja (Th)	58
Tabla XXVI. Resultados de la temperatura del aire (Ta), radiación fotosintéticamente activa (RFA), humedad relativa (HR) y déficit de presión de vapor (DPV)	59
Tabla XXVII. Resultados de las diferencias entre tratamientos de déficit hídrico para datos de conductancia estomática (g), temperatura de la hoja (Th), humedad relativa (HR) y déficit de presión de vapor (DPV). Correspondientes al segundo muestreo.	59
Tabla XXVIII. Resultado de los cuadrados medio (CM) del análisis de varianza factorial de variables morfométricas del primer muestreo.....	60
Tabla XXIX. Resultado de los cuadrados medio (CM) del análisis de varianza factorial de variables morfométricas del primer muestreo.....	60
Tabla XXX. Resultado de los cuadrados medio (CM) del análisis de varianza factorial, de las variables morfométricas del primer muestreo de morfometría ..	61
Tabla XXXI. Resultado de los cuadrados medio (CM) del análisis de varianza factorial, de las variables morfométricas del primer muestreo de morfometría ..	61
Tabla XXXII. Resultados de la prueba de Tukey (p<0.05) de las variables morfométricas de los tratamientos	62
Tabla XXXIII. Resultados de la prueba de Tukey (p<0.05) de las variables morfométricas de los tratamientos	62
Tabla XXXIV. Resultado de los cuadrados medio (CM) de las variables morfométricas del segundo muestreo.....	66
Tabla XXXV. Resultados del peso fresco (PF), seco (PS) de la parte aérea (PA) y raíz (R) en gramos y área foliar (F) en cm	67

Abreviaturas

μL: Microlitros
A: Tasa fotosintética
AF: Área Foliar
C.I.C. Capacidad de Intercambio Catiónico
C.M.: Cuadrados mínimos
C/N: Carbono-Nitrógeno
CC: Capacidad de campo
CE: Conductividad Eléctrica
Chl: Clorofila
Ci: CO₂ sub-estomal
CIBNOR: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
CONAGUA: Comisión Nacional del Agua
CRA: Contenido Relativo de Agua
D: Déficit hídrico
Da: Densidad aparente
DDT: Días Después del Trasplante
DPV: Déficit de Presión de Vapor
dS: Decisiemens
E: Transpiración
FiBL: Instituto de Investigación sobre Agricultura Orgánica.
g.l.: Grados de libertad
g: Conductividad estomática
HA: Humedad Aprovechable
ha⁻¹: Hectárea
HR: Humedad Relativa
HRJPF: Peso Fresco de Hojas de Ramificaciones Jóvenes
HRJPS: Peso Seco de Hojas de Ramificaciones Jóvenes
HRMPF: Peso Fresco de Hojas de Ramificaciones Maduras
HRMPS: Peso Seco de Hojas de Ramificaciones Maduras
IAF: Índice de Área Foliar
IFOAM: Federación Internacional de los Movimientos de Agricultura Ecológica
IMTA: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Longtot: Longitud Total
MDS: Medusa
m⁻¹: Metro
mg/kg: Miligramos/Kilogramo
mg/L: Miligramos/Litro
MO: Materia Orgánica
MPa: Megapascales
mS: Milisiemens
NMX: Norma oficial mexicana.
NRJ: Número de Ramificaciones Jóvenes
NRM: Número de Ramificaciones Maduras

PA: Parte Aérea
Pe: Porosidad
Pf: Peso fresco
PMP: Punto de Marchitez Permanente
Ps: Peso seco
RFA: Radiación Fotosintéticamente Activa
S: Suelo
SD: Sin Déficit hídrico
SDM: Suelo-Déficit hídrico-Medusa
SDS: Suelo-Déficit hídrico-Sin Fertilizante
SDV: Suelo-Déficit hídrico-Vermicomposta
SIAP: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
SM: Suelo-Capacidad de Campo-Medusa
SPAD: Fluorescencia de clorofila
SSS: Suelo-Sin Déficit-Sin Fertilizante
STD: Sólidos Totales Disueltos
SV: Suelo-Capacidad de campo-Vermicomposta
Th: Temperatura de la superficie de la hoja
TRJPF: Peso Fresco de Tallos Ramificaciones Jóvenes
TRJPS: Peso Seco de Tallos Ramificaciones Jóvenes
TRMPF: Peso Fresco de Tallos Ramificaciones Maduras
TRMPS: Peso Seco de Tallos Ramificaciones Maduras
VC: Vermicomposta
 Ψ_w : Potencial hídrico

1. INTRODUCCIÓN

El medio ambiente posee una gran influencia sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, especialmente por la disponibilidad de agua, ya que interviene en prácticamente todos sus procesos fisiológicos (Vélez *et al.*, 2012). Su carencia genera un nivel de estrés, dependiendo de la duración, intensidad o etapa fenológica (Ballester *et al.*, 2011).

El estrés se define como la presencia de un factor externo a la planta provocado por el medio ambiente cambiante, que ejerce una influencia negativa sobre su desarrollo óptimo (Azcón-Bieto *et al.*, 2000). Éste puede ser provocado por altas o bajas temperaturas, salinidad, sequía, entre otros. El estrés por déficit hídrico se produce en respuesta a un ambiente escaso de agua, en donde la tasa de transpiración excede la de absorción (Levitt, 1980); afecta negativamente funciones fisiológicas como fotosíntesis, respiración, reacciones metabólicas y anatómicas, crecimiento, reproducción, desarrollo de semillas, absorción de nutrientes minerales, transporte de asimilados y producción (García-Sánchez *et al.*, 2003; Ortuño *et al.*, 2004; Quiñones *et al.*, 2007). Las plantas que se encuentran en dichas condiciones desfavorables generan mecanismos de protección morfológicos y fisiológicos para desarrollarse (Vélez *et al.*, 2012). Por lo anterior, el estudio de variables asociadas a la fisiología, resultan de gran interés para abordar estudios relacionados con éste tipo de estrés. Cabe mencionar que el estrés por déficit hídrico es considerado como el factor más limitante en la producción a escala mundial (Flexas y Medrano, 2002).

Baja California Sur (BCS) es una de las entidades federativas con una precipitación anual promedio de 221.11 mm, alta tasa de evaporación y radiación (IMTA, 2008). Aunado a esto, predominan suelos arenosos, con menos del 1% de materia orgánica, lo que lleva como resultado un suelo con poca retención de humedad y pobre en nutrientes (Nieto-Garibay *et al.*, 2002a). Estos factores pueden generar, en algunos cultivos, un cierto grado de estrés, en donde, el déficit hídrico es uno de los más importantes.

Dentro de las técnicas agronómicas para remediar este tipo de suelos, se encuentra el uso de fertilizantes orgánicos, como la vermicomposta. Esta es el producto resultante de la transformación digestiva y metabólica de la materia orgánica producida por las lombrices (NMX-FF-109-SCFI-2007), además proporciona una gran cantidad de nutrientes, permite una retención mayor de humedad en tiempo y espacio; consecuentemente, una mayor disponibilidad de este recurso para la planta (Abviven *et al.*, 2009; Azarmi *et al.*, 2008). Actualmente los fertilizantes orgánicos se encuentran mayormente restringidos al uso de compostas y vermicompostas. En los últimos años, el uso de organismos marinos se ha visto como una alternativa o complemento de la fertilización orgánica. Un ejemplo, son algunas especies de medusas que pueden ser usadas para mejorar el crecimiento vegetal y como mejorador de las características físicas y químicas del suelo (Seo *et al.*, 2014).

A pesar de presentar condiciones climáticas adversas, Baja California Sur es el principal Estado productor de especies aromáticas orgánicas en México, lo que representa una entrada de divisas considerable (Juárez-Rosete *et al.*, 2013). La demanda de estas especies se ha incrementado debido a sus propiedades aromáticas, terapéuticas, de conservación y su uso en la industria de transformación y culinaria en fresco (Sangwan *et al.*, 2001). Dentro de esta amplia variedad de especies aromáticas, en el Estado, el cultivo orgánico de menta es el cuarto más importante en la península de Baja California (SIAP, 2012). Sin embargo, poco se sabe acerca de las estrategias morfo-fisiológicas que utiliza para la mitigación del déficit hídrico, menos aún, el rol de los fertilizantes orgánicos para este fin.

Bajo este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la respuesta de un cultivo de *Mentha spicata* L., sometido a condiciones de estrés por déficit hídrico mediante variables fisiológicas y productivas, así como comparar dos fertilizantes orgánicos y conocer su posible efecto como mitigadores del estrés generado por la falta de agua.

2. ANTECEDENTES

2.1 Importancia del agua en las plantas

El agua juega un papel importante en las plantas debido a que de ella dependen una gran cantidad de procesos fisiológicos. Además, forma parte de entre el 70-95% de la biomasa de tejidos no leñosos tales como hojas y raíces. A nivel celular, el agua es el mayor medio de transporte de metabolitos (carbohidratos y nutrientes), al igual que fitohormonas las cuales son requeridas para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Por otro lado, debido a la gran concentración de solutos que en ella se encuentran, las células ejercen una presión positiva contra las paredes celulares, la cual representa el mecanismo básico de soporte en las plantas (turgor). La pérdida de turgor (marchitez) ocasiona que se dejen de realizar ciertas funciones fisiológicas tales como la expansión celular y en menor medida la fotosíntesis (Lambers, 2008).

Menos del 1% del agua absorbida por las plantas es retenida como biomasa, el resto se pierde por evapotranspiración, a través, de los estomas; por lo que requieren de una gran cantidad del vital líquido (Lambers, 2008).

2.2 Déficit hídrico: relevancia de su estudio

Debido a la importancia vital que tiene el agua dentro de las plantas, la disponibilidad de ésta, está más ligada a la productividad de una especie que cualquier otro factor ambiental (Covarrubias, 2007). Se considera a una planta en estado de estrés por déficit hídrico cuando existe una mayor tasa transpiratoria respecto al agua absorbida (Levitt, 1980), a su vez, según su severidad y duración este estado puede llegar a comprometer la vida de la misma (Lambers *et al.*, 2008). Con el fin de evitar esto, resulta esencial conocer el estado hídrico de una planta, a través del potencial hídrico (Ψ_w) y el contenido relativo de agua (CRA) (Levitt, 1980).

El potencial hídrico fue definido por Lambers (2008) como el potencial químico del agua en una parte específica del sistema, comparado con el potencial

químico del agua pura a la misma temperatura y presión atmosférica. Asimismo, Kirkham (2005) menciona que el agua, tanto en el suelo como en la planta, está sujeta a campos de fuerza originados por cuatro factores principales:

1. La presencia de una fase sólida (matriz).
2. El campo gravitacional.
3. La presencia de solutos.
4. La acción externa ejercida por la presión de agua o gases.

A cada uno de estos cuatro factores se les puede asignar un valor de energía potencial de manera individual; sin embargo, es la suma a la que en conjunto se le denomina potencial hídrico y su cuantificación es representada en unidades de presión, siendo MPa la más empleada.

Por otro lado, el contenido relativo de agua (CRA) representa el contenido de agua actual presente en una planta respecto al máximo que podría almacenar en sus tejidos y este valor es expresado en porcentaje (Argentel *et al.*, 2006).

Para determinar el nivel de estrés al que se ve sometida una planta, Hsiao (1973) expone la siguiente clasificación desde una perspectiva de potencial hídrico:

1. Estrés leve: -0.2 y -0.8 MPa.
2. Estrés moderado: -0.81 y -1.49 MPa.
3. Estrés severo: > -1.5 MPa.

A su vez, Flexas y Medrano (2002) realizan la siguiente clasificación de estrés con respecto al CRA:

1. Estrés leve: 95-85%.
2. Estrés moderado: 85-70%.
3. Estrés severo: <70%.

El estrés por déficit hídrico es una de las limitaciones ambientales más grandes en la producción de cultivos agrícolas (Frahm *et al.*, 2004) y esta situación se

ve agravada en los últimos años por acción del calentamiento global (Covarrubias, 2007). Las plantas han desarrollado adaptaciones y estrategias que les permiten sobrevivir aún en esta condición limitante (Nilsen y Orcutt, 1996). Estas adaptaciones tienen repercusiones morfológicas, fisiológicas y metabólicas (Covarrubias, 2007). En la medida en que se conoce más acerca de los mecanismos de adaptación a dichas condiciones es posible un mejor manejo del agua para cada especie en particular.

2.3 Estrategias para soportar el estrés por déficit hídrico

Las condiciones de limitación de agua inducen en las plantas respuestas que afectan su morfología, fisiología y metabolismo. Como ejemplo, las hojas cambian su ángulo de inclinación, se enrollan o se recambian y se incrementa la relación del peso entre la raíz y la parte aérea (la raíz mantiene su velocidad de crecimiento, en tanto que la parte aérea la disminuye). Entre los cambios fisiológicos y metabólicos que ocurren se encuentran la disminución en la síntesis de proteínas y, por tanto, en la velocidad de crecimiento, el aumento de cera en la cubierta de las hojas, cambios en la transpiración, en la fotosíntesis, en la distribución de nutrientes, entre los más importantes (Covarrubias, 2007).

En las plantas, dichas respuestas o mecanismos para afrontar esta situación, han sido denominadas estrategias, y son características de cada especie (Larcher, 1995). Existen así, estrategias que tienden a evitar el estrés o bien mecanismos o adaptaciones que permiten tolerarlo (Valladares *et al.*, 2014).

A este respecto, se mantiene hasta la actualidad la clasificación propuesta por Levitt (1980) quien clasifica dichas estrategias de la siguiente manera: a) Mecanismos de escape, b) Mecanismos de elusión/evitación y c) Mecanismos de tolerancia.

- a) *Mecanismos de escape*: Este conjunto de estrategias están representadas por las plantas que completan su ciclo de vida antes de que se desarrollen situaciones de sequía.

b) *Mecanismos de elusión/evasión*: Las especies que presentan este tipo de estrategia pueden prevenir o minimizar el estrés en sus tejidos de dos maneras:

- Minimizando la pérdida de agua: esto lo logran mediante un cierre estomático muy sensible a ligeros cambios en el contenido hídrico de sus tejidos o cambios en el potencial hídrico, valores bajos de conductancia estomática, paredes celulares rígidas que inducen cambios rápidos de potencial hídrico en respuesta a pequeñas pérdidas de agua, hojas pequeñas, tasas de transpiración bajas.
- Maximizando la absorción de agua: logrado mediante sistemas radicales profundos.

c) *Mecanismos de tolerancia*: Son aquellos mecanismos que permiten a la planta seguir siendo funcional, aún ante un escenario de estrés hídrico. En este conjunto de estrategias se pueden mencionar las siguientes:

- Ajuste osmótico

El ajuste osmótico es el término utilizado para definir la disminución del potencial osmótico celular en las plantas superiores como resultado de la acumulación activa de solutos en respuesta a una situación estresante como el déficit hídrico.

De los distintos mecanismos que realizan las plantas para hacer frente al déficit hídrico, el más común es la acumulación intracelular de solutos, tales como azúcares y aminoácidos libres. La síntesis y acumulación de estos metabolitos de peso molecular bajo, conocidos como solutos compatibles, es un mecanismo ubicuo para el ajuste osmótico en plantas. Su función principal consiste en incrementar la habilidad de las células para retener agua sin afectar el metabolismo normal. La prolina se encuentra como uno de los compuestos nitrogenados más comunes dentro de estos solutos compatibles. Se ha reportado que está involucrada en la estabilización de proteínas y estructuras celulares, así como en la expulsión de radicales libres, también se piensa

podría fungir como un almacén de nitrógeno, el cual puede ser utilizado por la planta una vez que el estrés disminuye (Heuer, 2011).

Cuando se realiza el ajuste osmótico las plantas aseguran la realización de la fotosíntesis y la respiración. Cuando la turgencia celular se mantiene en aquellos genotipos que ajustan osmóticamente en comparación con aquellos que no lo hacen, continúa la elongación celular y teóricamente se obtiene una mayor área foliar, mayor crecimiento de raíces, menor resistencia estomática y mayor rendimiento agrícola (Munns, 2008). Este tipo de estrategia ha sido registrado en *Triticum aestivum* L. (Abebe *et al.*, 2003), *Zea mays* L. (Chimenti *et al.*, 2006), *Cicer arietinum* (Turner *et al.*, 2007).

- Ajuste elástico

Cuando la célula se deshidrata, ésta decrece en volumen hasta que el turgor se pierde completamente. El grado en el que esto se produzca está relacionado con la elasticidad que presenten sus paredes celulares; porque poseer paredes celulares con gran elasticidad implica que la célula necesita mayor cantidad de agua para mantener el turgor; sin embargo, al mismo tiempo necesita una mayor pérdida para perderlo. Así, células con paredes elásticas almacenan el agua que acumulan durante la noche y la pierden gradualmente durante el día por medio de la transpiración (Lambers, 2008).

- Tolerancia protoplasmática

Es el conjunto de mecanismos que permiten a un organismo sobrevivir a la pérdida de la mayoría de su agua intracelular (95%) por largos períodos y recuperar la completa capacidad de la rehidratación metabólica (Choukr-Allah *et al.*, 1996).

El conocimiento de estos mecanismos permite comprender qué procesos evolutivos estuvieron implicados en la adaptación de resistencia a este tipo de estrés en particular; asimismo, nos sirven para predecir, hasta cierto punto, la respuesta que podría tener en un escenario de cambio climático (Valladares *et al.*, 2014).

2.4 Agricultura orgánica

La agricultura orgánica probablemente ha sido practicada de forma tradicional durante siglos. Sin embargo, con la llegada de la revolución verde fueron métodos que se fueron sustituyendo por el implemento de sustancias químicas de síntesis para la agricultura durante la primera mitad del siglo XX.

En 1940 Sir Northbourne, agrónomo de la universidad de Oxford, realiza la primera definición de “agricultura orgánica”, la cual expone en respuesta a la industrialización de la agricultura. Northbourne realiza su definición en base a las teorías de Rudolf Steiner sobre agricultura biodinámica y la expone en su libro “Look to the Land” (Northbourne, 1940).

En la actualidad el término “agricultura orgánica” es definido por el Códex Alimentarius (1999) como un sistema holístico de producción que promueve y mejora la salud del agroecosistema, incluyendo la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo, prefiriendo el uso de prácticas de manejo dentro de la finca al uso de insumos externos, tomando en cuenta que condiciones regionales requieren de sistemas adaptados a las condiciones locales. Esto se logra mediante la implementación de métodos culturales, biológicos y mecánicos que excluyan los materiales sintéticos para satisfacer cualquier función dentro del sistema. Por definición, el mismo Códex establece que un sistema se considera orgánico cuando:

- Mejora la diversidad biológica del sistema.
- Aumenta la actividad biológica del suelo.
- Mantiene la fertilidad del suelo a largo plazo.
- Recicla desechos vegetales y/o animales para devolver los nutrientes al sistema.
- Cuenta con recursos renovables en sistemas agrícolas localmente localizados.
- Minimiza la contaminación que pueda resultar de su producción, promoviendo el uso saludable del agua, el suelo y el aire.

- Maneja sus productos agrícolas en su procesamiento con el cuidado de no perder la integridad orgánica en el proceso.

Antes de la década de los 80's, el movimiento de la agricultura orgánica era dirigido por diversos grupos de granjeros y comerciantes de diferentes partes del mundo. Sin embargo, en 1972 algunos de ellos se unen para formar la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM por sus siglas en inglés), la cual funciona como una organización "sombrija" para el movimiento. Al día de hoy, IFOAM, une cerca de 750 organizaciones, conformadas por 108 países.

Según el IFOAM, la agricultura orgánica tiene sus bases en 4 principios principales:

1. Principio de salud: el cual establece que la agricultura orgánica debe sostener y promover la salud de suelo, planta, animal, persona y planeta como una sola e indivisible.
2. Principio de ecología: la agricultura orgánica debe estar basada en sistemas y ciclos ecológicos vivos, trabajar con ellos, emularlos y ayudar a sostenerlos.
3. Principio de equidad: la agricultura orgánica debe estar basada en relaciones que aseguren equidad con respecto al ambiente común y a las oportunidades de vida.

Principio de precaución: todas las actividades realizadas deben ser gestionadas de manera responsable con el fin de proteger la salud y bienestar de las generaciones presentes y futuras, así como el ambiente.

2.5 Agricultura orgánica en el mundo y en México

La importancia en el cuidado de la salud y la protección del medio ambiente son los principales motivos por los cuales los consumidores están eligiendo productos orgánicos (Kremen *et al.*, 2004). Con tasas de crecimiento crecientes, los productores orgánicos conquistan cada vez más rápido el mercado mundial de alimentos (Sahota, 2004).

Para el año 2015, el Instituto de Investigación sobre Agricultura Orgánica (FiBL) presenta los siguientes datos:

- 179 países practican este tipo de agricultura.
- 50.8 millones de hectáreas en el mundo están destinadas a este tipo de agricultura (este dato incluye áreas de conversión).
- 6.5 millones de hectáreas más que el año 2014.
- 1.1 % de la tierra destinada a la agricultura es considerada orgánica.
- En 11 países el 10% o más de sus tierras está representado por este tipo de agricultura.
- 2.4 millones de productores reportados, más de $\frac{3}{4}$ se encuentran en países desarrollados.

Hasta 2015 los 10 países con el mayor porcentaje de tierra destinada a la agricultura orgánica se muestran en la figura 1.

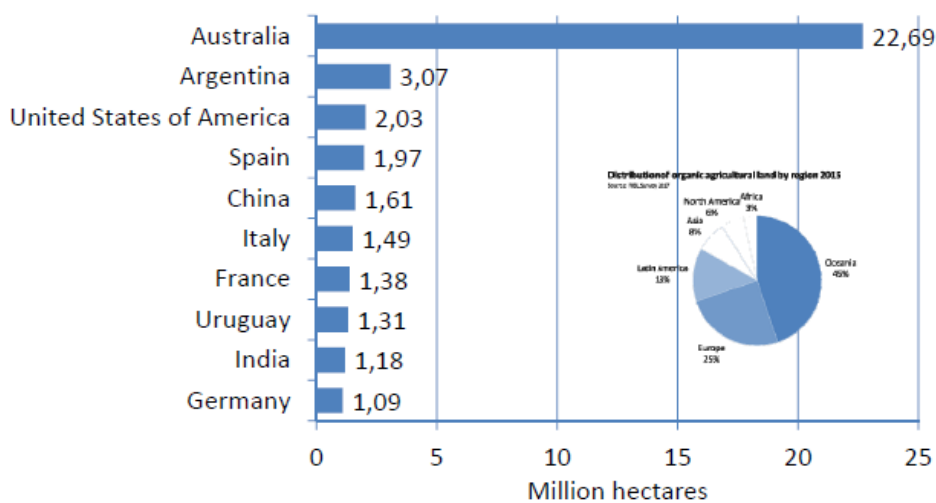


Figura 1. Lista de países que destinan mayores áreas a la agricultura orgánica en el mundo (FiBL, 2017).

En este respecto, México ocupa el lugar 18 a nivel mundial, con cerca de 216,000 hectáreas y generando más de 280 millones de dólares en divisas. Como principales Estados productores tenemos a Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Chihuahua y Guerrero concentrando el 82.8% de la superficie orgánica total del país (Gómez-Tovar y Gómez-Cruz, 2004).

Según datos recabados por la FiBL, en 2015 México se encuentra en la tercera posición de los países que poseen el mayor número de productores orgánicos con alrededor de 200,039; solo por debajo de India y Etiopía como primer y segundo lugar respectivamente (FiBL, 2016). De esta cantidad de productores orgánicos en el país, cerca del 50% está representada por grupos étnicos.

El 85% de la producción orgánica en México, se destina al mercado de exportación, siendo Estados Unidos, Alemania, Holanda, Japón, Inglaterra y Suiza los de mayor demanda. Por otro lado, en el mercado interno apenas se comercializa el 5% de la producción orgánica.

Como producto orgánico más importante por superficie cultivada se encuentra el café, con una producción anual de 47,461 toneladas y un total de 70,838 hectáreas cultivadas, representando el 66% del total de hectáreas cultivadas orgánicamente en el país (Gómez-Tovar y Gómez-Cruz, 2004).

Aunque en menor proporción, México cuenta con zonas de alto potencial para la producción orgánica de hierbas aromáticas y en efecto es posible encontrar pequeños productores de estos productos destinados al mercado de exportación (Juárez-Rosete *et al.*, 2013).

2.6 Estudios con la especie *Mentha spicata* L.

La especie *M. spicata* L. es una planta originaria de Inglaterra, también conocida comúnmente con el nombre de hierbabuena. Pertenece a la familia Lamiacea, género *Mentha*, el cual está compuesto por un total de 25 especies (Peterson y Bienvenu, 1998). Se encuentra en climas semiseco y templado entre los 1000 y hasta los 2600 msnm en México (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2009).

Actualmente se cultiva en todo el mundo, ya que se consume como especie y por ser una fuente natural de carvona, un aceite esencial comercializado a nivel mundial.

Los principales productores de este cultivo están representados por Estados Unidos, Rusia, Alemania y China. El mercado mundial de aceite de

hierbabuena es aproximadamente de 1500 t año⁻¹ (Peterson y Bienavenu, 1998).

Se describe botánicamente como una planta perenne, se propaga principalmente por estolones subterráneos de los cuales se elevan tallos aéreos entre los 50 y 56 cm. Ramificaciones erectas, las cuales miden entre 30 y 60 cm desarrollados a partir de cada tallo. Sus hojas son sésiles, suaves, lanceoladas u ovalo-lanceoladas, aserradas, haz suave y de envés glandular, ápice agudo y entre 7 x 2 cm de tamaño. Sus hojas poseen un olor característico y sabor pungente. Las flores son puntiagudas, alargadas, pequeñas y de coloración blanquecina (Husain *et al.*, 1988; Patra *et al.*, 2001).

Existen pocos trabajos fisiológicos respecto a este género; sin embargo, Romero *et al.* (2013) realizaron un experimento en el cual utilizan vermicomposta con diferentes relaciones carbono/nitrógeno (C/N) para un cultivo de *Mentha piperita* L. obteniendo como resultado un rendimiento mayor en la relación C/N más baja (C/N 13), concluyendo que entre menos sea la relación C/N mayor es la disponibilidad de nutrientes para la planta, además de validar el vermicompost como una opción barata y efectiva como sustrato para este tipo de cultivo. Por su parte, Ayyobi *et al.* (2013) evaluaron el efecto de vermicomposta y extracto de vermicomposta en el rendimiento y calidad de aceite de *Mentha piperita* L. en donde obtienen resultados en el rendimiento y calidad comparables a los obtenidos en plantas fertilizadas con un fertilizante de síntesis.

2.7 Vermicomposta como fertilizantes orgánicos

Atiyeh *et al.* (2000a) definen la vermicomposta como un proceso por el cual las lombrices transforman residuos orgánicos en un subproducto estable, por acción de su tracto digestivo. La adición de vermicomposta al sustrato modifica la estructura físico-química del mismo, aumentando su porosidad, su capacidad de almacenar humedad, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) por la amplia área superficial de sus partículas, asimismo, hace más asimilables los nutrientes para la planta, tales como nitratos, fósforo intercambiable, potasio,

calcio y magnesio solubles, eso lo coloca como una gran alternativa de sustrato orgánico para la agricultura (Atiyeh *et al.*, 2000b; Julca-Otiniano *et al.*, 2006).

Existen trabajos que describen la acción de la vermicomposta en el suelo y el crecimiento de cultivos como los de Aguilar-Benítez *et al.* (2012); Romero *et al.* (2013); Ayyobi *et al.* (2013); Moreno-Reséndez *et al.* (2013); Amanolahi-Baharvand *et al.* (2014); Acosta-Durán *et al.* (2014) y Hosseinzadeh *et al.* (2016); sin embargo, son pocos los trabajos enfocados en el uso de la vermicomposta como sustrato amortiguador/mitigador del déficit hídrico. En este tema destaca el trabajo de Aguilar-Benítez *et al.* (2012) en donde se evalúa el efecto de dos concentraciones de vermicomposta (1.5 y 3%) en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de déficit de humedad. Como resultados obtuvieron un rendimiento mayor en las plantas tratadas con 3% de vermicompost aplicado al sustrato, estos resultados se lo atribuyen a la modificación física del suelo promoviendo la retención de humedad, incrementando la disponibilidad del agua por mayor tiempo para dicho cultivo, retrasando así los efectos por déficit hídrico.

Hosseinzadeh *et al.* (2016) realizaron un experimento con el objetivo de evaluar el efecto de la adición de vermicomposta en un cultivo de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) en diferentes componentes fotosintéticos, sometidos a diferentes niveles de estrés por déficit hídrico. Como resultado encontraron que en el grupo control fertilizado con vermicomposta sin estrés hídrico, todas las variables medidas tuvieron un efecto positivo en todas las concentraciones de vermicompost y en todos los estadios evaluados. Sin embargo, para las condiciones de estrés moderado y estrés severo solo se observó una mejora en los parámetros evaluados en la etapa de floración.

Moreno-Reséndez *et al.* (2013) realizaron un estudio para evaluar el efecto de vermicomposta como fertilizante orgánico, así como su capacidad de retención de humedad en un cultivo en macetas de tomate saladette en condición de invernadero. Los tratamientos consistieron en la combinación de diferentes mezclas de diferentes proporciones de vermicomposta y arena, encontrando

que una mezcla con una relación 1:1 permitió rendimientos mayores con un ahorro de 50 L de agua comparada con el control sin vermicomposta.

2.8 Medusa como alternativa de fertilizante orgánico

El uso de medusas como alternativa de fertilizante orgánico es relativamente nuevo y existen pocos estudios de su uso en este sentido.

Chun *et al.* (2011) encontraron que el uso de medusa en diferentes dosis incrementa el crecimiento y diámetro de tres especies de coníferas y tres especies arbóreas (*P. koreanis*), así como una mayor retención de humedad en suelo con respecto al grupo control sin medusa.

Kim *et al.* (2012) utilizan la medusa "*Nemopilema nomurai*" como fertilizante orgánico en plántulas de *Chamaecyparis obtusa* en etapa de plántula, con el objetivo de evaluar su potencial como fertilizante y su efecto en el crecimiento de dicha especie. Como tratamientos tuvieron plántulas con 100 g de medusa aplicada directamente al suelo y otro sin la adición de dicho fertilizante (control). Obtienen un crecimiento y diámetro mayor en las plántulas fertilizadas respecto al tratamiento control, además de una mortalidad menor en las fertilizadas contra el control (4.4 contra 8.3%, respectivamente). Argumentan que los resultados se deben a la acción de la medusa en la mayor disponibilidad de nutrientes, así como a la modificación en las características físicas del suelo aumentando la capacidad de retención de humedad.

Un trabajo similar al anterior es el de Seo *et al.* (2014) en donde utilizan dos especies de coníferas (*Pinus thunbergii* y *Quercus palestris*) con tres dosis de fertilización distintas (10, 30 y 50 g/árbol). Como resultados, para *P. thunbergii* conforme se aumentó la concentración de la dosis su crecimiento fue mayor, por lo que con la dosis de 50 g/árbol obtuvo el crecimiento mayor. Caso contrario a *Q. palestris* en la que el crecimiento mayor fue con la dosis 30 g/árbol, siendo 50 g/árbol mortal para este, posiblemente por la salinidad alta.

Hossain *et al.* (2013) utiliza medusa como fertilizante y herbicida. En este experimento se somete el cultivo de arroz a distintas concentraciones de

medusa mezclado con el sustrato y sobre el sustrato en el cual se siembran las plantas, teniendo como resultado la inhibición en el crecimiento de hierbas consideradas como malezas. Sin embargo, en este trabajo no se explica el funcionamiento de la medusa como herbicida natural.

3. JUSTIFICACIÓN

Las zonas áridas y semiáridas ocupan más de la mitad del territorio mexicano (Cervantes-Ramírez, 2005). Baja California Sur es considerada una zona árida al presentar una tasa evaporativa y de radiación altas; con una precipitación promedio anual de 221.1 mm, suelos arenosos, con menos del 1% de materia orgánica, por consiguiente, suelos con poca retención de humedad y pobres en nutrientes (Nieto-Garibay *et al.*, 2002a; IMTA, 2008;). Dichas características provocan retos para la agricultura en dicha zona, de aquí la importancia de aplicar o generar tecnologías para explotarla racionalmente (Molina, 1983).

En las últimas décadas se ha incrementado la preocupación por fomentar prácticas que mejoren las condiciones del suelo que han sido deteriorados por el uso excesivo de agroquímicos (Nieto-Garibay *et al.*, 2002b). En este sentido, el uso de fertilizantes orgánicos como la vermicomposta funge como uno de los ejes centrales de dichas prácticas. Sin embargo, en los últimos años, el uso de organismos marinos, entre ellos ciertas especies de medusas, se ha visto como una alternativa o complemento para este objetivo.

A nivel global se ha visto un incremento en ciertas poblaciones de especies de medusas en las últimas décadas, entre las más comunes se encuentra la medusa bola de cañón, *Stomolophus meleagris*, la cual es abundante en el Golfo de México y el Océano Pacífico (Condon *et al.*, 2012; López-Martínez *et al.*, 2013). *Stomolophus meleagris* es una medusa de la familia Stomolophidae que tiene como particularidad ser una especie con gran voracidad depredatoria que puede representar un problema para especies de interés comercial (Carvalho, 2009), así como foco de infección debido a que estos organismos quedan varados en las playas sin ser aprovechados. Por lo cual, se presenta como una alternativa para su uso como fertilizante orgánico.

Por otro lado, el cultivo orgánico de menta es el cuarto más importante en la península de Baja California (SIAP, 2012). La especie *M. spicata* L. posee un rango amplio de tolerancia a variación climática, encontrándose hasta los 2,600 msnm (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2009). Sin embargo, poco se conoce acerca de qué estrategias utiliza para tolerar este rango de variación y más específicamente cómo puede sobrevivir en ambientes propensos a presentar estrés por déficit hídrico, como es el caso de zonas áridas. Aún menos conocido es el estudio que relacione el efecto de los fertilizantes orgánicos en la mitigación del estrés hídrico.

4. HIPÓTESIS

La materia orgánica en el suelo aumenta la disponibilidad de agua y nutrientes, por lo tanto, la adición de vermicomposta y medusa (*Stomolophus meleagris*) mejorará el suelo, mitigará el estrés hídrico y modificará las variables fisiológicas y de producción en *Mentha spicata* L.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Evaluar la respuesta de *Mentha spicata* L. en condiciones de estrés hídrico, mediante variables fisiológicas, a la aplicación de dos fertilizantes orgánicos para la mitigación del estrés e incremento del aporte nutricional.

5.1.2 Objetivos particulares

- Evaluar la evolución del potencial mátrico, temperatura y contenido de humedad, en cada tratamiento de fertilización y estrés hídrico.
- Evaluar el estado hídrico de plantas de *M. spicata* L., a través, del potencial hídrico y sus componentes, para cada tratamiento de estrés hídrico y fertilización.

- Identificar los cambios en la fotosíntesis, transpiración, clorofila y conductancia estomática en plantas de *M. spicata* L., en los diferentes tratamientos.
- Evaluar la producción de *M. spicata* L., de los diferentes tratamientos mediante variables morfométricas.
- Comparar el aporte mineral de la vermicomposta y medusa en plantas de *M. spicata* L., a través, de su contenido mineral en los diferentes tratamientos.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Área de estudio

El experimento se llevó a cabo en el campo agrícola de las instalaciones del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR), el cual se localiza al norte de la ciudad de La Paz, Baja California Sur, México, ubicado a los 24° 08' 10.03" N y 110° 25' 35.31" O.

6.2 Material vegetativo y establecimiento del cultivo

La especie empleada para este estudio fue *M. spicata* L. Los ejemplares fueron donados por productores orgánicos de la localidad de San José del Cabo, Baja California Sur. Se trasplantaron en mayo de 2016 en esquejes en semilleros de poliestireno de 50 cavidades y utilizando enraizante previo a la siembra. Cada cavidad fue cubierta con sustrato inerte comercial Sunshine. Los esquejes se regaron diariamente de manera manual y se fertilizaron cada 15 días con un fertilizante comercial Triple 17^{MR} (contenido de 17% de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente), a razón de un g L⁻¹ de agua y aplicando un mL planta⁻¹ para tener un total de 3 aplicaciones previo al trasplante a la condición experimental. Los semilleros se mantuvieron en condiciones de malla sombra hasta su trasplante a campo. Posteriormente se establecieron en el campo experimental, una vez aclimatadas las plantas se aplicaron los tratamientos de fertilización a los 55 días después del trasplante (DDT).

6.3 Obtención de vermicomposta y medusa

6.3.1 Vermicomposta

La vermicomposta empleada fue producida en las instalaciones del campo agrícola del CIBNOR. Los materiales empleados para ello consistieron en la mezcla de rastrojo de maíz seco como fuente de carbono, estiércol de caballo y restos agrícolas frescos como aporte de nitrógeno. Los materiales citados anteriormente pasaron por un proceso de pre composteo para ser incorporados como alimento para las lombrices. La especie de lombriz utilizada para la producción de vermicomposta fue *Eisenia fetida*.

6.3.2 Medusa

Las medusas utilizadas comúnmente llamadas bola de cañón y cuya especie es *S. meleagris* fueron capturadas en la zona del Mogote que se encuentra en colindancia con la Bahía de La Paz, Baja California Sur; para lo cual se realizaron dos salidas en embarcación y una en camioneta para su búsqueda y captura con ayuda de un cazamariposas y de manera manual (Fig. 2).



Figura 2. Captura de medusa bola de cañón, con cazamariposas y ejemplar de medusa bola de cañón (*S. meleagris*).

Las medusas capturadas fueron depositadas en cubetas con capacidad de 4 L y posteriormente almacenadas en un congelador Torrey, modelo CHTC25 a una temperatura de -5°C en las instalaciones del CIBNOR (Fig. 3).



Figura 3. Medusas almacenadas en cubetas de 4 litros.

6.4 Determinación de la dosis de fertilizantes

La determinación de la dosis de los dos fertilizantes se realizó considerando el aporte de nitrógeno al cultivo en la misma proporción y cantidad utilizada comúnmente por los agricultores orgánicos para el cultivo de menta. Lo anterior se realizó una vez que se tuvieron los resultados de laboratorio del CIBNOR que se presentan en la sección de resultados. Se determinó entonces una dosis de vermicomposta de 5 t ha^{-1} .

En el caso de la medusa para evitar niveles altos de conductividad eléctrica (CE) en la aplicación al cultivo, se realizaron diluciones con agua corriente de las instalaciones del CIBNOR, hasta alcanzar una CE menor a 4 dS m^{-1} , de acuerdo a la NMX-FF-109-SCFI-2007.

6.5 Diseño experimental y tratamientos

El experimento se estableció en un diseño en bloques al azar con arreglo en franjas. Se establecieron tres bloques con 14 repeticiones por bloque distribuidos como se muestra en la figura 4. Para los tratamientos se manejaron dos factores de variación, el factor déficit hídrico (como factor A), con un solo nivel que correspondió al suelo sometido a déficit hídrico sin llegar al punto de marchitez permanente y un grupo control de suelo sin déficit hídrico con riego

constante al 80% de la capacidad de campo; el factor fertilización (como factor B) con dos niveles, medusa, vermicomposta y un grupo control que consistió en suelo sin fertilizante. De tal forma que se manejaron un total de 6 tratamientos quedando de la siguiente forma:

Tratamientos:

1. Sin Déficit- Sin Fertilizante (control 1, SDSF)
2. Sin Déficit - Vermicomposta (SDV)
3. Sin Déficit- Medusa (SDM)
4. Déficit hídrico-Sin Fertilizante (control 2, DHSF)
5. Déficit hídrico-Vermicomposta (DHV)
6. Déficit hídrico-Medusa (DHM)

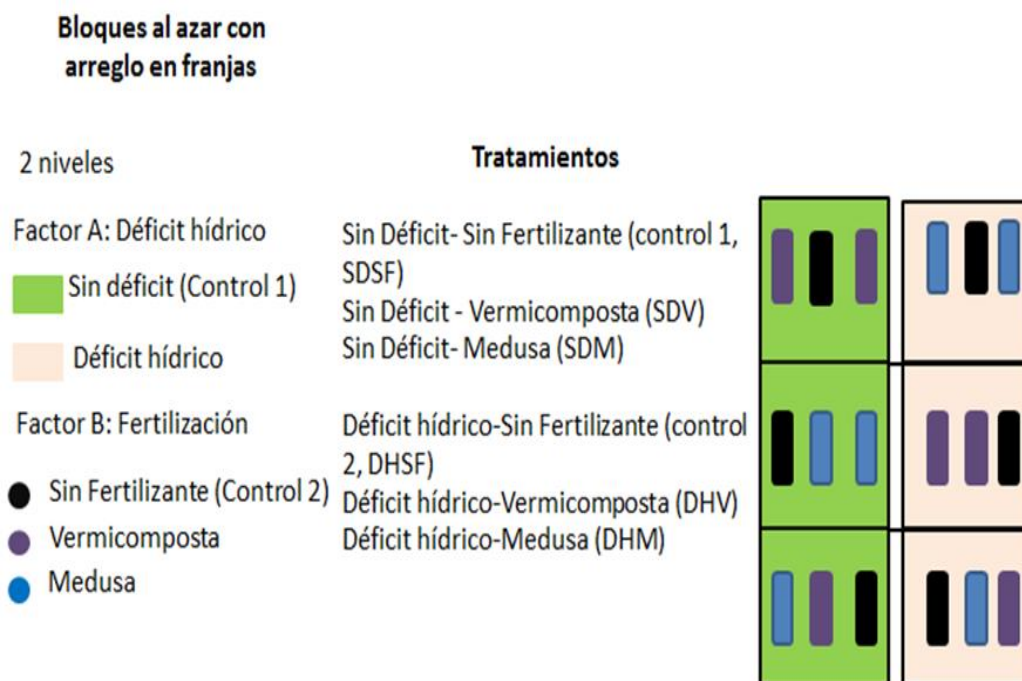


Figura 4. Representación gráfica del diseño experimental.

6.6 Establecimiento de experimento y aplicación de tratamientos.

Después de 48 días de estar las plantas de *M. spicata* L., en condiciones de invernadero, se realizó el trasplante en camas de siembra de 1.3 m de ancho x

3 m de largo, con 4 surcos, de los cuales solo los 2 surcos centrales fueron considerados para las posteriores mediciones. Previo a los tratamientos de déficit hídrico se aplicaron los tratamientos de fertilización como se indica a continuación.

6.6.1 Vermicomposta

Se realizaron tres aplicaciones de vermicomposta a los 55, 76 y 160 DDT, previo a cada uno de los muestreos. La aplicación se hizo de manera manual, en cada uno de los surcos de cada cama de cultivo, procurando esparcirlo de manera uniforme sobre la base de cada una de las plantas.

6.6.2 Medusa

Una vez que se realizaron las diluciones para alcanzar la CE deseada, se realizaron tres aplicaciones de la medusa a los 55, 76 y 160 DDT, previo a cada uno de los muestreos. Se aplicó la solución de manera manual, en cada uno de los surcos de cada cama de cultivo, procurando esparcirlo de manera uniforme sobre la base de cada una de las plantas (Fig. 5). La medusa posee una alta concentración de amonio, un elemento altamente volátil a altas temperaturas, por tanto, cada aplicación se realizó a partir de las 18:00 h.



Figura 5. Lectura de conductividad eléctrica y aplicación de medusa *S. meleagris* en campo experimental.

6.6.3 Tratamiento de déficit hídrico

Los riegos fueron realizados con un sistema automatizado por goteo. Se realizaron dos riegos al día (a las 8 am y 6 pm) con una duración de 20 minutos, en los tratamientos sin déficit hídrico. Para establecer el tiempo de riego, se realizaron pruebas de suelo mediante el método gravimétrico hasta

determinar el tiempo necesario para alcanzar el 80% de la capacidad de campo, esta forma de riego se realizó hasta que se sometían las plantas a déficit hídrico. El déficit hídrico se indujo llevando todas las camas a capacidad de campo, lo cual representó el día uno del experimento. Las plantas correspondientes a los tratamientos sin déficit hídrico (SDSF, SDV y SDM), continuaron con esta forma de riego con el fin de que se mantuvieran bien regadas, mientras que para los tratamientos con déficit hídrico (DHSF, DHV, DHM) el riego se suspendió el día uno. El déficit se mantuvo hasta que las plantas presentaran pérdida de turgencia mantenida (PTM), lo anterior con el fin de asegurar que las mediciones correspondieran a una planta estresada. Una vez realizadas las mediciones se incorporó un riego de recuperación para continuar con la misma forma de riego que se explicó al principio. Se realizaron un total de tres períodos de déficit hídrico con la misma metodología de la suspensión del riego durante todo el experimento (Fig. 6).



Figura 6. Sistema de riego del experimento.

6.7 Muestreos y variables de respuesta

El experimento constó de un total de tres muestreos. El tiempo entre muestreos se presenta en la Tabla I.

Tabla I. Muestreos realizados en plantas de *Mentha spicata* L., sometidas a déficit hídrico.

Número de muestreo	Días entre muestreos	DDT
1	25/10/2016 – 10/11/2016	72
2	16/11/2016 – 06/12/2016	98
3	07/02/2017 – 14/03/2017	195

DDT días después del trasplante

Las variables que se tomaron en cuenta se presentan a continuación, así como la metodología que se llevó a cabo en cada una de ellas.

6.8 Caracterización de variables físico-químicas del suelo, vermicomposta y medusa.

6.8.1 Suelo

Las variables utilizadas para el análisis del suelo, se realizaron en el laboratorio de Edafología de las instalaciones del CIBNOR. Para ello, se extrajeron tres muestras de suelo completamente al azar, de 500 g cada una, del área en donde se realizó el experimento. Éstas fueron etiquetadas, depositadas en bolsas de plástico individuales y trasladadas al laboratorio.

A continuación, se muestran en las tablas II y III las metodologías empleadas para el análisis de las diferentes variables químicas y físicas del suelo.

Tabla II. Variables y métodos para el análisis de las propiedades químicas del suelo, previa al inicio del experimento.

	C.E. (mS/cm)	Nt (%)	N-NH₄ (mg/kg)	N-NO₂ (mg/kg)	N-NO₃ (mg/kg)
Suelo	M. L. Jackson 1976	Dumas.- Adaptado al equipo LECO FP528	L. Solorzano,1969	Strickland J.D.H. and Parsons T.R., 1972	Strickland J.D.H. and Parsons T.R., 1972
		pH	P (mg/kg)	Mg (mg/kg)	SO₄ (mg/L)
		AS-02	M. L. Jackson 1976	M. L. Jackson 1958	Turbidimetría Chesnin y Yien, 195

pH: Potencial de hidrógeno. C.E. Conductividad eléctrica. Nt: Nitrógeno total. N-NH₄: Amonio. N-NO₂: Nitritos. N-NO₃: Nitratos. P: Fósforo total. Mg: Magnesio. SO₄: Sulfatos.

Tabla III. Variables y métodos para el análisis de las propiedades físicas del suelo, previa al inicio del experimento.

	Da (%)	CC (%)	PMP (%)	H.A. (%)	Pe (%)	Saturación (%)	M.O. (%)	Textura (%)
Suelo	Ortiz, V. B., y C. A. Ortiz Solorio. 1980	Ortiz, V. B., y C. A. Ortiz Solorio. 1980	Ortiz, V. B., y C. A. Ortiz Solorio. 1980		Ortiz, V. B., y C. A. Ortiz Solorio. 1980	Ortiz, V. B., y C. A. Ortiz Solorio. 1980	Walkley & Black AS-07	D.W. Lewis 1984*

Da: Densidad aparente. CC: Capacidad de campo. PMP: Punto de marchitez permanente. H.A. Humedad aprovechable. Pe: Porosidad. M.O. Materia orgánica. * En autoanalizador laser Horiba LA-950 V2, distribución de tamaño de partícula.

6.8.2 Vermicomposta

Las variables utilizadas para el análisis de la vermicomposta, se realizaron en el laboratorio de Edafología de las instalaciones del CIBNOR. Se utilizaron tres muestras de 500 g de vermicomposta, cada una, las cuales fueron etiquetadas, depositadas en bolsas de plástico individuales y trasladadas al laboratorio.

A continuación, se muestran en las Tablas IV y V las metodologías empleadas para el análisis de las diferentes variables químicas y físicas de la vermicomposta.

Tabla IV. Variables y métodos para el análisis de las propiedades químicas de vermicomposta, previa al inicio del experimento.

	pH	C.E. (ms cm ⁻¹)	Nt (%)	N-NH₄ (mg kg ⁻¹)	N-NO₂ (mg kg ⁻¹)	N-NO₃ (mg kg ⁻¹)
Vermicomposta	AS-02	M. L. Jackson 1958	Dumas.- Adaptado al equipo LECO FP528	L. Solorzano, 1969	Strickland J.D.H. and Parsons T.R., 1972	Strickland J.D.H. and Parsons T.R., 1972
	P (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Salinidad (%)	STD (g L ⁻¹)	
	M. L. Jackson 1976	M. L. Jackson 1958	M. L. Jackson 1958	Medidor de salinidad marca ORION, modelo 135 ^a	Richard L.A. 1993	

pH: Potencial de hidrógeno. C.E. Conductividad eléctrica. Nt: Nitrógeno total. N-NH₄: Amonio. N-NO₂: Nitritos. N-NO₃: Nitratos. P: Fósforo total. Mg: Magnesio. Ca: Calcio. STD: Sólidos totales disueltos.

Tabla V. Variables y métodos para el análisis de las propiedades físicas de vermicomposta, previa al inicio del experimento.

Variables físicas								
	Da (%)	CC (%)	PMP (%)	H.A. (%)	Pe (%)	Saturación (%)	M.O. (%)	Textura (%)
V	M. L. Jackson 1976	Ortiz, V. B., y C. A. Ortiz Solorio. 1980	Ortiz, V. B., y C. A. Ortiz Solorio. 1980		Ortiz, V. B., y C. A. Ortiz Solorio. 1980	AS-17	AS-07	D.W. Lewis 1984*

V: Vermicomposta. Da: Densidad aparente. CC: Capacidad de Campo. PMP: Punto de Marchitez Permanente. H.A: Humedad Aprovechable. Pe: Porosidad. M.O.: Materia Orgánica. * En auto-analizador laser Horiba LA-950 V2, distribución de tamaño de partícula.

6.8.3 Medusa

Las variables consideradas para el análisis de la medusa, se realizaron en el laboratorio de Análisis Químico de Aguas en las instalaciones del CIBNOR. La

medusa se analizó mediante una dilución de .75 mL en 1 L de agua desionizada.

A continuación, se muestra en la tabla VI las metodologías empleadas para el análisis de las diferentes variables químicas la medusa.

Tabla VI. Variables y métodos para el análisis de las propiedades químicas de medusa, previa al inicio del experimento.

	pH	C.E. (ms m ⁻¹)	Nt (%)	N-NH₄ (mg L ⁻¹)	N-NO₂ (mg L ⁻¹)	N-NO₃ (mg L ⁻¹)	SO₄ (mg L ⁻¹)	PT (mg L ⁻¹)	Salinidad (UPS)
M	NMX-AA-008-SCFI-2011*	NMX-AA-093-SCFI-2000*	Valderrama, J.C., 1981**	Solórzano (1969)*	Bendschneider y Robinsón (1952)*	Morris y Riley (1963)*	turbidimétrico de precipitación del cloruro de bario**	Valderrama, J.C., 1981**	medidor de salinidad marca ORION, modelo 135 ^a **

M: Medusa. pH: Potencial de hidrógeno. C.E. Conductividad eléctrica. Nt: Nitrógeno total. N-NH₄: Amonio. N-NO₂: Nitritos. N-NO₃: Nitratos. SO₄: Sulfatos. PT: Fósforo Total.

*Métodos acreditados ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA). **Métodos no acreditados ante la EMA.

6.9 Variables del suelo: temperatura y estado hídrico

6.9.1 Temperatura

Las temperaturas fueron tomadas solo durante el tercer muestreo diariamente, con un termómetro para suelo con vástago de acero inoxidable (marca Mequim). Las lecturas se tomaron entre las 11:00 y 12:00 horas, a una profundidad de 20 cm y en cada uno de los tratamientos.

6.9.2 Humedad del suelo

La humedad del suelo se monitoreó mediante el método gravimétrico (del Valle-Florencia, 1992). De cada bloque se tomaron 2 muestras de suelo para tener un total de 12 muestras por fertilizante, es decir, 6 muestras de suelo por fertilizante para el factor déficit hídrico y 6 muestras de suelo por fertilizante para el factor sin déficit hídrico. Las muestras de suelo se tomaron con una pala de jardinería, a una profundidad de 25 cm. Las muestras se depositaron en bolsas de plástico marcadas y cerradas para evitar la pérdida de humedad durante su transporte al laboratorio de Fisiotecnia vegetal de las instalaciones del CIBNOR.

En el laboratorio, las muestras se pesaron individualmente con una balanza analítica (Mettler Toledo ML204) hasta obtener 50 g de peso registrando este dato como peso fresco (Pf), se depositaron en charolas de aluminio individuales y se metieron en un horno de flujo laminar (Shel-Lab, modelo FX-5, serie 1000203) a 70°C durante 24 horas, hasta alcanzar un peso constante. Pasado este lapso de tiempo se volvieron a pesar para obtener el peso seco (Ps) (Fig. 7).

Con estos datos se aplicó la siguiente fórmula para finalmente obtener la humedad del suelo en porcentaje:

$$\% H = ((Pf - Ps) / Ps) * 100 \quad (1)$$



Figura 7. Lectura de pesos de muestras de tierra para porcentajes de humedad.

El monitoreo de esta variable se realizó diariamente en ambas condiciones de cultivo y en todos los tratamientos, con el fin de observar el cambio de la humedad en cada una de las camas respecto al tiempo en el caso de la condición de déficit hídrico y para saber si la humedad se mantenía en la condición cercana a capacidad de campo. La extracción de las muestras se realizó durante las horas de mayor temperatura, entre las 12:00 y 13:00 horas.

6.9.3 Potencial mátrico

Para el monitoreo se tomaron 6 muestras de suelo con una pala de jardinería por tratamiento, por bloque, a una profundidad de 25 cm. Las muestras se depositaron en bolsas de plástico marcadas y cerradas para evitar la pérdida

de humedad durante su transporte al laboratorio de Fisiotecnia Vegetal de las instalaciones del CIBNOR.

En el laboratorio las muestras de suelo se colocaron en cubetitas de metal, procurando que la base de la cubeta quedara completamente cubierta y sin que pasara más de la mitad de la altura de la misma. Las lecturas se obtuvieron con un potenciómetro de punto de rocío (Dewpoint PotentialMeter modelo WP4-T), con el cual se registraron las lecturas del potencial mátrico en megapascales (MPa).

Esta variable se midió desde el día uno, es decir, el día que se comenzó a aplicar el tratamiento de déficit hídrico, hasta el día previo a cada muestreo de morfometría, asimismo, las muestras de suelo se colectaron posterior a los riegos efectuados en la condición sin déficit hídrico.

6.10 Variables de la planta: relaciones hídricas

El monitoreo del estado hídrico de la planta se realizó obteniendo datos del potencial hídrico, potencial osmótico y contenido relativo de agua de todos los tratamientos. Se realizaron un total de tres muestreos una vez que las plantas en estrés presentaron pérdida de turgencia sostenida por la mañana. Los muestreos se desarrollaron en hojas completamente desarrolladas, sanas y totalmente turgentes, se tomó la tercera hoja del ápice hacia abajo. Para esto se utilizó una planta por bloque de la cual se tomaron 3 hojas de cada una, para tener un total de 9 hojas por cada tratamiento de fertilizante y de déficit hídrico. Este procedimiento se llevó a cabo de la misma manera en cada uno de los muestreos de las variables descritas a continuación.

6.10.1 Potencial hídrico

Se utilizaron las hojas obtenidas en campo y fueron transportadas en cubetas cubiertas de papel parafilm con destino al laboratorio de Fisiotecnia Vegetal de las instalaciones del CIBNOR. Una vez en el laboratorio fueron puestas en cubetas individualmente, buscando que la base de la cubeta quedara completamente cubierta. Finalmente se utilizó un potenciómetro de punto de

rocío (Dewpoint PotentialMeter modelo WP4-T) con el cual se registraron los potenciales hídricos en megapascales (MPa).

6.10.2 Potencial osmótico

Las hojas obtenidas en campo fueron depositadas en bolsas de plástico, etiquetadas y almacenadas en un ultracongelador (Binder®) a una temperatura de -80°C de las instalaciones del CIBNOR, para su posterior proceso.

Se tomó una muestra de cada hoja, con un sacabocado de 3.9 cm². A cada muestra se le agregaron 100 µL de agua destilada para posteriormente ser maceradas con un mortero. Cada muestra macerada fue depositada en tubos Eppendorf individualmente. Los tubos fueron centrifugados a 10,000 x g a 4°C durante 10 minutos, a continuación 10 µL del sobrenadante de cada tubo fueron tomados con una micropipeta y depositados en un círculo de papel para finalmente ser introducido en un osmómetro de presión (Wescor®, modelo VAPRO). Las unidades en las cuales se registraron las lecturas fueron mmol kg⁻¹.

6.10.3 Contenido relativo de agua

Las hojas fueron tomadas en campo y guardadas en pequeñas cubetas que se cubrieron con papel parafilm para su transporte al laboratorio de Fisiotecnia Vegetal de las instalaciones del CIBNOR, con el fin de que estas perdieran la menor cantidad de agua posible por transpiración. Una vez en el laboratorio se tomó una muestra de cada hoja, utilizando un sacabocado (Fig. 8). Las muestras se pesaron en una balanza analítica (Mettler Toledo®, modelo AG204) para obtener el peso fresco y posteriormente fueron depositadas individualmente en cubetas pequeñas con agua destilada; en donde se dejaron durante 24 horas, con el fin de obtener, el peso turgente (Pt).



Figura 8. Toma de muestra de hojas para determinación de contenido relativo de agua en laboratorio de Fisiotecnia Vegetal.

Subsecuentemente, se almacenaron individualmente en bolsas de papel y se colocaron en un horno de flujo laminar (Shel-Lab®, modelo FX-5, serie 1000203) a 70°C durante 24 horas cuando se alcanzaba un peso constante. De esta manera y transcurrido el tiempo se volvieron a pesar para obtener el peso seco (Ps).

El contenido relativo de agua (CRA) se determinó en base a la siguiente fórmula:

$$\text{CRA} = (\text{Pf} - \text{Ps}) / (\text{Pt} - \text{Ps}) * 100 \quad (2)$$

6.11. Variables de la planta: fisiología

La evaluación del estado fisiológico de la planta se realizó obteniendo datos de variables de fotosíntesis, contenido de clorofila a, b y total, así como contenido relativo de clorofila en unidades SPAD. Se realizaron un total de tres muestreos a los 72, 98 y 195 DDT, respectivamente. Cada muestreo se llevó a cabo una vez que las plantas en estrés presentaron pérdida de turgencia sostenida por la mañana. Los muestreos se desarrollaron en hojas completamente desarrolladas, sanas y totalmente turgentes, se tomó la tercera hoja del ápice hacia abajo. Para esto se utilizó una planta por bloque de la cual se tomaron 3 hojas de cada una, para tener un total de 9 hojas por cada tratamiento de fertilizante y factor de déficit hídrico. Este procedimiento se llevó a cabo de la

misma manera en cada uno de los muestreos de las variables descritas a continuación.

6.11.1 Fotosíntesis

Las variables: tasa de fotosíntesis (A), transpiración (E), conductividad estomática (g), CO₂ sub-estomático (C_i), temperatura de la superficie de la hoja (T_h) y radiación fotosintéticamente activa (RFA), fueron registradas por medio de un medidor portátil de fotosíntesis Li-Cor® LI-6400XT.

Los muestreos se realizaron durante las horas de mayor temperatura, entre las 11:00 y 13:00 horas.

6.11.2 Clorofila a, b y total

Previo a la extracción, cada muestra fue lavada con agua desionizada para evitar cualquier tipo de contaminación. Los pigmentos fueron extraídos de tres hojas totalmente expandidas por planta, procurando que fuera entre la tercera y cuarta hoja de la parte apical hacia abajo, con el fin de utilizar una hoja madura, que no fuera demasiado joven o vieja; se aseguró que no se utilizaran hojas enfermas o atacadas por plagas. Se obtuvo una muestra circular por cada hoja, para un total de tres por planta, utilizando un sacabocado (3.9 cm²). Estas muestras se colocaron en tubos de ensayo con acetona al 90% y a su vez depositados en un recipiente cerrado para evitar la degradación de los pigmentos por la acción de la luz.

La absorbancia se midió con un espectrofotómetro de UV/Visible (Pye Unicam® SP6-550, UK), a su vez, las concentraciones de clorofila se calcularon usando la ecuación propuesta por Strain y Svec (1996):

$$\text{Chl a (mg ml}^{-1}\text{)} = 11.64 \times (\text{A}663) - 2.16 \times (\text{A}645) \quad (3)$$

$$\text{Chl b (mg ml}^{-1}\text{)} = 20.97 \times (\text{A}645) - 3.94 \times (\text{A}663) \quad (4)$$

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

6.11.3 Contenido Relativo de Clorofila en unidades SPAD

Este parámetro se obtuvo con un medidor compacto de cantidad relativa de clorofila SPAD MCL502 Minolta® SPAD 502 plus modelo estándar. Las lecturas se llevaron a cabo diariamente durante el tiempo en el que se aplicaron los tratamientos de déficit hídrico. Dichas lecturas se tomaron entre las 11:00 y 13:00 horas.

6.12 Variables de la planta: Morfometría

Se realizaron dos muestreos de morfometría a los 98 y 199 DDT. En ambos muestreos se utilizó una sola planta por bloque por tratamiento de fertilización, para tener 3 plantas por tratamiento de fertilización en la condición a déficit hídrico y a su vez, 3 plantas por tratamiento de fertilización en la condición sin déficit hídrico. Existieron diferencias en la valoración de la parte aérea en ambos muestreos, las cuales se muestran a continuación.

6.12.1 Primer muestreo de morfometría

Las plantas se etiquetaron en campo y se transportaron al laboratorio de Fisiotecnia Vegetal de las instalaciones del CIBNOR, en donde fueron procesadas individualmente. Para la realización de este muestreo, se tomó una parte representativa de cada planta, a la cual se les determinaron las siguientes variables:

Longitud total en cm.

Número de Ramificaciones: Para la determinación de esta variable se realizó la siguiente clasificación:

- Ramificaciones maduras: A aquellas \geq a 5 mm de grosor y desarrollada, a partir, de la planta principal.
- Ramificaciones jóvenes: A aquellas $<$ a 5 mm de grosor y desarrolladas, a partir, de la planta principal.
- Ramificaciones maduras secundarias: A aquellas \geq a 5 mm de grosor desarrolladas, a partir, de una ramificación.

- Ramificaciones jóvenes secundarias: A aquellas < a 5 mm de grosor desarrolladas, a partir, de una ramificación.

Una vez determinadas las variables previamente explicadas, se prosiguió a separar las plantas en cada una de sus partes (hojas, tallos y raíz) para su análisis individual.

6.12.1.1 Hojas

Área foliar: La determinación del área foliar se realizó en base a la clasificación de las ramificaciones previamente explicada, es decir, se separaron las hojas de las ramificaciones maduras y jóvenes, para finalmente calcular dicha variable de manera separada, con un medidor de área foliar (Li-Cor®, modelo LI-3100C). Los datos se expresan en centímetros cuadrados (cm²).

Peso fresco y seco de hojas: Siguiendo con la clasificación de las ramificaciones, se procedió a determinar el peso fresco (Pf) con una balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204) para posteriormente colocarlas en bolsas de papel y meterlas al horno (Shel-Lab, modelo FX-5, serie 1000203) durante 24 horas a 70°C, hasta su completa deshidratación para volver a ser pesadas y obtener el peso seco (Ps).

6.12.1.2 Tallos

Peso fresco y seco de tallos: Se obtuvieron los datos de dichas variables siguiendo la clasificación de las ramificaciones previamente descrita. Los tallos al ser separados, se colocaron en una balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204) con el cual se obtuvo el peso fresco (Pf), posteriormente los tallos fueron puestos en bolsas de papel, las cuales se metieron al horno (Shel-Lab, modelo FX-5, serie 1000203) durante 48 horas a 70°C hasta su completa deshidratación, para ser vueltos a pesar en una balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204) con el cual se obtuvo el peso seco (Ps). Esto se realizó por separado entre las ramificaciones primarias y secundarias.

6.12.1.3 Raíz

Posteriormente de ser separadas de sus otros componentes, las raíces fueron lavadas con agua corriente con el fin de quitar el exceso de tierra y que quedaran completamente visibles. Posteriormente se colocaron en charolas de aluminio y se cubrieron en papel secante para eliminar el exceso de humedad con el fin de que no influyera en las lecturas posteriores.

Longitud de raíz: Dicha variable se evaluó con una regla graduada en centímetros. Las medidas se realizaron a partir de la base de la raíz hasta el final de los pelos radicales.

Peso fresco y seco de raíz: Las raíces se colocaron en una balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204) con el cual se obtuvo el peso fresco (Pf), posteriormente fueron colocadas en bolsas de papel, las cuales se introdujeron al horno (Shel-Lab, modelo FX-5, serie 1000203) durante 48 horas a 70 °C hasta su completa deshidratación, para ser vueltos a pesar en una balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204) con el cual se obtuvo el peso seco (Ps).

6.12.2 Segundo muestreo de morfometría

Durante el segundo las plantas obtenidas en campo se etiquetaron, para ser transportadas posteriormente al laboratorio de Fisiotecnia Vegetal de las instalaciones del CIBNOR, en donde fueron procesadas individualmente.

En el laboratorio se separó la parte aérea (tallos con hojas) de la raíz y se procedió a determinar las siguientes variables.

6.12.2.1 Parte aérea

Peso fresco y peso seco de parte aérea: Se obtuvieron los datos de dichas variables colocando los tallos con hojas en una balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204) con el cual se obtuvo el peso fresco (Pf), posteriormente se colocaron en bolsas de papel, las cuales se metieron al horno (Shel-Lab, modelo FX-5, serie 1000203) durante 48 horas a 70 °C hasta

su completa deshidratación, para ser vueltos a pesar en una balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204) con el cual se obtuvo el peso seco (Ps).

6.12.2.2 Hojas

Área foliar: Una vez determinado el peso fresco de la parte aérea, se prosiguió a separar las hojas de los tallos, con el fin de determinar el área foliar, el cual fue cuantificado con un medidor de área foliar (Li-Cor, modelo LI-3100C). Los datos arrojados por éste fueron expresados en centímetros cuadrados (cm²).

6.12.2.3 Raíz

Peso fresco y peso seco de raíz: Las raíces se colocaron en una balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204) con el cual se obtuvo el peso fresco (Pf), posteriormente se colocaron en bolsas de papel, las cuales se introdujeron al horno (Shel-Lab, modelo FX-5, serie 1000203) durante 48 horas a 70°C hasta su completa deshidratación, para ser vueltos a pesar en una balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204) con el cual se obtuvo el peso seco (Ps).

6.12. 3 Biomasa total

Al finalizar el segundo muestreo se realizó el corte de las plantas de todos los tratamientos de fertilización y de déficit hídrico. Por tratamiento se colocaron en bolsas de plástico individuales para pesar en una balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204) y determinar así la biomasa fresca total. Posteriormente se colocaron las plantas en bolsas de papel individuales las cuales se introdujeron al horno (Shel-Lab, modelo FX-5, serie 1000203) durante 48 horas a 70°C hasta su completa deshidratación, para ser vueltos a pesar en una balanza analítica (Mettler Toledo, modelo AG204) con lo cual se obtuvo la biomasa seca total.

6.13 Variables de la planta: contenido mineral

6.13.1 Preparación de las muestras

Se utilizó una planta por bloque de la cual se tomaron tres hojas de cada una, para tener un total de nueve hojas por cada tratamiento de fertilización y factor de déficit hídrico. Se realizó un solo muestreo al finalizar el experimento a los 196 días después del trasplante (DDT).

Se utilizaron muestras de tejido foliar, las cuales se sometieron a un proceso de deshidratación en horno de secado (Terlab® modelo TE-H80DM), durante 48 horas a una temperatura de 70°C. Las muestras fueron pulverizadas con mortero hasta lograr una consistencia fina y homogénea. Se pesaron 0.5 g de muestra en balanza analítica (Mettler Toledo ML204) para el análisis de manganeso (Mn), calcio (Ca²⁺), sodio (Na⁺), potasio (K⁺) y magnesio (Mg). Posteriormente se realizó una digestión de las muestras utilizando una mezcla de 6 mL de ácido nítrico y 2 mL de peróxido de hidrógeno en plancha caliente a 180°C, aforadas a 50 mL con agua desionizada y filtradas con papel Whatman No. 4.

6.13.2 Determinación del contenido mineral

El contenido mineral se determinó en el laboratorio de Espectrofotometría de Absorción Atómica del CIBNOR, en un espectrofotómetro de plasma de acoplamiento inductivo (ICP) de emisión óptica (Horiba® modelo Ultima 2), en tres muestras por tratamiento. Los resultados se expresan en mg g⁻¹ de peso seco.

6.14 Análisis estadísticos

Los datos morfométricos se transformaron por log en base 10 y los datos expresados en porcentaje a través arcoseno con el fin de que cumplieran los supuestos estadísticos del análisis de varianza. Los análisis estadísticos que se aplicaron fueron Análisis de Varianza donde se manejaron dos factores el factor tratamientos de fertilización y el factor de déficit hídrico. Se consideró el análisis en bloques, como no se presentaron diferencias estadísticamente

significativas por bloques los datos se trataron sin bloques. Cuando se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) se aplicó una prueba de Tukey con el fin de conocer las diferencias entre las medias.

7. RESULTADOS

7.1 Caracterización de variables físico-químicas del suelo, vermicomposta y medusa.

7.1.1 Caracterización química del suelo, vermicomposta y medusa.

En la tabla VII se muestran los resultados de las variables químicas de los tratamientos suelo, vermicomposta y medusa. Se observa a la vermicomposta con valores más altos en las distintas variables evaluadas, es decir, en la fertilización con vermicomposta se obtuvo un pH más alcalino, así como un mayor porcentaje de materia orgánica, nitritos, nitratos, amonio, fósforo, magnesio y calcio. Por otro lado, la fertilización con medusa resalta en su contenido alto de nitrógeno, el cual está compuesto en su mayoría por amonio, así como por su contenido alto de sulfatos. En cuanto al suelo, es de resaltar su baja conductividad eléctrica, salinidad y contenido de nitrógeno total.

Tabla VII. Características químicas del suelo sin fertilizante (S), suelo con vermicomposta (V) y suelo con medusa (M) obtenidas mediante el análisis en laboratorios del CIBNOR.

	pH	C.E. (mS cm ⁻¹)	Salinidad (%)	M.O. (%)	STD (g L ⁻¹)	N-NO ₂	N-NO ₃
S	7.91	0.37	0.2	0.1	---	0.02	---
V	8.49	4.83	2.6	12.5	2.53	12.7	495.7
M	7.02	4.22	2.2	---	---	0.019	0.358
	N-NH ₄	P	Mg (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Nt (%)	SO ₄ (mg L ⁻¹)	
S	0.9*	10.8*	12.2	---	0.018	---	
V	3.7*	65.4*	19370.6	130.3	0.792	---	
M	26.2	0.62	---	---	12.7	102	

pH: Potencial hidrógeno. C.E.: Conductividad eléctrica. M.O.: Materia Orgánica. STD: Sólidos Totales Disueltos. N-NO₂: Nitritos. N-NO₃: Nitratos. N-NH₄: Amonio. P: Fósforo se expresan en mg kg⁻¹ para S y V; y en mg L⁻¹ para M. Mg: Magnesio. Ca: Calcio. Nt: Nitrógeno total. SO₄: Sulfatos. "---" Indica la ausencia de dicha variable en el tratamiento de fertilización.

7.1.2 Caracterización física del suelo y vermicomposta.

En la tabla VIII se muestran las características físicas del suelo y vermicomposta, así como su textura (Tabla IX). Es de resaltar el alto porcentaje de arenas en ambos tratamientos, así como la presencia de un bajo porcentaje de limos y arcillas en el suelo.

Tabla VIII. Características físicas del suelo sin fertilizante (S) y suelo con vermicomposta (V) obtenidas mediante el análisis en laboratorios del CIBNOR.

	Da (%)	CC (%)	PMP (%)	H.A. (%)	Pe (%)	Saturación (%)
S	1.57	20.8	2.5	18.3	---	---
V	1.05	19.86	1.35	---	1.89	89.73

Da: Densidad aparente. CC: Capacidad de Campo. PMP: Punto de Marchitez Permanente. H.A.: Humedad Aprovechable. Pe: Porosidad. "---" Indica la ausencia de dicha variable en el tratamiento de fertilización.

Tabla IX. Características físicas (textura) del suelo sin fertilizante (S) y suelo con vermicomposta (V) obtenidas mediante el análisis en laboratorios del CIBNOR expresadas en porcentaje (%).

	Arena	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena mediana	Arena fina	Arena muy fina
S	90.9	---	---	---	---	---
V	---	4.64	23.01	27.14	30.44	11.59
	Limo	Limo grueso	Limo mediano	Limo fino	Limo muy fino	Arcilla
S	9.4	---	---	---	---	0.9
V	---	1.28	0.65	0.98	0.28	---

"---" Indica la ausencia de dicha variable en el tratamiento de fertilización

7.2 Evolución de la humedad del suelo, potencial mátrico y temperatura.

7.2.1 Humedad del suelo

En la tabla X se aprecian diferencias estadísticamente significativas para el factor déficit hídrico, fertilización y la interacción entre ambos factores. La figura 9 muestra que las diferencias para los tratamientos sin déficit hídrico sin fertilización (SDSF), sin déficit hídrico con medusa (SDM), y sin déficit hídrico con vermicomposta (SDV) fue mayor a lo largo del tiempo de experimentación comparado con los tratamientos con déficit hídrico, déficit hídrico sin fertilización (DHSF), déficit hídrico con vermicomposta (DHV) y déficit hídrico

con medusa (DHM). Las diferencias en los porcentajes de humedad entre los tratamientos sin déficit hídrico (control) y con déficit hídrico se mantuvieron la mayor parte de los días del experimento, haciéndose más evidente a partir del día 34 (Fig. 9). El análisis de varianza entre los tratamientos de fertilización y déficit hídrico en el suelo, mostró diferencias estadísticas significativas (Tabla X). De acuerdo al análisis de medias de Tukey HSD ($p=0.05$), los tratamientos de suelo con vermicomposta y medusa presentaron un contenido de agua mayor en el suelo que el grupo control sin estos fertilizantes; sin embargo, con déficit hídrico no se presentan diferencias entre los fertilizantes, aunque como se ha mencionado significativamente con un menor contenido de agua en el suelo que los tratamientos sin déficit hídrico (Fig. 10).

Tabla X. Resultados del análisis de varianza para la humedad de los suelos registrados a lo largo del experimento.

F.V.	g.l.	C.M.	p
Déficit hídrico (D)	1	8321.9	0.000000
Fertilización (F)	2	52.2	0.006407
D x F	2	40.5	0.019773
Error	1608	10.3	

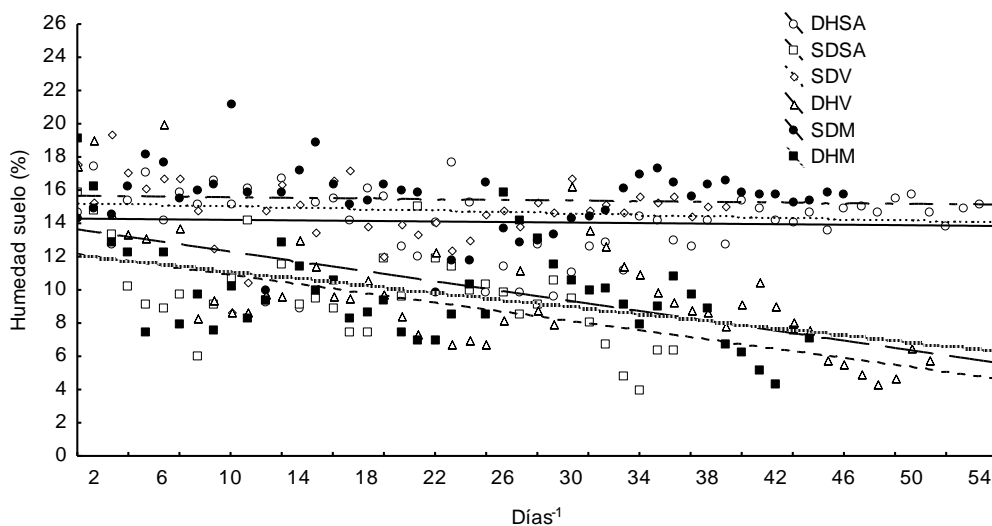


Figura 9. Tendencia de los datos de humedad del suelo a lo largo del experimento por tratamiento, sin déficit sin fertilización (SDSF), déficit hídrico sin fertilización (DHSF), sin déficit con vermicomposta (SDV), déficit hídrico con vermicomposta (DHV), sin déficit con medusa (SDM), déficit hídrico con medusa (DHM).

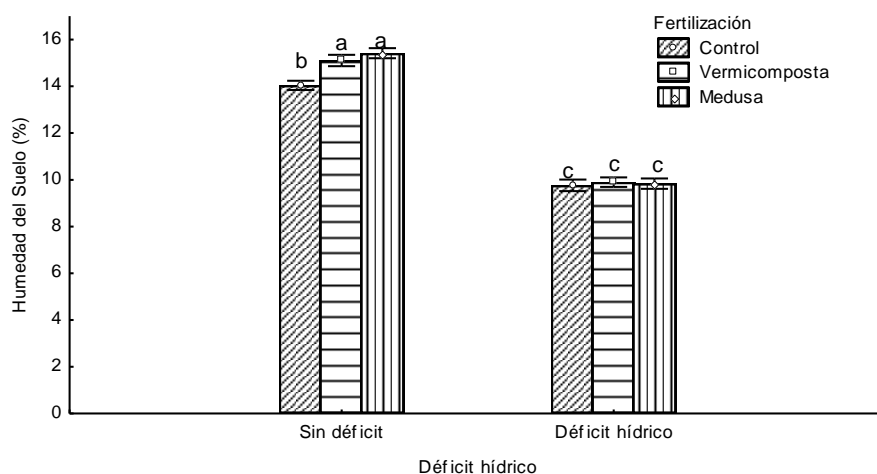


Figura 10. Humedad del suelo promedio entre factores déficit hídrico y fertilización, a lo largo del experimento y resultados del análisis de Tukey ($p=0.05$). Las literales diferentes denotan diferencias estadísticas. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media ($n=1,615$).

Analizando los tratamientos de fertilización independientemente de los tratamientos de déficit hídrico, se observó que el fertilizante suelo-medusa parece mejorar la retención de humedad de suelo con respecto al control y tratamiento con vermicomposta (Fig. 11).

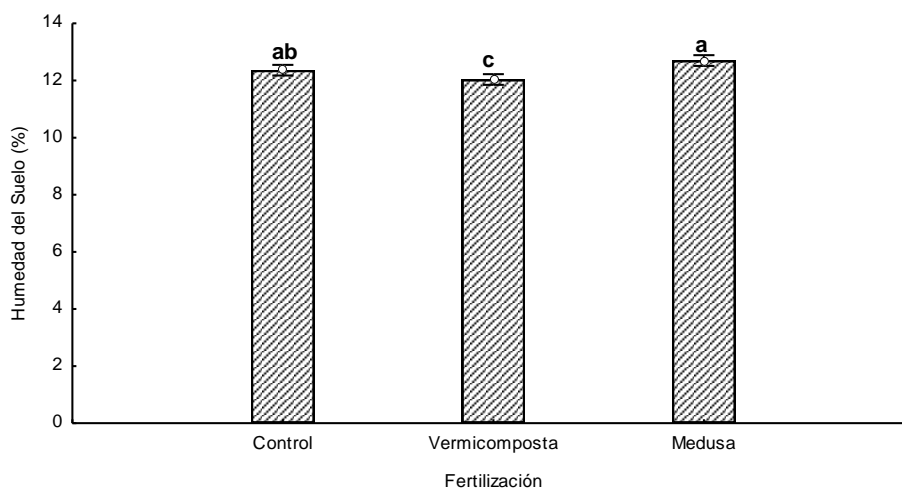


Figura 11. Humedad promedio del suelo sin fertilizante (control) a lo largo del experimento, suelo con vermicomposta y suelo con medusa y resultados del análisis de Tukey ($p=0.05$). Las literales diferentes denotan diferencias estadísticas. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media ($n=1,615$).

Se observaron diferencias estadísticas significativas cuando la humedad de suelo se analizó por muestreo. El grupo control (sin déficit) se mantuvo con los valores más altos de humedad respecto al tratamiento sometido a déficit hídrico (Fig. 12).

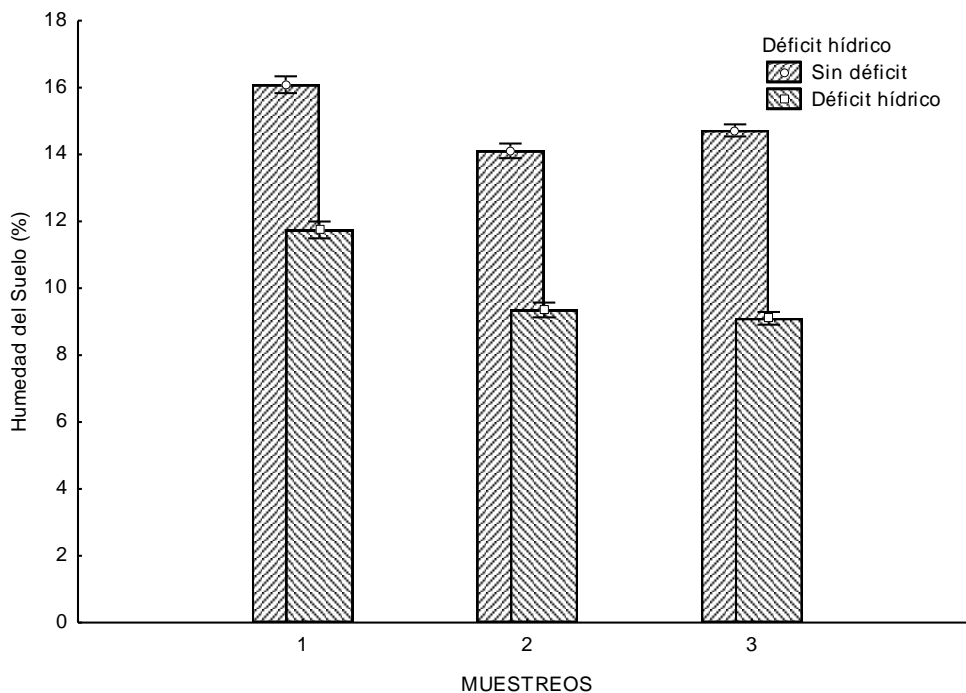


Figura 12. Humedad promedio del suelo por tratamiento y muestreo, a lo largo del experimento. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media (n=1,615).

7.2.2 Potencial mátrico

Los análisis de varianza mostraron diferencias estadísticas significativas sólo para el factor de déficit hídrico y no para el factor fertilización, ni para la interacción entre ambos (Tabla XI). Sin embargo, es posible observar cierta tendencia en favor del fertilizante suelo con medusa, ya que tanto en el tratamiento sin déficit hídrico (control) como el sometido a déficit hídrico, se presentaron los valores mayores de potencial mátrico (Tabla XII).

Tabla XI. Resultados del análisis de varianza para el potencial mátrico del suelo registradas a lo largo del experimento.

F.V.	g.l.	C.M.	p
Déficit hídrico (D)	1	149.5780	0.000000
Fertilización (F)	2	3.2858	0.108515
D x F	2	0.6347	0.650821
Error	1419	1.4772	

Tabla XII. Promedios y desviación estándar de los resultados de potencial mátrico (MPa) por tratamiento e interacciones del análisis de varianza.

Tratamientos en suelo		Potencial mátrico (MPa)
Déficit hídrico	Fertilización	
SD		-0.50±0.46*
DH		-1.14±1.66*
SF		-0.83±1.28 ^{ns}
V		-0.89±1.31 ^{ns}
M		-0.73±1.16 ^{ns}
SD	SF	-0.54±0.50 ^{ns}
SD	V	-0.50±0.49 ^{ns}
SD	M	-0.45±0.38 ^{ns}
DH	SF	-1.27±1.85 ^{ns}
DH	V	-1.15±1.60 ^{ns}
DH	M	-1.03±1.55 ^{ns}

ns= no significativo, *= significativo $p < 0.05$. SD= Sin déficit hídrico, DH=Déficit hídrico, SF=Suelo sin fertilizante, V=suelo con vermicomposta, M= suelo con medusa

7.2.3 Temperatura del suelo

Al analizar dicha variable se observa que existen diferencias estadísticas significativas para los factores déficit hídrico y fertilización, pero no para la interacción de los dos factores (Tabla XIII). Las temperaturas se mantuvieron más bajas en el suelo donde las plantas se fertilizaron con medusa, mientras que la aplicación de vermicomposta parece haber provocado temperaturas ligeramente más altas respecto al grupo control (Fig. 13). Por otro lado, a lo largo del tiempo de experimentación, se observan temperaturas más altas en la condición en déficit hídrico, independientemente del fertilizante (Fig. 14).

Tabla XIII. Resultados del análisis de varianza para las temperaturas del suelo registradas a lo largo del experimento.

F.V.	g.l.	C.M.	p
Déficit hídrico (D)	1	5.9	0.00016
Fertilización (F)	2	3.1	0.00055
D x F	2	0.3	0.469
Error	405	0.4	

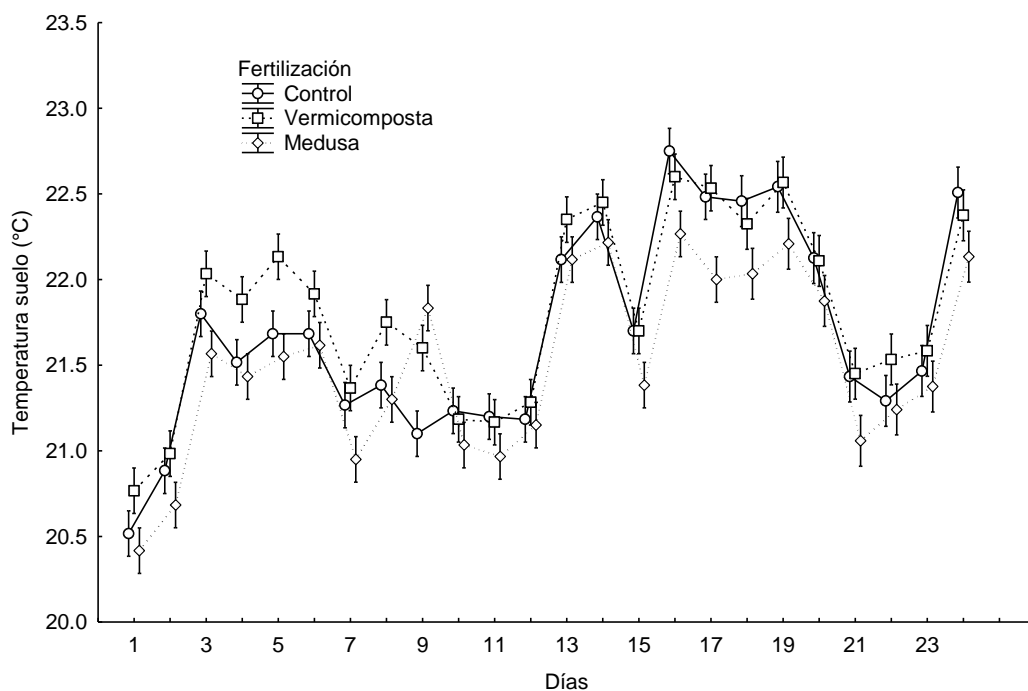


Figura 13. Temperaturas promedio del suelo sin fertilizante (control), suelo con vermicomposta y suelo con medusa registradas a lo largo del experimento. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media (n=41).

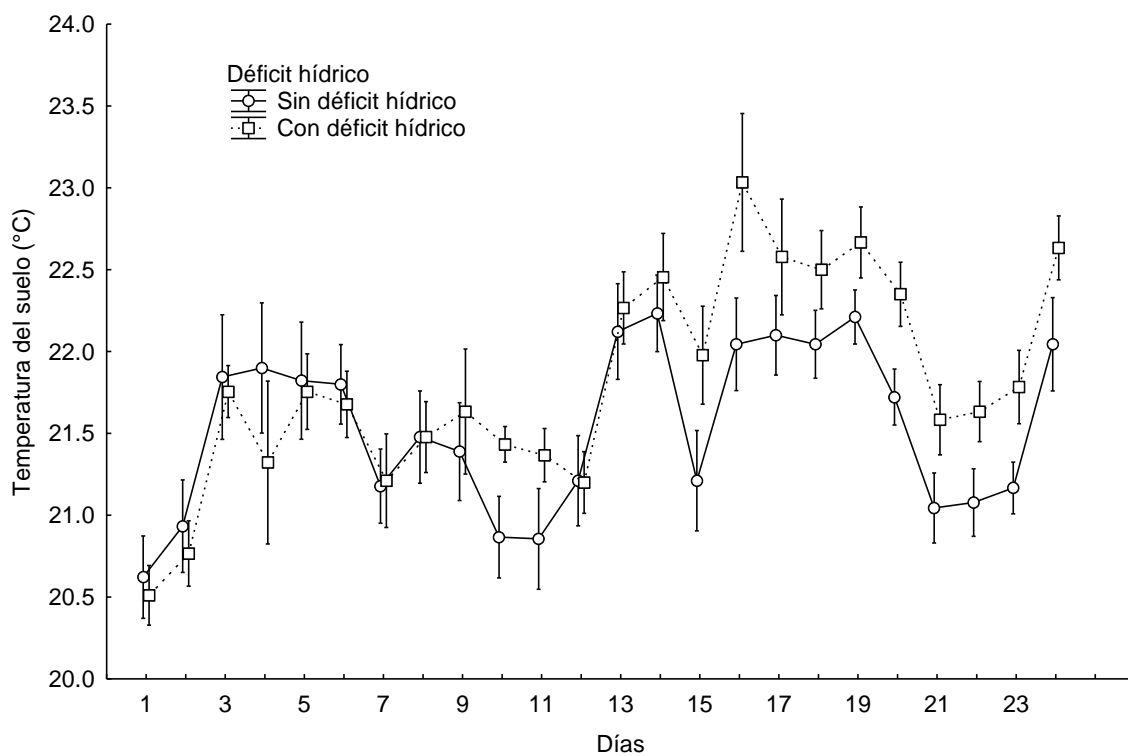


Figura 14. Temperaturas promedio del suelo sin déficit hídrico (control) y suelo con déficit hídrico. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media (n=41).

La comparación entre las temperaturas registradas con la condición de déficit hídrico independientemente de los tratamientos de fertilización, mostraron valores más altos respecto al grupo control (sin déficit hídrico) como se observa en la figura 15.

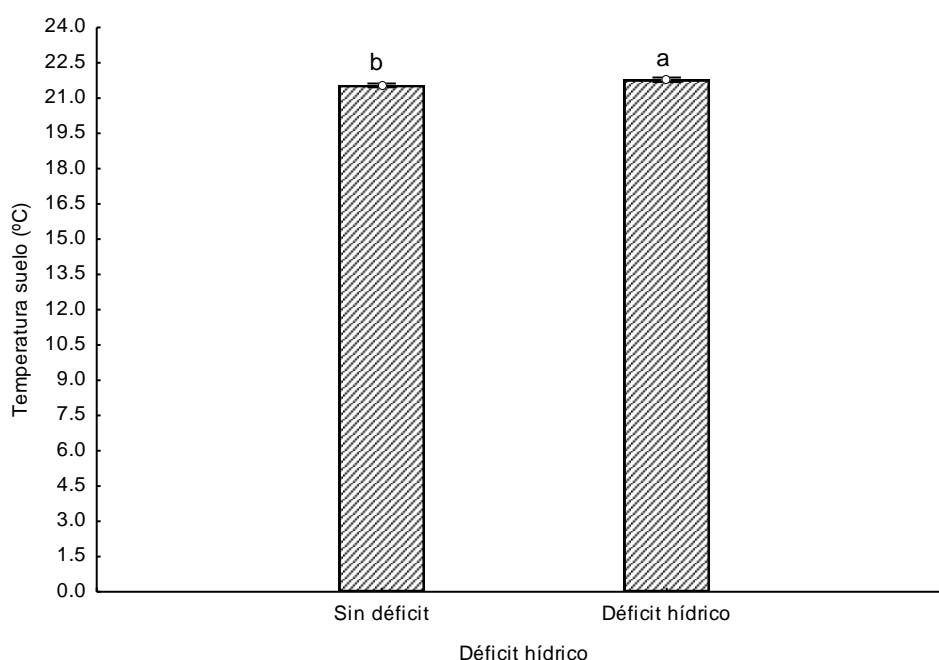


Figura 15. Temperaturas promedio del suelo por tratamiento, a lo largo del experimento y resultados del análisis de Tukey ($p=0.05$), las literales diferentes denotan diferencias estadísticas. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media (n=41).

La interacción entre la temperatura del suelo con respecto a los factores déficit hídrico y fertilización, no mostraron diferencias estadísticas significativas como se comentó anteriormente (Tabla XIII, primer párrafo). Sin embargo, se observa una tendencia a mantener en menor temperatura el suelo con la aplicación de medusa tanto en los tratamientos si déficit (control) como en los que se encuentran en déficit hídrico (Fig.16).

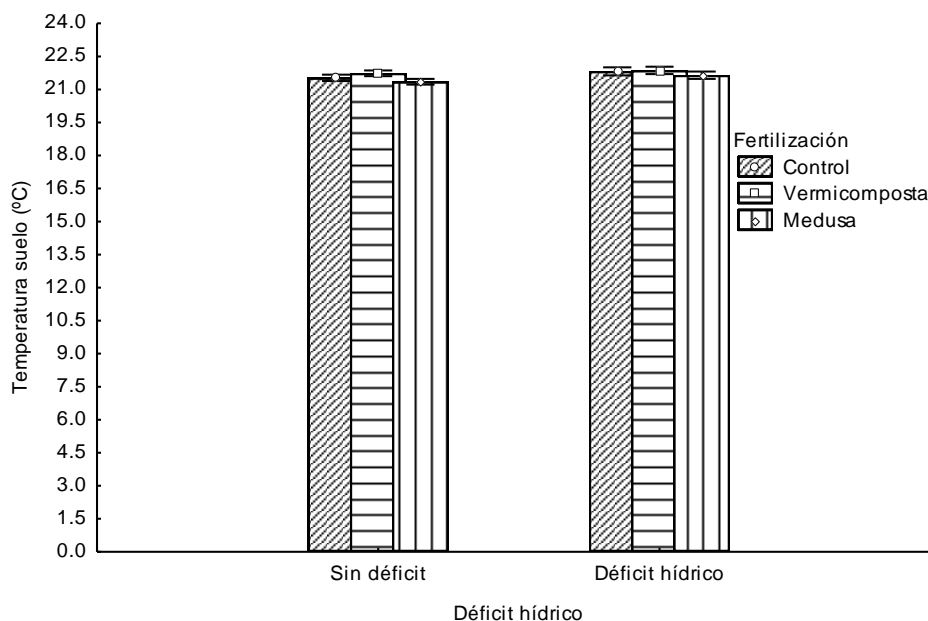


Figura 16. Temperaturas del suelo promedio entre factores déficit hídrico y fertilización, a lo largo del experimento y resultados de la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Las literales diferentes denotan diferencias estadísticas. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media ($n=41$).

7.3 Evaluación del estado hídrico para cada tratamiento de déficit hídrico y fertilización.

7.3.1 Potencial hídrico foliar

Existieron diferencias estadísticas significativas entre dicha variable con respecto al factor déficit hídrico (Tabla XIV). Sin embargo, no existieron diferencias estadísticas significativas con el factor fertilización ni en la interacción de ambos factores (Fig. 17).

Tabla XIV. Resultados del análisis de varianza para el potencial hídrico del suelo registradas a lo largo del experimento.

F.V.	g.l.	C.M.	p
Déficit hídrico (D)	1	517.205	0.000000
Fertilización (F)	2	6.159	0.680928
D x F	2	11.964	0.474510
Error	255	16.002	

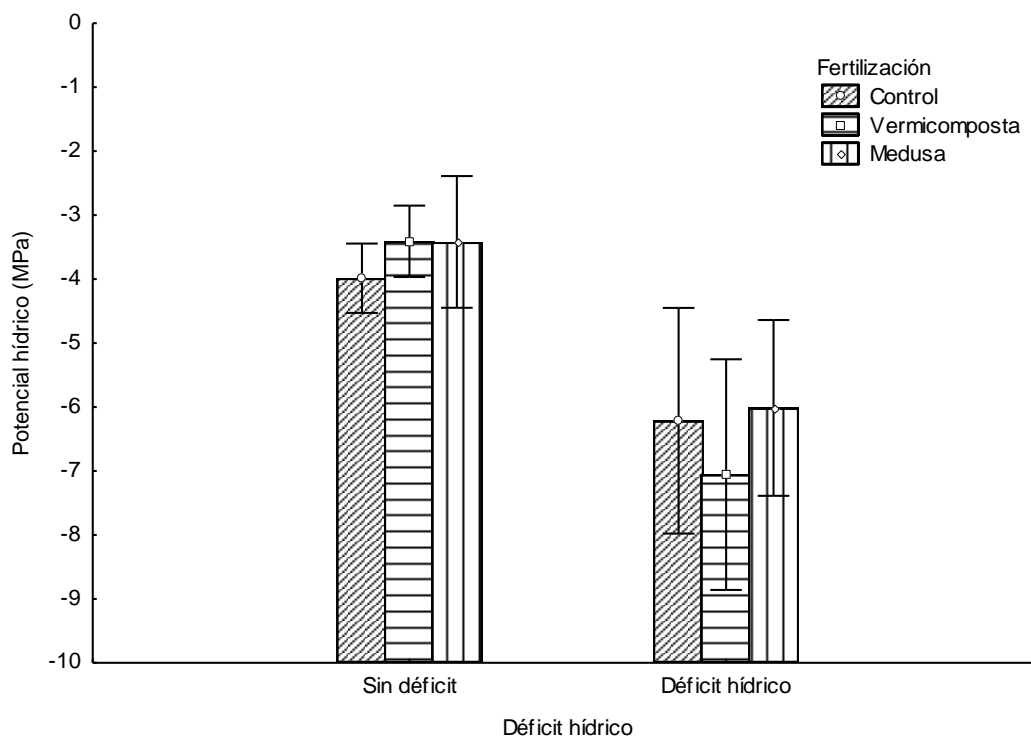


Figura 17. Potencial hídrico promedio entre factores fertilización y déficit hídrico, a lo largo del experimento. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media (n= 261).

7.3.2 Potencial osmótico

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas respecto a los factores déficit hídrico, fertilización y la interacción de ambos. Sin embargo, de acuerdo con la prueba de Tukey HSD, es posible observar que no existen diferencias estadísticas en el factor fertilización con relación al tratamiento sin déficit hídrico en del factor déficit hídrico (Fig. 18).

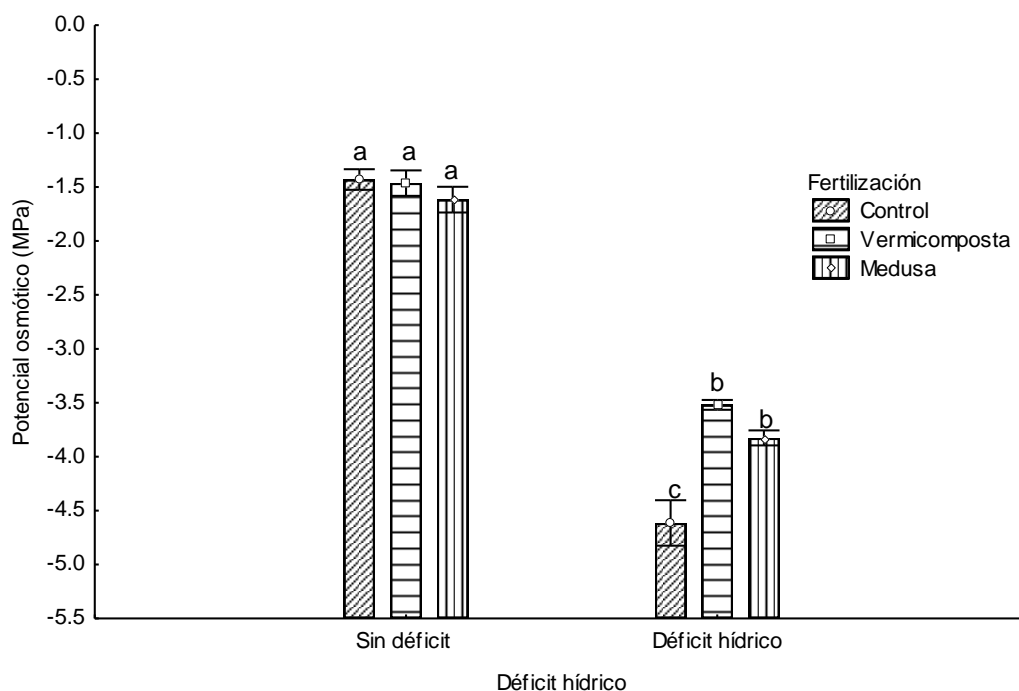


Figura 18. Potencial osmótico promedio entre factores déficit hídrico y fertilización, a lo largo del experimento. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media (n= 54).

7.3.3 Contenido Relativo de Agua

No se presentaron diferencias estadísticas significativas entre la variable CRA en interacción con los factores déficit hídrico y fertilización, como se puede observar en la figura 19 y en la tabla XV. Al observar dicha variable respecto a los diferentes muestreos realizados, es evidente una disminución progresiva tanto en el tratamiento cercano a capacidad de campo como al sometido a déficit hídrico (Fig. 20).

Tabla XV. Resultados del análisis de varianza para el contenido relativo de agua (CRA) del suelo registradas a lo largo del experimento.

F.V.	g.l.	C.M.	p
Déficit hídrico (D)	1	490	0.122895
Fertilización (F)	2	83	0.665928
D x F	2	6	0.970918
Error	210	204	

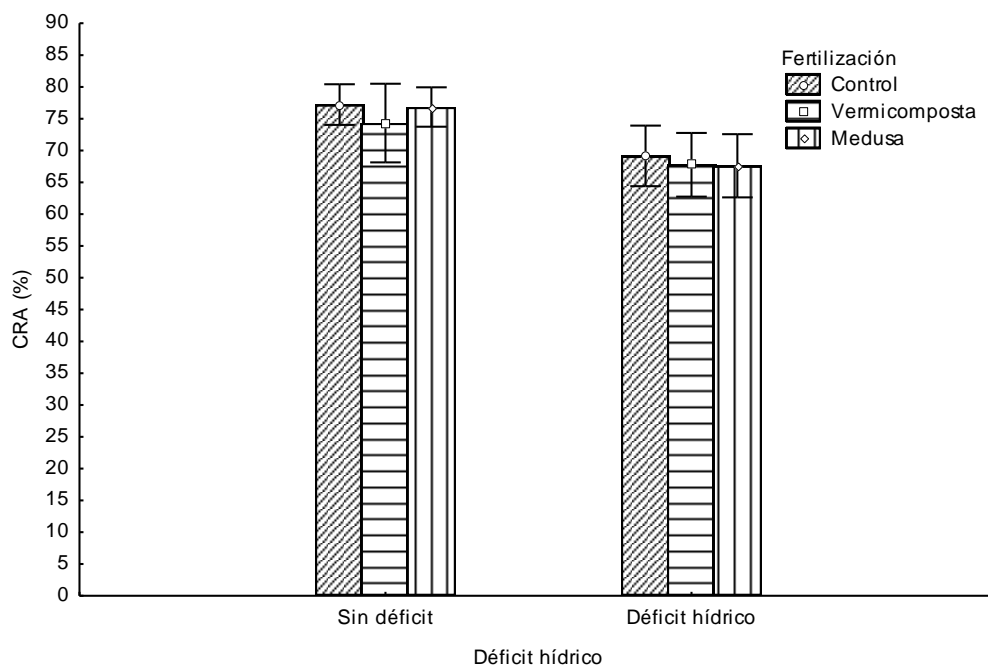


Figura 19. Contenido Relativo de Agua (CRA) promedio entre tratamientos de déficit hídrico y fertilización, a lo largo del experimento. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media (n= 216).

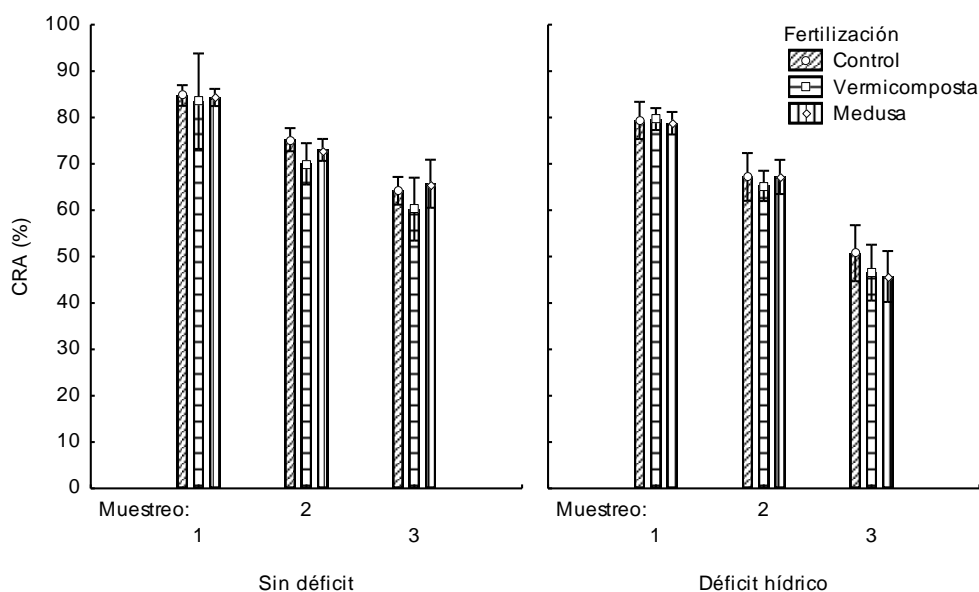


Figura 20. Contenido Relativo de Agua (CRA) promedio por tratamiento de déficit hídrico y fertilización de cada uno de los muestreos. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media (n= 216).

7.4 Evolución de la clorofila, fotosíntesis, transpiración, y conductancia estomática en los diferentes tratamientos.

7.4.1 Clorofila

7.4.1.1 Clorofila a

No se presentaron diferencias estadísticas significativas con respecto a los factores déficit hídrico y fertilización (Tablas XVI y XVII); sin embargo, se observa cierta tendencia en la aplicación de medusa, ya que se mantienen los valores más altos tanto en el tratamiento control como en el sometido a déficit hídrico (Fig. 21). En la figura 22, se observa un incremento en el contenido de clorofila "a", a través, de los tres muestreos realizados.

Tabla XVI. Grados de libertad y mínimos cuadrados resultante del análisis de varianza factorial para las variables de clorofila (Chl) a, b y total, así como unidades SPAD.

	Pigmentos fotosintéticos							
	Chl "a"		Chl "b"		Chl total		SPAD	
	g.l.	C.M.	g.l.	C.M.	g.l.	C.M.	g.l.	C.M.
Déficit hídrico (D)	1	7.53	1	1.083	1	14.32	1	3032
Fertilización (F)	2	17.21	2	3.193	2	34.74	2	257
D x F	2	2.99	2	0.605	2	6.27	2	108
Error	48	23.83	48	3.467	48	45.02	1676	40

Tabla XVII. Promedio \pm desviación estándar del contenido de clorofila entre los tratamientos.

Tratamiento	Fertilización	Pigmentos fotosintéticos			
		Chl "a"	Chl "b"	Chl total	SPAD
Déficit hídrico					
SD	SF	18.80 \pm 3.1 ^{ns}	6.32 \pm 1.23 ^{ns}	25.12 \pm 4.35 ^{ns}	32.66 \pm 4.60 ^{ns}
SD	V	18.60 \pm 3.6 ^{ns}	6.44 \pm 1.42 ^{ns}	25.05 \pm 5.04 ^{ns}	31.89 \pm 4.07 ^{ns}
SD	M	20.70 \pm 6.1 ^{ns}	7.21 \pm 2.20 ^{ns}	27.91 \pm 8.37 ^{ns}	31.99 \pm 6.00 ^{ns}
DH	SF	19.09 \pm 4.3 ^{ns}	6.44 \pm 1.65 ^{ns}	25.53 \pm 5.95 ^{ns}	35.46 \pm 8.10 ^{ns}
DH	V	20.29 \pm 4.5 ^{ns}	7.14 \pm 1.71 ^{ns}	27.44 \pm 6.19 ^{ns}	33.67 \pm 6.22 ^{ns}
DH	M	20.97 \pm 6.4 ^{ns}	7.23 \pm 2.59 ^{ns}	28.20 \pm 9.03 ^{ns}	35.54 \pm 8.66 ^{ns}

SD=Sin déficit hídrico, DH=Déficit hídrico, SF=Suelo sin fertilizante, V=Suelo con vermicomposta, M=Suelo con medusa.

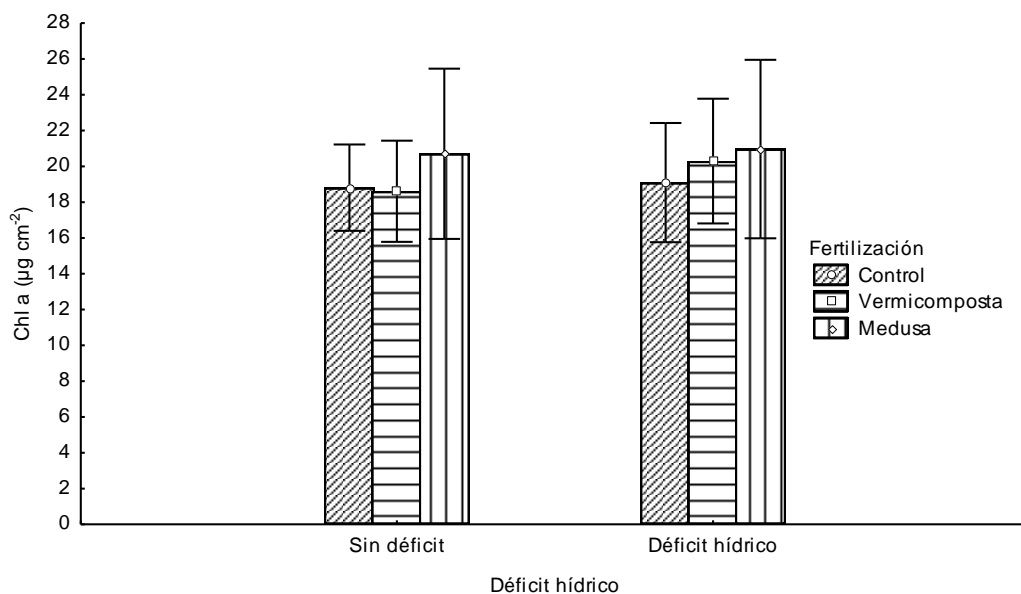


Figura 21. Contenido promedio de clorofila (Chl) “a” para el tratamiento de déficit hídrico y fertilización, a lo largo del experimento. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media (n= 54).

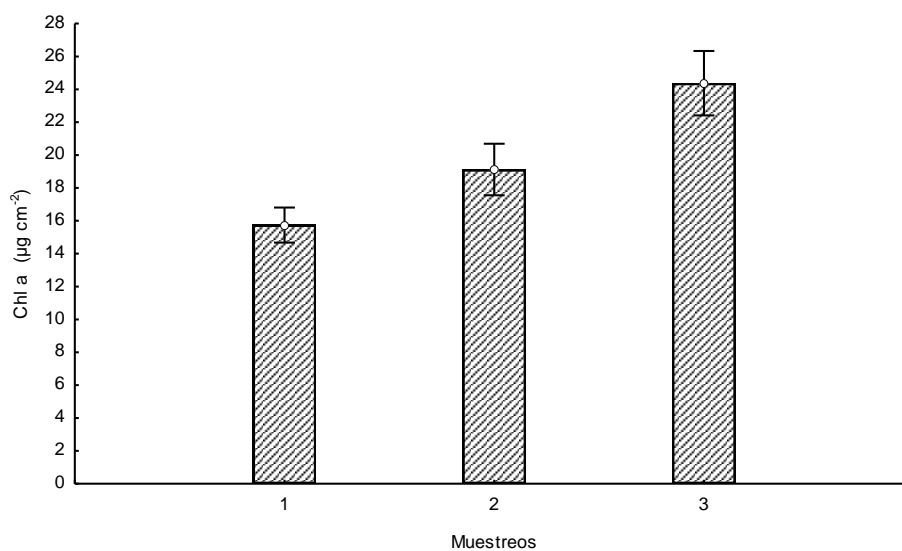


Figura 22. Contenido promedio del contenido de clorofila (Chl) “a”, a través de los muestreos. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media (n= 54).

7.4.1.2 Clorofila b

No se observaron diferencias estadísticas significativas en el contenido de clorofila "b" en interacción con los factores déficit hídrico y fertilización (Tabla XVII). Sin embargo, se mantienen los valores al mismo nivel con el fertilizante de medusa tanto en el tratamiento sin déficit, como en el de déficit hídrico (Fig. 23).

En el análisis del contenido de clorofila "b" con respecto a los muestreos, se observan diferencias estadísticamente significativas, con una tendencia ascendente, conforme fueron sucediendo los muestreos (Fig. 24).

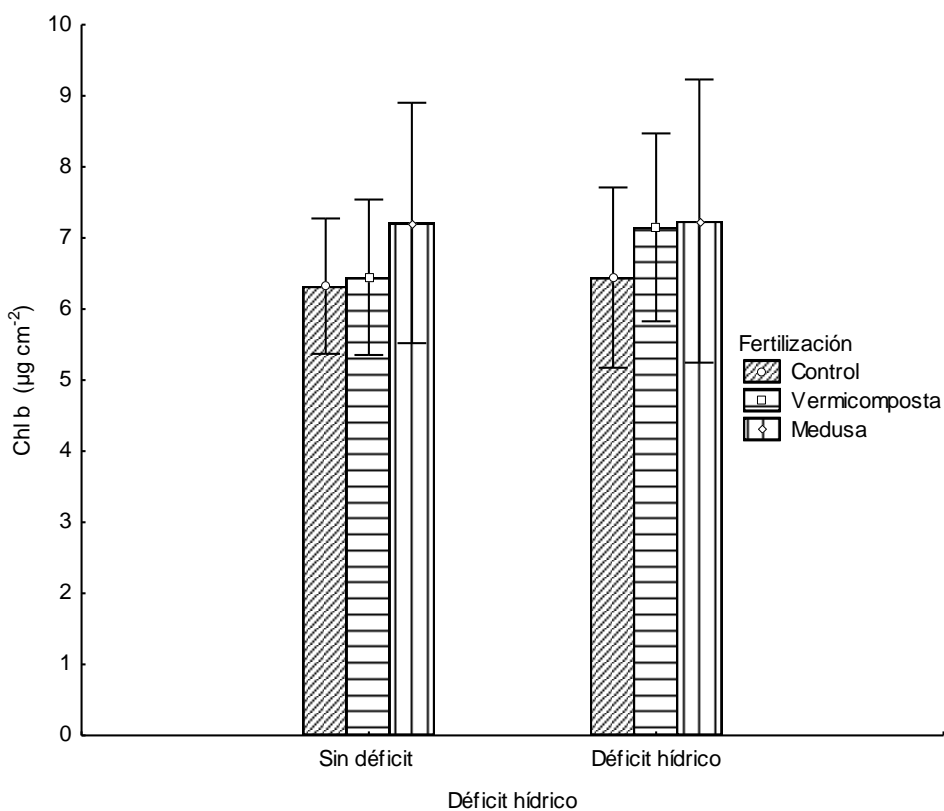


Figura 23. Contenido promedio de Chl "b" para en el factor déficit hídrico y fertilización, a lo largo del experimento. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media (n= 54).

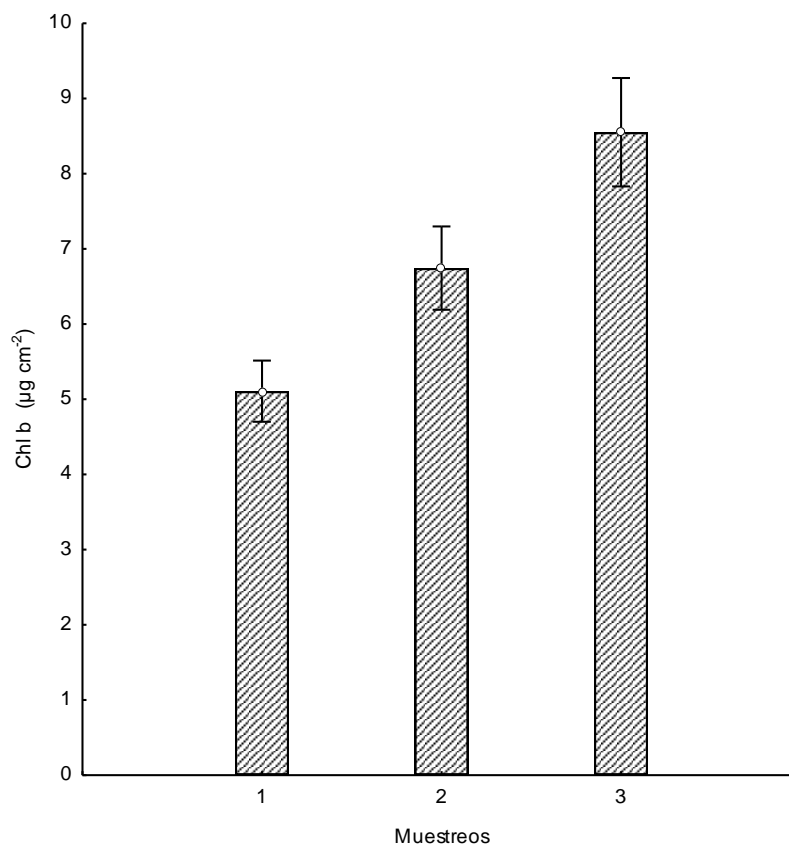


Figura 24. Contenido promedio de Chl “b”, a través, de los muestreos. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media (n= 54).

7.4.1.3 Clorofila total

No se presentaron diferencias estadísticas significativas en el contenido de clorofila total con respecto al factor fertilización ni al de déficit hídrico (Tabla XVII). Sin embargo, se mantiene la tendencia a favorecer los tratamientos con vermicomposta y medusa independientemente de la condición de déficit hídrico (Fig. 25). Existieron diferencias estadísticamente significativas en la interacción clorofila total con respecto a los muestreos (Fig. 26).

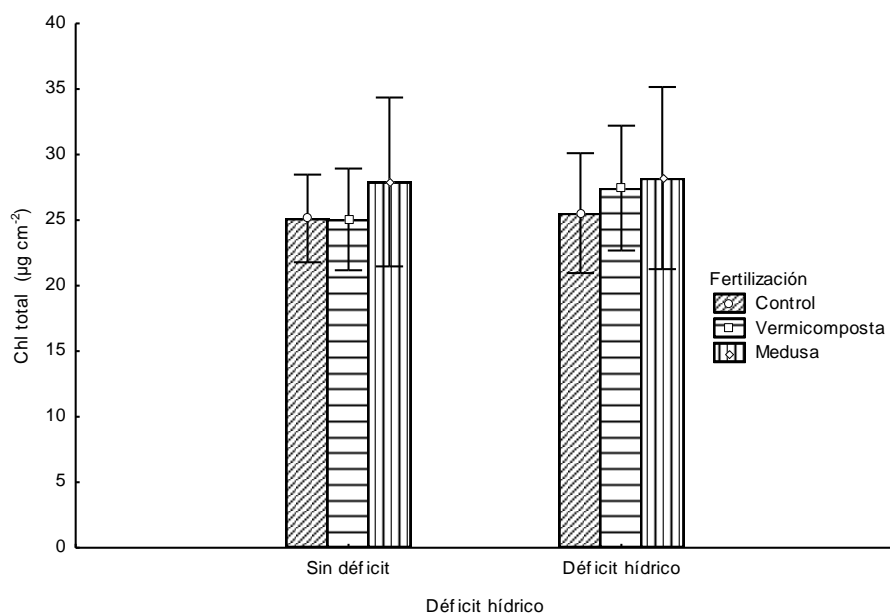


Figura 25. Contenido promedio de clorofila total (Chl) para los factores déficit hídrico y fertilización, a lo largo del experimento. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media (n= 54).

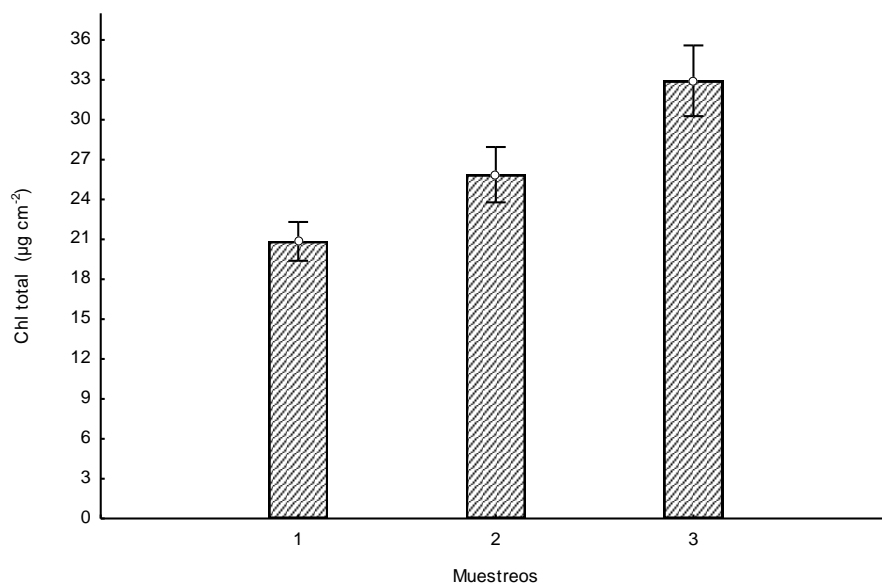


Figura 26. Contenido promedio de Chl total, a través de los muestreos. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media (n= 54).

7.4.1.4 Contenido Indirecto de Clorofila (SPAD)

No se existieron diferencias estadísticamente significativas respecto a los factores déficit hídrico, fertilización ni su interacción en relación a la variable contenido indirecto de clorofila (Tabla XVII; Fig. 27).

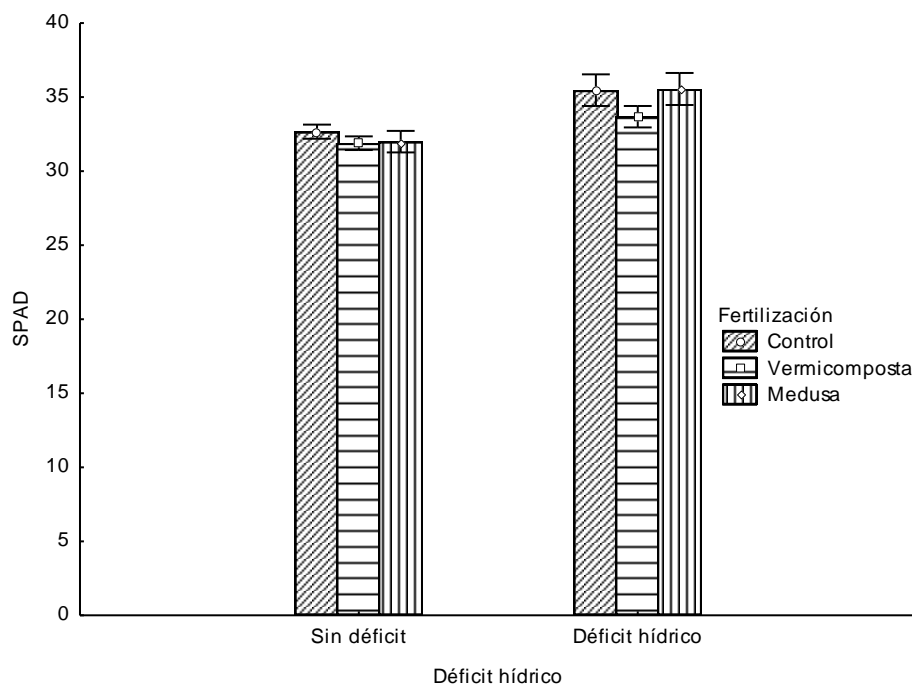


Figura 27. Contenido promedio de Clorofila a través de SPAD para los factores déficit hídrico y fertilización, a lo largo del experimento. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media (n= 1,682).

Sin embargo, al analizar los datos por muestreo se encontraron diferencias estadísticas significativas en cada uno de los muestreos en la interacción con ambos factores (Fig. 28). Los valores de déficit hídrico fueron más altos independientemente del número de muestreo. De la misma manera, destaca el aumento de dichos valores a través de los muestreos, es decir, se observa un incremento en los valores desde el primer muestreo hasta el tercero en cuanto al tratamiento de déficit hídrico en todos los fertilizantes.

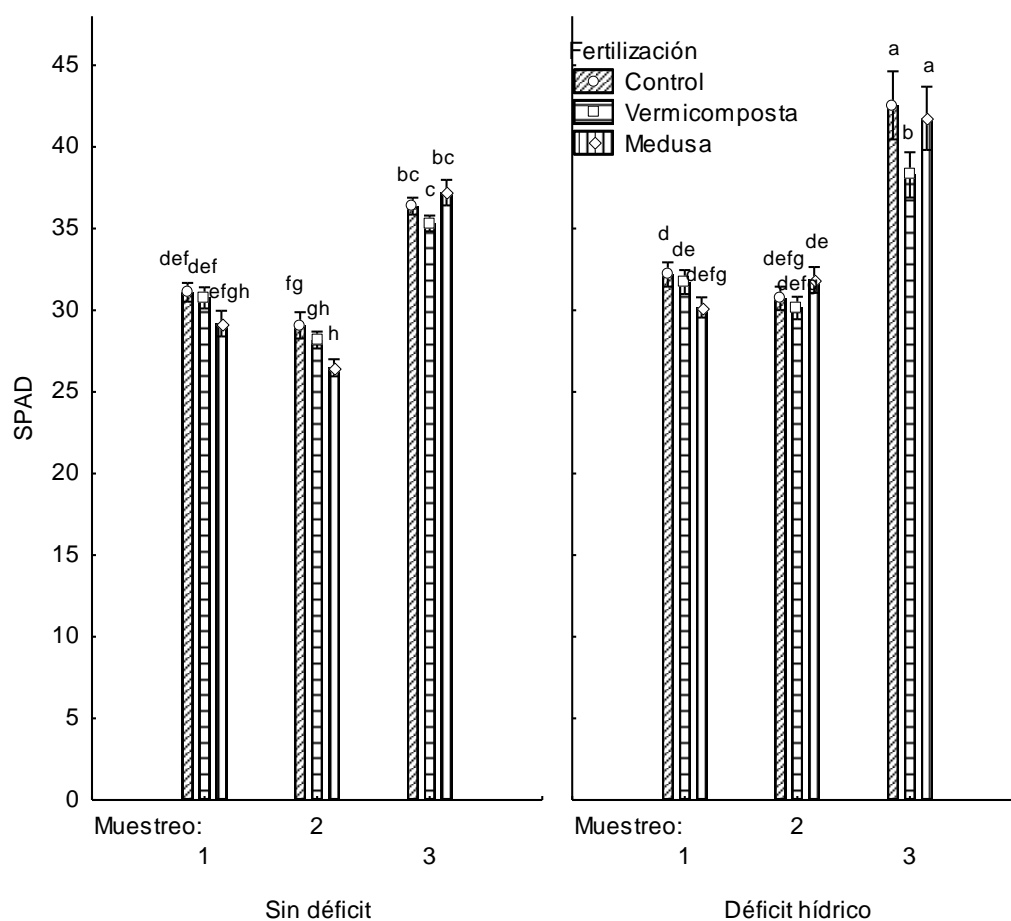


Figura 28. Contenido promedio de Clorofila a través de SPAD entre tratamiento de déficit hídrico y fertilización, a través de los distintos muestreos. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media (n=1,682).

7.4.2 Fotosíntesis

7.4.2.1 Primer muestreo

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas entre las variables conductancia estomática (g), temperatura de la hoja (Th), temperatura del aire (Ta), radiación fotosintéticamente activa (RFA), humedad relativa (HR) y déficit de presión de vapor (DPV) en relación al factor déficit hídrico, sin embargo, no mostraron diferencias estadísticas significativas en ninguna variable con respecto al factor fertilización, ni en la interacción entre ambos factores (Tablas XVIII a XXI).

Tabla XVIII. Análisis de varianza para la tasa fotosintética (A), conductancia estomática (g), tasa transpiratoria (E), CO₂ subestomático (Ci) y temperatura de la hoja (Th) de la interacción de los factores fertilización y déficit hídrico para variables morfométricas de plantas de *M. spicata* L.

Tratamiento	A		g		E		Ci		Th	
	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p
Fertilización (F)	0.40	0.55	0.004	0.89	0.75	0.36	876	0.35	0.62	0.24
Déficit hídrico (D)	1.45	0.15	0.25	0.01	1.79	0.12	1884	0.14	21.1	0.00
D x F	0.67	0.37	0.004	0.89	0.91	0.29	1073	0.28	0.38	0.41
Error	0.67		0.03		0.72		826		0.42	

Tabla XIX. Análisis de varianza para la temperatura del aire (Ta), radiación fotosintéticamente activa (RFA), humedad relativa (HR) y déficit de presión de vapor (DPV) de la interacción de los factores fertilización y déficit hídrico de plantas de *M. spicata* L.

Tratamiento	Ta		RFA		HR		DPV	
	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p
Fertilización (F)	0.57	0.25	10181	0.72	2.3	0.91	0.04	0.84
Déficit hídrico (D)	31.55	0.00	170036	0.02	220.1	0.00	2.41	0.00
D x F	0.34	0.43	15356	0.61	2.6	0.90	0.04	0.85
Error	0.40		30974		27.8		0.25	

Tabla XX. Valores promedio de tasa fotosintética (A), conductancia estomática (g), conductividad estomática (E) y CO₂ subestomático (Ci) y temperatura de la hoja (Th) de la interacción de los factores fertilización y déficit hídrico de plantas de *M. spicata* L. (Tukey p>0.05). Correspondientes al primer muestreo.

Déficit hídrico	Fertilizante	A (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	g* (molH ₂ O ⁻² s ⁻¹)	E (mmolH ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	Ci (μmolCO ₂ mol ⁻¹)	Th* (°C)
SD	SF	4.3±0.3 ^{ns}	0.8±0.03	17.7±0.3	313±12	32±0.7
SD	V	4.1±0.3	0.6±0.2	17.7±0.4	316±17	32±0.2
SD	M	4.4±0.4	0.8±0.02	17.6±0.2	312±8	32±0.2
D	SF	3.4±1.6	0.7±0.2	17.8±0.9	319±34	31±0.7
D	V	4.2±0.7	0.6±0.2	16.8±1.2	385±39	31±0.6
D	M	4.0±0.4	0.7±0.1	17.1±1.1	294±40	30±0.8

ns= no significativo para todos los tratamientos *Denota diferencias estadísticas significativas entre tratamientos de déficit hídrico. SD: Sin déficit. DH: Déficit hídrico. SF: Suelo sin fertilización. V: Suelo con vermicomposta. M: Suelo con medusa.

Tabla XXI. Resultados de la temperatura del aire (Ta), radiación fotosintéticamente activa (RFA), humedad relativa (HR) y déficit de presión de vapor (DPV) de la interacción de los factores fertilización y déficit hídrico de plantas de *M. spicata* L. (Tukey $p>0.05$). Correspondientes al primer muestreo. Correspondientes al primer muestreo.

Déficit hídrico	Fertilización	Ta ^{ns} (°C)	RFA ^{ns} ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	HR ^{ns} (%)	DPV ^{ns} (KPa)
SD	SF	32.7±0.7	0.8±0.03	61±0.8	1.6±0.1
SD	V	33.0±0.3	0.6±0.2	56±8	1.6±0.2
SD	M	33.0±0.4	0.8±0.02	61±1	1.5±0.08
DH	SF	31.0±0.7	0.7±0.2	55±8	1.8±0.5
DH	V	31.0±0.4	0.6±0.2	56±7	1.8±0.5
DH	M	30.6±0.9	0.7±0.1	56±4	1.7±0.3

ns= no significativo para todos los tratamientos. SD: Sin déficit. DH: Déficit hídrico. SF: Suelo sin fertilización. V: Suelo con vermicomposta. M: Suelo con medusa.

En la tabla XXII se observa que en el factor déficit hídrico, fue el tratamiento sin déficit hídrico (control), aquel que presentó los valores más altos en comparación con el sometido a déficit hídrico.

Tabla XXII. Resultados de las diferencias entre tratamientos de déficit hídrico para datos de conductancia estomática (g), temperatura de la hoja (Th), humedad relativa (HR) y déficit de presión de vapor (DPV). Correspondientes al primer muestreo.

	g($\text{molH}_2\text{O}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Th(°C)	HR(%)	DPV(KPa)
Déficit hídrico	0.69±0.2 ^b	30.5±0.7 ^b	56±6 ^b	2.6±0.6 ^b
Sin déficit	0.86±0.08 ^a	32±0.5 ^a	61±1 ^a	3.1±0.1 ^a

Literales distintas por columnas denota diferencias significativas Tukey $p<0.05$

7.4.2.2 Segundo muestreo

Los resultados del análisis de varianza muestran que existieron diferencias estadísticas significativas entre las variables tasa fotosintética (A), conductancia estomática (g), tasa transpiratoria (E) y CO_2 subestomático (Ci), temperatura del aire (Ta), radiación fotosintéticamente activa (RFA), humedad relativa (HR), déficit de presión de vapor (DPV) para el factor déficit hídrico. Sin embargo, no existen diferencias estadísticas significativas entre variables con respecto al factor fertilización, ni en relación a la interacción de ambos factores (Tablas XXIII a XXVII).

Tabla XXIII. Resultados de la tasa fotosintética (A), conductancia estomática (g), tasa transpiratoria (E), CO₂ subestomático (Ci) y temperatura de la hoja (Th) de la interacción de los factores fertilización y déficit hídrico de plantas de *Mentha spicata* L. Correspondientes al segundo muestreo.

Tratamiento	A		g		E		Ci		Th	
	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p
Fertilización (F)	55.1	0.20	0.05	0.29	0.62	0.39	197	0.85	3.90	0.124
Déficit hídrico (D)	8828	0.00	1.21	0.00	12.50	0.00	5490	0.04	0.01	0.938
D x F	65	0.16	0.06	0.21	0.78	0.31	441	0.70	2.69	0.230
Error	33		0.04		0.65		1248		1.75	

*Indica diferencias estadísticamente significativas

Tabla XXIV. Resultados de la temperatura del aire (Ta), radiación fotosintéticamente activa (RFA), humedad relativa (HR) y déficit de presión de vapor (DPV) de la interacción de los factores fertilización y déficit hídrico de plantas de *Mentha spicata* L. Correspondientes al segundo muestreo.

Tratamiento	Ta		RFA		HR		DPV	
	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p
Fertilización (F)	1.82	0.46	45190	0.27	62.8	0.19	0.07	0.09
Déficit hídrico (D)	30.82	0.001*	313902	0.00*	1133.3	0.00*	0.79	0.00*
D x F	1.44	0.54	42926	0.29	89.7	0.10	0.07	0.08
Error	2.34		33822		36.5		0.02	

*Indica diferencias estadísticamente significativas.

Tabla XXV. Resultados de la temperatura del aire tasa fotosintética (A), conductancia estomática (g), tasa transpiratoria (E), CO₂ subestomático (Ci) y temperatura de la hoja (Th) de la interacción de los factores fertilización y déficit hídrico de plantas de *Mentha spicata* L (Tukey p>0.05). Correspondientes al segundo muestreo.

Déficit hídrico	Fertilización	A*	g*	E*	Ci*	Th ^{ns}
		($\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	($\text{molH}_2\text{O}^{-2}\text{s}^{-1}$)	($\text{mmolH}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	($\mu\text{molCO}_2\text{mol.}^{-1}$)	(°C)
SD	SF	4.4±0.1 ^{ns}	0.8±0.08	11.1±1	298±16	35±0.5
SD	V	4.5±0.3	0.8±0.3	11.5±0.8	302±8	35±0.4
SD	M	4.6±0.2	0.8±0.05	11.5±1	300±5	35±0.3
DH	SF	3.7±1.5	0.5±0.2	8±4	286±8	35±1.0
DH	V	2.2±1.4	0.3±0.2	3.7±1	267±55	36±2
DH	M	3.0±1.5	0.5±0.3	6.3±1.1	273±60	34±1.7

SD: Sin déficit. DH: Déficit hídrico. SF: Suelo sin fertilización. V: Suelo con vermicomposta. M: Suelo con medusa. *=Indica diferencias estadísticamente significativas ns=Indica que no existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla XXVI. Resultados de la temperatura del aire (Ta), radiación fotosintéticamente activa (RFA), humedad relativa (HR) y déficit de presión de vapor (DPV) de la interacción de los factores fertilización y déficit hídrico de plantas de *Mentha spicata* L. (Tukey $p>0.05$). Correspondientes al segundo muestreo.

Déficit hídrico	Fertilización	Ta* (°C)	RFA* ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	HR* (%)	DPV* (KPa)
SD	SF	37.1±0.1 ^{ns}	1197±203	58±1.3	2.05±0.2
SD	V	37.2±0.2	1379±103	59±0.7	2.0±0.7
SD	M	37.0±0.1	1260±151	59±1.7	2.0±0.05
DH	SF	35.0±2.2	1145±155	52±8.0	2.5±0.06
DH	V	36±1.3	1124±186	42±7.0	3.5±0.8
DH	M	34.4±2.7	1003±286	48±10	2.7±0.8

SD: Sin déficit. DH: Déficit hídrico. SA: Suelo sin fertilización. V: Suelo con vermicomposta. M: Suelo con medusa. *=Indica diferencias estadísticamente significativas.

Tabla XXVII. Diferencias entre tratamientos de déficit hídrico para datos de conductancia estomática (g), temperatura de la hoja (Th), humedad relativa (HR) y déficit de presión de vapor (DPV). Correspondientes al segundo muestreo.

	g ($\text{molH}_2\text{O}^{-2}\text{s}^{-1}$)	A ($\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	E ($\text{mmolH}_2\text{Om}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Ci ($\mu\text{molCO}_2\text{mol}^{-1}$)	Th (°C)	HR (%)	DPV (KPa)
Déficit hídrico	0.46±0.2b	3±1.5b	6±4 b	275±46 b	30.5±0.7b	47.5±9b	3±0.8b
Sin déficit	0.83±0.08a	4±0.2a	11.4±0.9 a	300±10 a	32±0.5a	59±1.4a	2±0.1 ^a

Literales distintas por columnas denota diferencias significativas Tukey $p<0.05$

7.5 Variables morfométricas

7.5.1 Primer muestreo

El análisis de varianza en las variables morfométricas mostró diferencias significativas para el factor fertilización en las variables del tallo: longitud total, peso fresco, peso seco, número de ramificaciones maduras y peso fresco de ramificaciones maduras; en la hoja: índice de área foliar, peso fresco, peso seco, peso fresco y seco de ramificaciones maduras; raíz: peso seco (Tablas XXVIII a XXXI). Existieron diferencias estadísticamente significativas en la interacción de los factores fertilización y déficit hídrico en las variables peso fresco y seco de ramificaciones maduras; así como en peso seco de ramificaciones jóvenes (Tabla XXX). No se mostraron diferencias significativas

para ninguna de las variables con respecto al factor déficit hídrico (Tablas XXVIII a XXXI).

Tabla XXVIII. Cuadrados medio (CM) del análisis de varianza factorial de variables morfométricas del primer muestreo de plantas bajo los diferentes tratamientos de déficit hídrico y fertilización.

Tratamiento	Parte Aérea						Hojas							
	Long. Total (cm)		Peso fresco (g)		Peso seco (g)		Área folia (cm ²)r		IAF		Peso fresco (g)		Peso seco (g)	
	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p
Déficit hídrico (D)	0.001	0.634	0.097	0.168	0.009	0.639	0.002	0.892	3.67	0.503	0.022	0.188	0.026	0.140
Fertilización (F)	0.050	0.004*	0.367	0.005*	0.359	0.005*	0.500	0.070	3.93	0.001*	0.061	0.021*	0.065	0.015*
D x F	0.005	0.405	0.037	0.459	0.031	0.499	0.026	0.841	3.50	0.3179	0.014	0.32	0.019	0.206
Error	0.005		0.045		0.043		0.149		3.46		0.011		0.010	

*=Indica diferencias estadísticamente significativas

Tabla XXIX. Cuadrados medio (CM) del análisis de varianza factorial de variables morfométricas del primer muestreo de plantas bajo los diferentes tratamientos de déficit hídrico y fertilización.

Tratamiento	Raíz					
	Longitud		Peso fresco		Peso seco	
	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p
Déficit hídrico (D)	0.007	0.579	0.057	0.288	0.111	0.173
Fertilización (F)	0.003	0.887	0.124	0.110	0.215	0.045*
D x F	0.012	0.613	0.033	0.506	0.017	0.728
Error	0.024		0.047		0.053	

*=Indica diferencias estadísticamente significativas

Tabla XXX. Cuadrados medios (CM) del análisis de varianza factorial, de las variables morfométricas del primer muestreo de morfometría de plantas bajo los diferentes tratamientos de déficit hídrico y fertilización.

Tratamiento	NRM		NRJ		TRMPF		TRJPF		TRMPS		TRJPS	
	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p	CM	p	CM	p
Déficit hídrico (D)	0.001	0.77	0.0000	1.00	5.800	0.365	0.41	0.682	0.73	0.804	0.76	0.804
Fertilización (F)	0.135	0.00*	0.161	0.08	51.30	0.006*	4.15	0.210	43.88	0.051	2.17	0.051
D x F	0.037	0.16	0.034	0.53	57.91	0.004*	5.50	0.136	50.50	0.036*	18.11	0.036*
Error	0.017		0.0511		6.55		2.33		11.41		17.19	

NRM=Numero de ramificaciones maduras NRJ=Numero de ramificaciones jóvenes TRM=Peso fresco (PF, g) y seco (PS, g) de ramificaciones de tallos maduros TRJ=Peso fresco (PF, g) y seco (PS, g) de ramificaciones de tallos jóvenes. *=Indica diferencias estadísticamente significativas.

Tabla XXXI. Cuadrados medios (CM) del análisis de varianza factorial, de las variables morfométricas del primer muestreo de morfometría de plantas bajo los diferentes tratamientos de déficit hídrico y fertilización.

Tratamiento	HRMPF		HRMPS		HRJPF		HRJPS	
	CM	p	CM	p	CM	p	CM	p
Déficit hídrico (D)	47.30	0.153	70.14	0.110	8.83	0.356	6.39	0.405
Fertilización (F)	145.82	0.009*	175.45	0.007*	16.79	0.215	15.15	0.213
D x F	125.78	0.014	161.30	0.0103	9.85	0.387	8.72	0.391
Error	20.43		23.57		9.51		8.59	

HRMPF=Peso fresco de hojas de ramificaciones maduras (g) HRMPS= Peso seco de hojas de ramificaciones maduras (g) HRJPF=Peso fresco de hojas de ramificaciones jóvenes (g) HRJPS=Peso seco de hojas de ramificaciones jóvenes (g). *=Indica diferencias estadísticamente significativas.

7.5.1.1 Parte aérea

En análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas en la interacción entre las variables morfométricas y el factor fertilización. Ambos fertilizantes (vermicomposta y medusa) presentan un incremento en las variables morfométricas, teniendo un mayor desarrollo de tejido foliar las plantas fertilizadas con medusa (Tablas XXXII y XXXIII).

Tabla XXXII. Diferencias entre las variables morfométricas de los tratamientos (Tukey $p < 0.05$) de suelo con vermicomposta (V), suelo con medusa (M) y suelo sin fertilización (SF) de la primera evaluación en plantas de *Mentha spicata* L. Los pesos se expresan en gramos y la longitud en centímetros.

Fertilización	PA-PF	PA-PS	Longtot	IAF	PFH	PSH
SF	189.4±61.3 ^b	37.5±11.1 ^b	34.2±3.6 ^b	3.5±0.23 ^b	35.9±7 ^a	25.1±8 ^b
V	443.1±50.6 ^a	86.1±9.2 ^a	51.5±11 ^a	4±0.0.10 ^a	28.1±5 ^{ab}	28.5±6 ^{ab}
M	455.7±81 ^a	95.8±17 ^a	48.0±7.3 ^a	4±0.19 ^a	25.5±5 ^b	36.4±4 ^a

PA-PF=Parte aérea peso fresco PA-PS=Parte aérea peso seco Longtot=Longitud total IAF=Índice de área foliar PFH=Peso fresco hojas PSH=Peso seco hojas.

Literales distintas por columna denota diferencias significativas

Tabla XXXIII. Diferencia entre las variables morfométricas de los tratamientos (Tukey $p < 0.05$). de suelo con vermicomposta (V), suelo con medusa (M) y suelo sin fertilización (SF) de la primera evaluación en plantas de *Mentha spicata* L. Los pesos se expresan en gramos y la longitud en centímetros.

Fertilización	HRMPF	HRMPS	NRM	TMPF
SF	0.53±0.13 ^a	0.53±0.13 ^a	0.73±0.15 ^b	0.38±0.08 ^a
V	0.43±0.8 ^{ab}	0.43±0.8 ^{ab}	0.90±0.11 ^a	0.32±0.03 ^{ab}
M	0.33±0.7 ^b	0.37±0.07 ^b	1.03±0.14 ^a	0.29±0.05 ^b

HRMPF=Hojas de ramificaciones maduras peso fresco HRMPS= Hojas de ramificaciones maduras peso seco NRM=Numero de ramificaciones maduras TMPF= Tallos maduros peso fresco.

Literales distintas por columna denota diferencias significativas

La interacción de los factores fertilización y déficit hídrico en relación a las variables peso fresco y seco de ramificaciones maduras; peso fresco y seco de hojas de ramificaciones maduras, muestra que, aun sin la existencia de diferencias estadísticas significativas, es posible observar cierta tendencia a favorecer al grupo control (suelo sin fertilización), especialmente en el tratamiento sometido a déficit hídrico (Figs. 29 a 32).

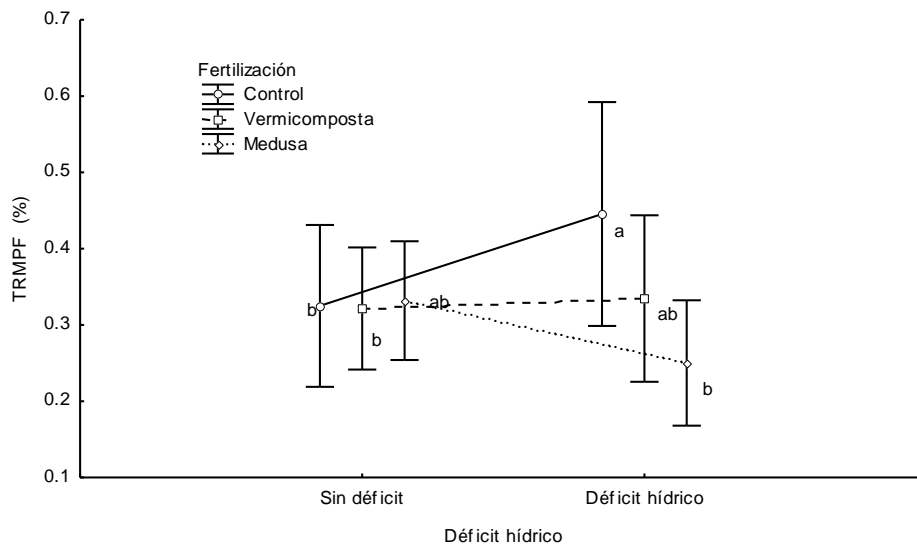


Figura 29. Peso fresco de las ramificaciones maduras de tallo (TRMPF) expresado en porcentaje del factor déficit hídrico de los tratamientos de suelo sin déficit hídrico (Control) y con déficit hídrico y su interacción con el factor fertilización, y resultado de la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Literales diferentes denotan diferencias significativas. Las líneas verticales representan la desviación estándar de la media ($n=6$).

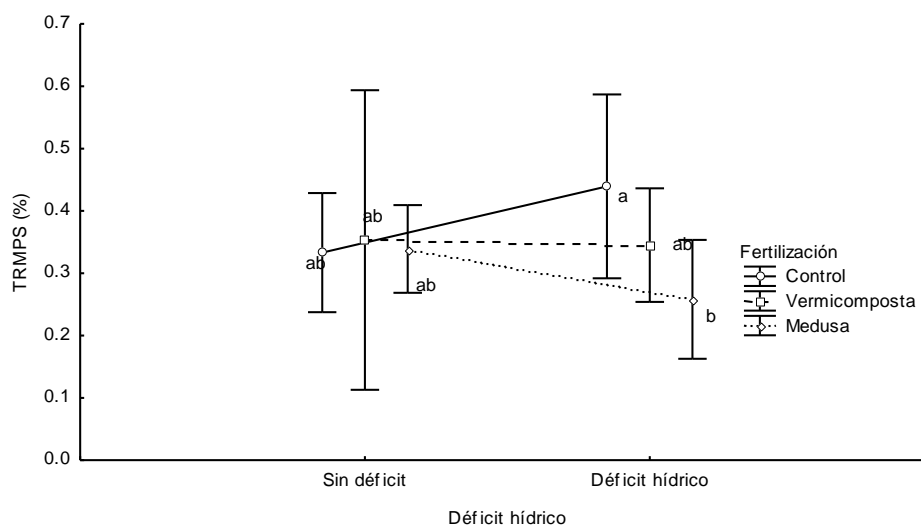


Figura 30. Peso seco de las ramificaciones maduras de tallo (TRMPS) expresado en porcentaje del factor déficit hídrico de los tratamientos de suelo sin déficit hídrico (Control) y con déficit hídrico y su interacción con el factor fertilización, y resultado de la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Literales diferentes denotan diferencias significativas. Las líneas verticales representan la desviación estándar de la media ($n=6$).

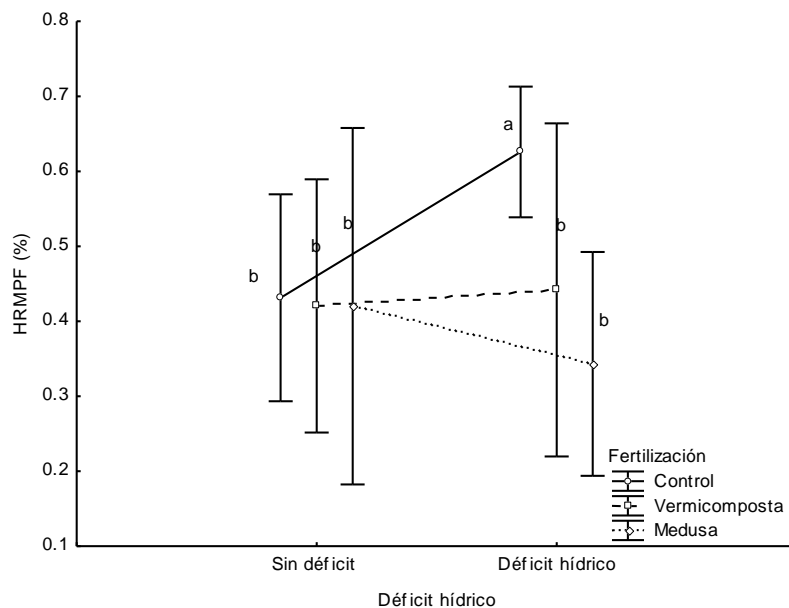


Figura 31. Peso seco de hojas de las ramificaciones maduras (HRMPF) expresado en porcentaje del factor déficit hídrico de los tratamientos de suelo sin déficit hídrico (Control) y con déficit hídrico y su interacción con el factor fertilización, y resultado de la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Literales diferentes denotan diferencias significativas. Las líneas verticales representan la desviación estándar de la media ($n=6$).

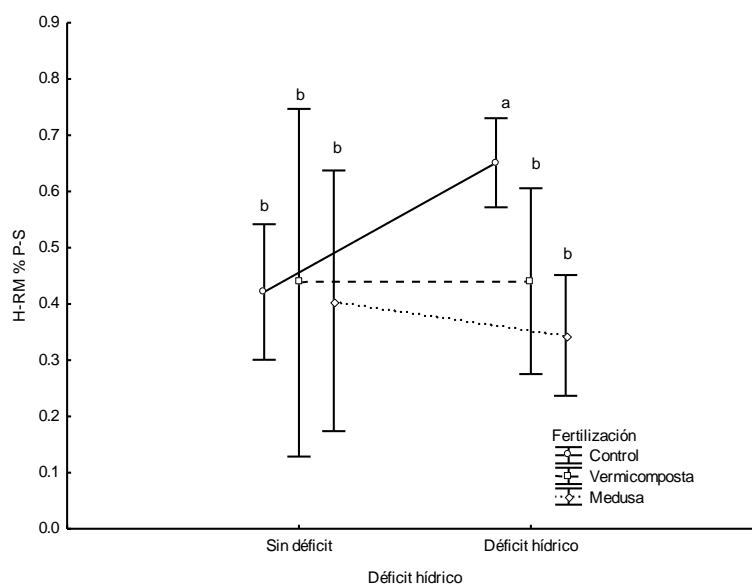


Figura 32. Peso seco de hojas de las ramificaciones maduras (HRMPS) expresado en porcentaje del factor déficit hídrico de los tratamientos de suelo sin déficit hídrico (Control) y con déficit hídrico y su interacción con el factor fertilización, y resultado de la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Literales diferentes denotan diferencias significativas. Las líneas verticales representan la desviación estándar de la media ($n=6$).

Por otro lado, se observa una tendencia a favorecer el fertilizante de suelo con medusa cuando se contrasta la variable peso fresco de raíz con respecto al factor fertilización, a pesar de no existir diferencias estadísticamente significativas (Fig. 33).

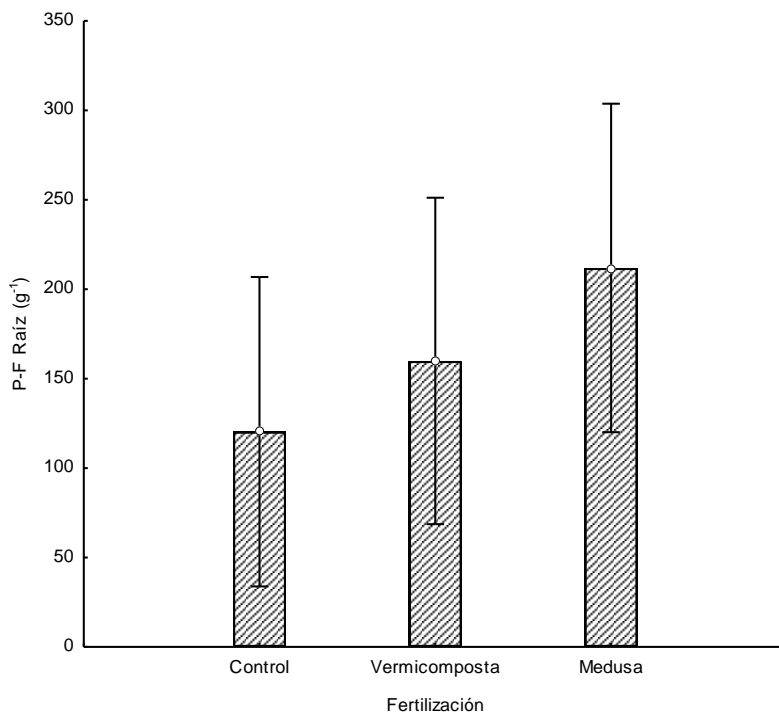


Figura 33. Peso Fresco (P-F) promedio de Raíz de plantas de *Mentha spicata* L., con respecto al factor fertilización, durante el primer muestreo de experimento. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media (n=18).

7.5.2 Segundo muestreo

7.5.2.1 Parte aérea

7.5.2.1.1 Peso fresco, peso seco y área foliar.

El análisis de varianza no muestra diferencias estadísticas significativas en la interacción de las variables peso fresco, peso seco y área foliar con respecto a los factores fertilización y déficit hídrico (Tablas XXXIV y XXXV).

Tabla XXXIV. Cuadrados medios (CM) de las variables morfométricas del segundo muestreo plantas de *Mentha spicata* L. bajo los diferentes tratamientos de déficit hídrico y fertilización.

Tratamiento	PAPF		PAPS		RPF		RPS		AF							
	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p	C.M.	p						
Déficit hídrico (D)	0.011	0.393	0.021	0.173	0.0124	0.709	0.079	0.168	0.038	0.127						
Fertilización (F)	0.0009	0.9385	0.001	0.876	0.0465		0.008	0.796	0.003	0.765						
D x F	0.029	0.1714	0.034	0.067	0.080		0.007	0.828	0.031	0.152						
Error	0.014		0.010		0.085		0.037		0.014							
PA=Parte	aérea	peso	fresco	(PF)	y	seco	(PS),	R=Raíz	peso	fresco	(PF)	y	seco	(PS),	AF=Área	Foliar

Tabla XXXV. Peso fresco (PF), seco (PS) de la parte aérea (PA) y raíz (R) en gramos y área foliar (F) en cm, de la interacción de los factores fertilización y déficit hídrico y los tratamientos para variables morfométricas de plantas de *M. spicata* L. (Tukey $p>0.05$). Correspondientes al segundo muestreo.

Tratamiento						
Déficit hídrico	Fertilización	PAPF	PAPS	RPF	RPS	AF
SD	SF	178.7±25	43.7±7	386±34	118±26	3309±224
SD	V	166.0±32	39.2±1	387±17	117±9	2791±282
SD	M	135.6±27	31.2±5	372±12	119±17	2457±460
DH	SF	133.4±56	43.7±7	418±12	160±60	2239±181
DH	V	130.7±43	40.5±15	440±222	158±96	2034±374
DH	M	177.6±49	55.2±15	590±330	230±160	2966±954

SD: Sin déficit. DH: Déficit hídrico. SF: Suelo sin fertilización. V: Suelo con vermicomposta. M: Suelo con medusa. *=Indica diferencias estadísticamente significativas.

7.5.3 Biomasa total

7.5.3.1 Biomasa fresca y seca.

El análisis de varianza no mostró diferencias estadísticamente significativas en las variables biomasa fresca y seca con relación a los factores déficit hídrico, fertilización ni la interacción entre ambas, como se muestra en las figuras 34 y 35.

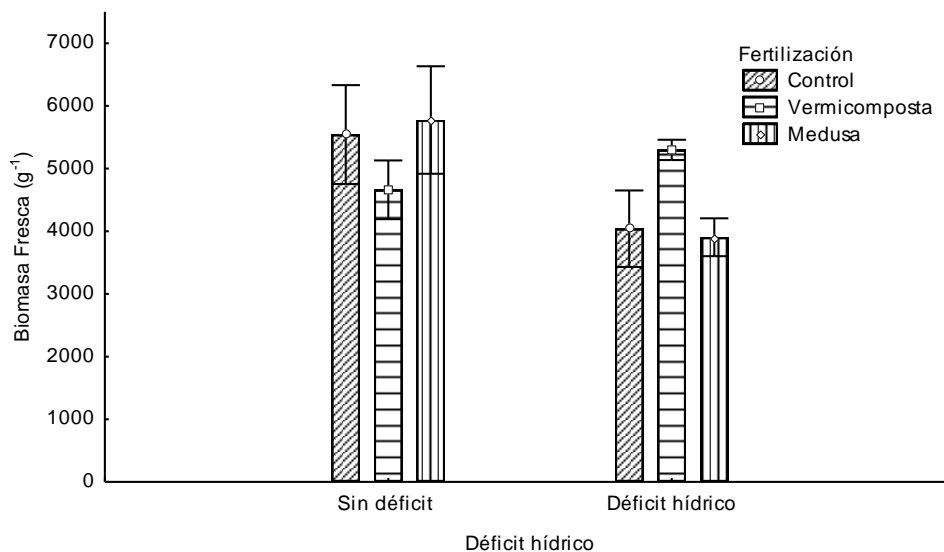


Figura 34. Biomasa fresca total de plantas de *M. spicata* L., durante el segundo muestreo. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

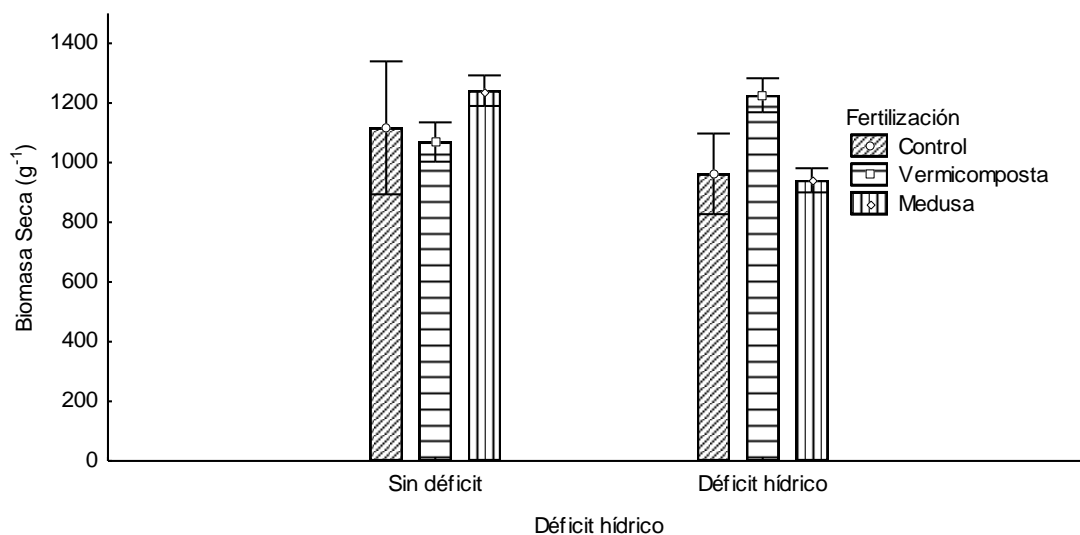


Figura 35. Biomasa seca total de plantas de *M. spicata* L., durante el segundo muestreo. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

7.6 Contenido mineral

La presente variable presentó diferencias estadísticamente significativas en ambos factores (fertilización y déficit hídrico), así como en la interacción de ambos, de acuerdo con los resultados del análisis de varianza ($p < 0.05$). En donde se observa que en el caso del manganeso (Mn) se obtuvieron los valores más altos en el tratamiento sometido a déficit hídrico y con las fertilizaciones de medusa y vermicomposta respectivamente. Para el caso del calcio (Ca^{2+}) el valor más alto se obtuvo en la fertilización con medusa en el tratamiento sin déficit hídrico, mientras que para el tratamiento con déficit hídrico fueron con la fertilización con medusa y el grupo control. El sodio (Na^+) mostró el valor más alto en la fertilización con medusa en el tratamiento con déficit hídrico, mientras que el grupo control y la fertilización con vermicomposta presentan los mismos valores para el mismo tratamiento de déficit hídrico. A su vez, la fertilización con vermicomposta en el tratamiento sin déficit hídrico presentó el valor más alto en potasio (K^+), seguido de la fertilización con medusa en ambos tratamientos de déficit hídrico. Finalmente, el magnesio (Mg^+) mostró los valores más altos en la fertilización con

medusa para el tratamiento sin déficit hídrico, mientras que en el tratamiento con déficit hídrico el valor más alto se obtuvo en el grupo control. En las figuras (34 a 38) se muestran los resultados del análisis de varianza ($p < 0.05$), así como los del análisis de comparación de medias Tukey HSD.

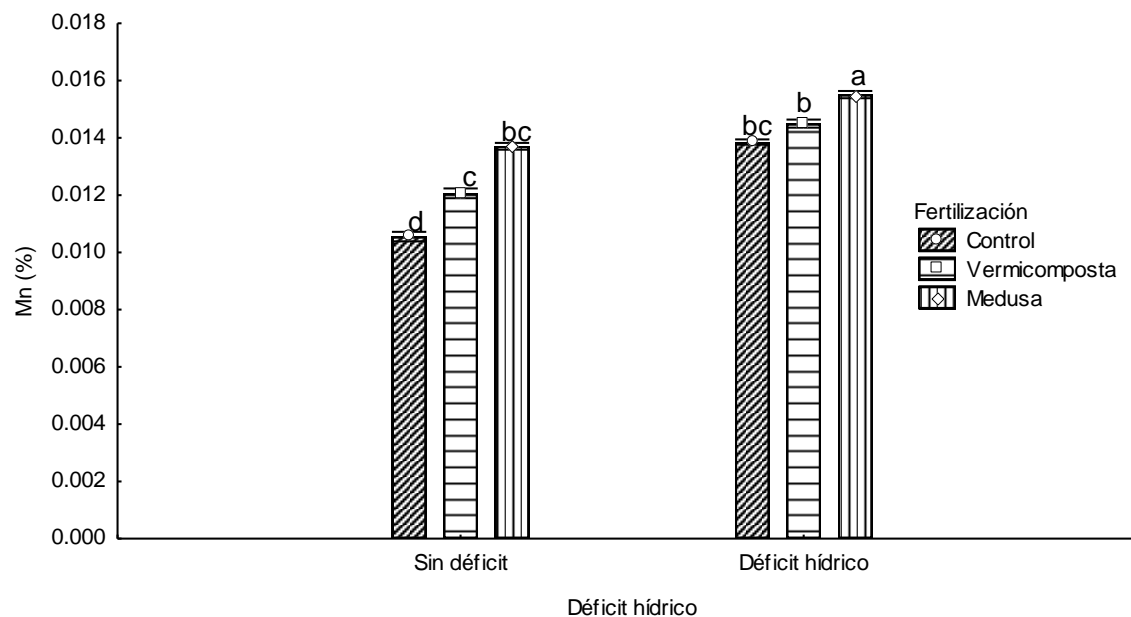


Figura 36. Contenido de manganeso (Mn) foliar en plantas de *M. spicata* L., con respecto a los factores fertilización, déficit hídrico y su interacción. Literales diferentes denotan diferencias estadísticas (Tukey HSD). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

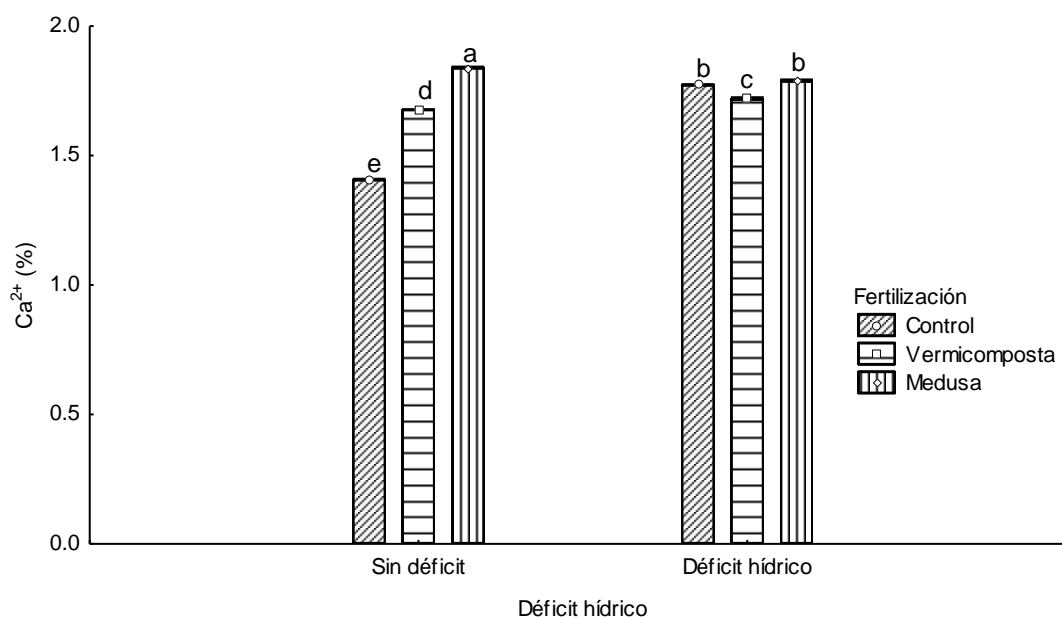


Figura 37. Contenido de calcio (Ca^{2+}) foliar en plantas de *M. spicata* L., con respecto a los factores fertilización, déficit hídrico y su interacción. Literales diferentes denotan diferencias estadísticas (Tukey HSD). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

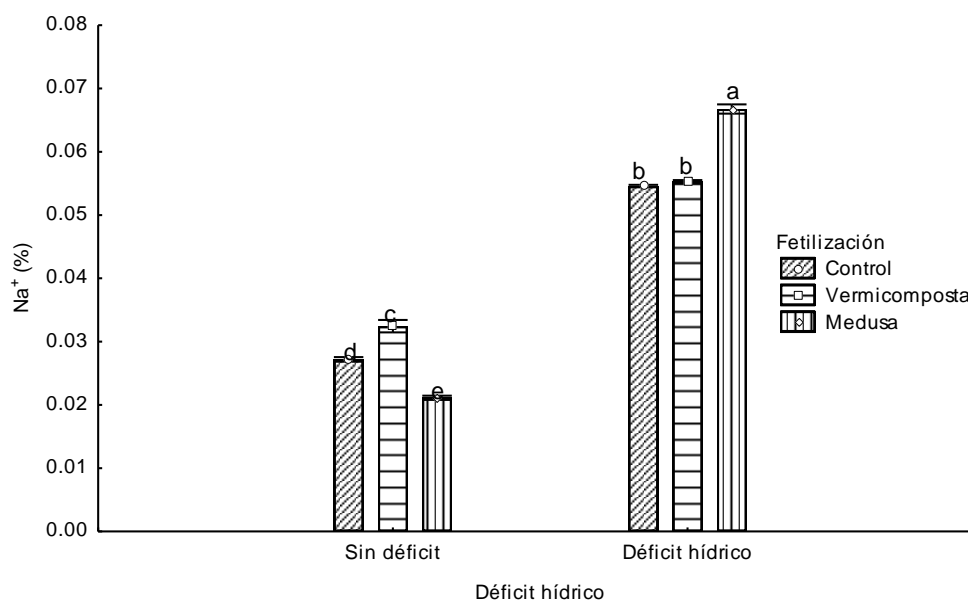


Figura 38: Contenido de sodio (Na^{+}) foliar en plantas de *M. spicata* L., con respecto a los factores fertilización, déficit hídrico y su interacción. Literales diferentes denotan diferencias estadísticas (Tukey HSD). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

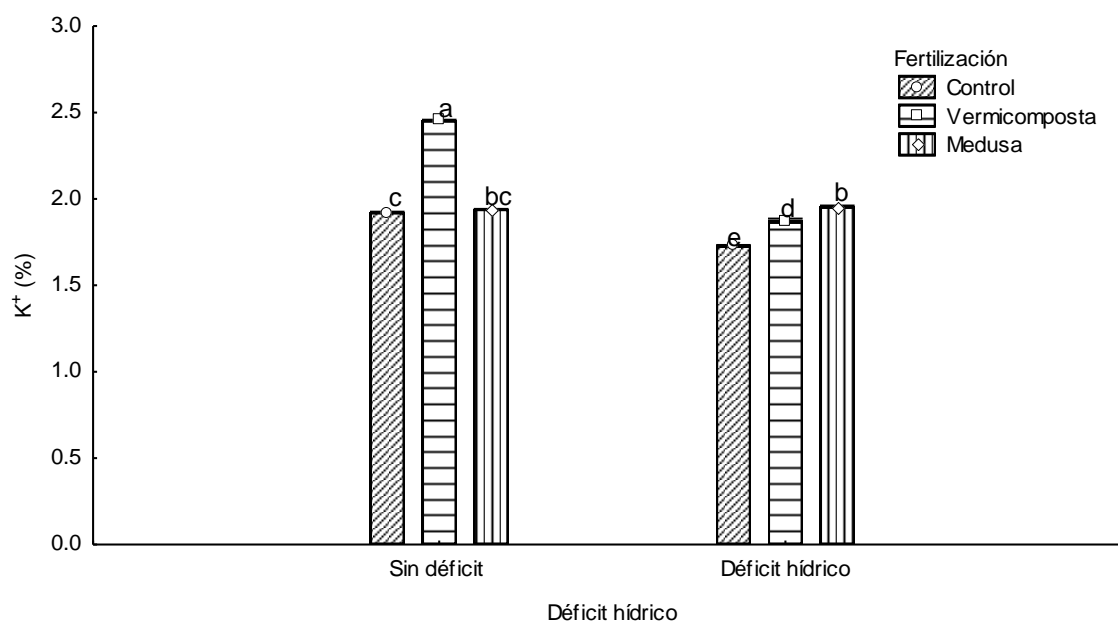


Figura 39. Contenido de potasio (K^+) foliar en plantas de *M. spicata* L., con respecto a los factores fertilización, déficit hídrico y su interacción. Literales diferentes denotan diferencias estadísticas (Tukey HSD). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

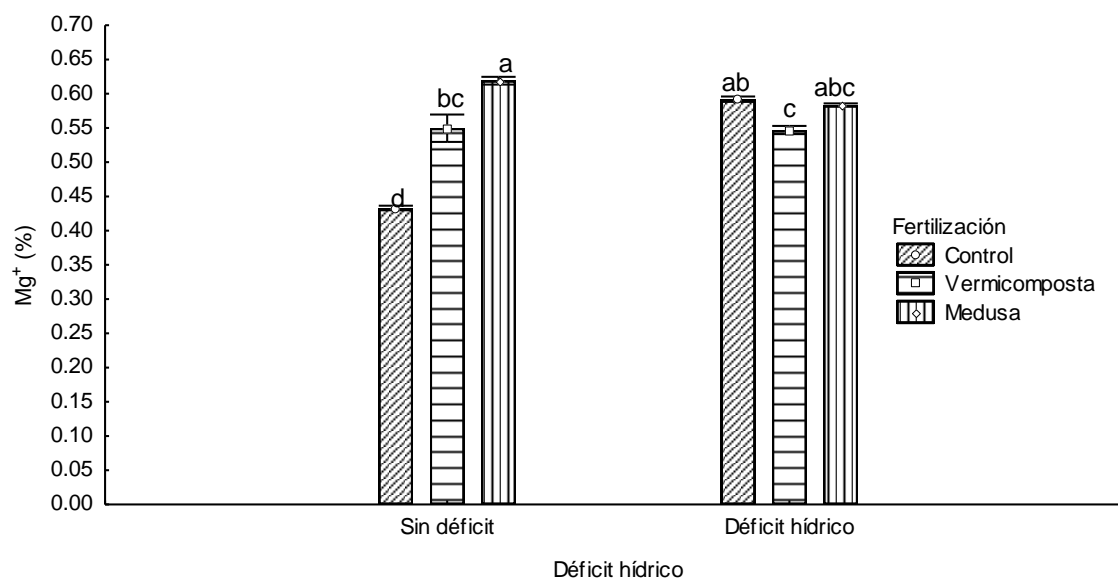


Figura 40. Contenido de magnesio (Mg^+) foliar en plantas de *M. spicata* L., con respecto a los factores fertilización, déficit hídrico y su interacción. Literales diferentes denotan diferencias estadísticas (Tukey HSD). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

8. DISCUSIÓN

8.1 Caracterización de las propiedades físico-químicas del suelo, vermicomposta y medusa.

De acuerdo con la interpretación de resultados expuesta en la NOM-021(2002), los valores de pH obtenidos en este estudio, entran en las siguientes categorías: medusa (MDS) como neutro, Suelo (S) y Vermicomposta (VC) como medianamente alcalinos. El pH es un buen indicador de la disponibilidad de nutrientes, si se conoce, se puede hacer una predicción, al menos cualitativa, de su disponibilidad (Osorio, 2012). En este sentido un pH neutro y alcalino permitirá una absorción mayor de nutrientes comparado con uno ácido. Lo cual, de acuerdo a los resultados de los fertilizantes utilizados en este estudio tendrían un aporte mayor de nutrientes para la planta, aunque esto no se observó en los resultados del contenido mineral de las plantas en tratamiento. Al respecto, Pedroza-Sandoval *et al.* (2015) mencionan que la dosificación de este tipo de fertilizantes es importante y está en relación con el contenido encontrado en la planta, por lo que se puede pensar que la dosis fue baja como para encontrar diferencias entre los tratamientos de este estudio, sin que ello signifique que fueron bajos para su producción de biomasa.

La NOM-021 (2002) también realiza una clasificación de acuerdo al contenido del porcentaje de materia orgánica en el suelo. En función de esta clasificación los resultados del presente trabajo se encuentran como “muy bajo” el S y la VC, clasificada como “muy alta”, ésta última corresponde a la máxima clasificación.

En cuanto al contenido de Fósforo (P), mediante la interpretación de Olsen (1982), se clasificó a la MDS como “bajo”, con menos de 5.5 mg kg^{-1} , al S como “medio”, con 5.5 a 11 mg kg^{-1} y finalmente a la VC como “alto”, con más de 11 mg kg^{-1} .

8.2 Humedad, potencial mátrico y temperatura del suelo.

El análisis de los resultados de la humedad del suelo a través del tiempo permite observar que la humedad en el suelo fue menor para los tratamientos con déficit

hídrico (al 80% de la capacidad de campo) sin que éste llegara al punto de marchitez permanente obtenido en el análisis de suelo. Los resultados del presente trabajo coinciden con los expuestos por Seo *et al.* (2014); Kim *et al.* (2012) y Chun *et al.* (2011) quienes reportan una cantidad mayor de agua retenida en el suelo en tiempo y espacio producto de la acción de la medusa en interacción con el sustrato, al mejorar la estructura física del suelo debido a su contenido alto de materia orgánica. Los valores altos del potencial mátrico coinciden con los porcentajes de humedad mayores para los tratamientos de suelo con aplicación de medusa, tanto en el tratamiento sin déficit hídrico como en el sometido a déficit hídrico. Lo anterior permite considerar al potencial mátrico como un buen indicador de la humedad del suelo, lo que ha sido observado en trabajos realizados previamente por Miller (1989) y Wang *et al.* (2007). Respecto de la acción de la vermicomposta, Weber *et al.* (2007) mencionan que la adición de materia orgánica al suelo modifica las características físicas y químicas, entre éstas, aumentando su capacidad de retención de humedad. La vermicomposta es un tipo de enmienda orgánica, la cual se produce a partir de la acción de lombrices y microorganismos durante la descomposición de la materia orgánica. Esta acción conjunta produce un material estable, con alta porosidad y alta capacidad de retención de humedad, entre otras características (Domínguez, 2004). Esto coincide con los resultados de este trabajo, y porque se observó un contenido de humedad mayor con la fertilización con vermicomposta, respecto al grupo control. Comparando los resultados entre el uso de medusa y vermicomposta en el suelo, se observó una tendencia de incremento en la humedad del suelo en la fertilización con medusa en el tratamiento sin déficit hídrico. Esto se debe a que, tal como lo reporta Power (2002). El mismo autor menciona que al mismo tiempo disminuye la temperatura del suelo, resultados que coinciden con lo encontrado en el presente estudio, donde la temperatura del suelo fue menor con la aplicación de medusa. Lo anterior no se aplica al uso de vermicomposta donde la temperatura fue más alta que el suelo con medusa e incluso ligeramente mayor que el suelo sin fertilizante. Resultados similares se han observado con la aplicación de

composta y de acuerdo con Deguchi *et al.* (2009) esto se debe a que la aplicación de composta disminuye la cantidad de agua extraída desde las capas inferiores del suelo, generando una disminución de la evaporación, lo cual genera un incremento en la temperatura del suelo. Lo anterior también explica la diferencia existente entre el contenido de humedad observados entre ambos fertilizantes, es decir, debido al alza en la temperatura del suelo con el uso de vermicomposta, se incrementó la pérdida de agua por evaporación, contrario al posible efecto de la fertilización con medusa, presentando el suelo con vermicomposta un contenido de humedad menor. Lo anterior es importante a considerarse en la agricultura de las zonas áridas y semi-áridas, donde se alcanzan altas temperaturas en el suelo en los períodos más secos, los tratamientos en este trabajo permitieron mantener un promedio de 22°C, aún en tratamientos con vermicomposta, lo cual representa un valor benéfico para el desarrollo de las plantas (Lahti *et al.*, 2005).

8.3 Relaciones hídricas, clorofila, fotosíntesis

El potencial hídrico, la temperatura de la hoja (T_h), la tasa transpiratoria (E) y el contenido relativo de agua (CRA), son variables que influyen de manera significativa en las relaciones hídricas de las plantas (Farooq *et al.*, 2009). Dentro del estudio de las relaciones hídricas, el contenido relativo de agua (CRA) es considerado como una medida del estado hídrico de las plantas, el cual expresa la actividad metabólica en los tejidos, de la misma manera que manifiesta el índice más representativo de tolerancia a la deshidratación (Anjum *et al.*, 2011). Los resultados de este trabajo no presentaron diferencias estadísticas significativas en sus valores de CRA entre los tratamientos de fertilización ni de déficit hídrico, contrario a lo encontrado por Nayyar y Gupta (2006), quienes reportan un CRA menor, en maíz y trigo en déficit hídrico. Sin embargo, se encontraron diferencias en el potencial hídrico para aquellos tratamientos en déficit hídrico, independientemente de la fertilización, como lo encontrado por Delfine *et al.* (2005) quienes obtuvieron valores más bajos de potencial hídrico en hojas de *M. spicata* L., en déficit. Al respecto Chavarría y dos Santos (2012) definen el

potencial hídrico como la presión de agua dada en cierta parte del sistema, proveniente de la suma de los potenciales mátrico y osmótico, que a su vez tiene una estrecha relación con el mecanismo del ajuste osmótico (Florido-Bacallao y Bao-Fundora, 2014). Dicho mecanismo tiene como finalidad el mantenimiento del consumo de agua y la turgencia celular, las plantas tienden a acumular diferentes tipos de solutos orgánicos e inorgánicos en el citoplasma para disminuir su potencial osmótico. Estos solutos u osmolitos, son moléculas orgánicas de masa molecular baja, como azúcares solubles (fructuosa y glucosa principalmente), ácidos orgánicos, calcio, potasio, prolina, glicina betaína, entre otros, usualmente no tóxicos incluso en concentraciones altas (Farooq, 2009; Florido-Bacallao y Bao-Fundora, 2014; Krasensky y Jonak, 2012; Moreno, 2009; Pineda *et al.*, 2012; Rhodes y Samaras, 1994). Ludlow y Muchow (1990) afirman que las plantas que presentan este mecanismo, logran mantener la turgencia celular, al generar valores de potencial osmótico bajos, producto de la biosíntesis de dichos osmolitos. Lo anterior, podría explicar porque no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas en la variable CRA, aún entre los tratamientos sometidos a déficit hídrico. Aunque en el presente trabajo no se cuantificaron osmolitos, los valores bajos de potencial osmótico resultan un indicador bueno de la presencia y cantidad de dichos osmolitos en la célula.

Además de mantener la turgencia celular, Pinheiro *et al.* (2001) mencionan que los osmolitos tienen la función de proteger a las células en contra del daño producido por las especies reactivas de oxígeno, ROS por sus siglas en inglés. En este sentido Flexas y Medrano (2002) observaron que el estrés por déficit hídrico induce la formación de ROS en las hojas, provocando la degradación de pigmentos fotosintéticos, como clorofilas. Al respecto, el ajuste osmótico podría tratarse de una de las estrategias presentadas por la especie aromática utilizada en el presente estudio, porque los resultados muestran que a pesar de que el cultivo de *Mentha spicata*, se expuso a estrés por déficit hídrico, los muestreos del contenido de clorofila total (Chl) y contenido de clorofilas “a” y “b”, no mostraron

diferencias estadísticas significativas entre el grupo de plantas control y las de los tratamientos de déficit hídrico.

Si bien en el presente trabajo no se determinaron los osmolitos involucrados, Papageorgiou y Morata (1995) reportan que los complejos proteína-pigmento del fotosistema II, producto de la acción de la glicina betaína (GB), pueden actuar como osmoreguladores.

Aunado a lo anterior, es de resaltar que el tratamiento déficit hídrico con fertilización de vermicomposta fue uno de los que se obtuvieron valores más altos en la variable Chl total. Samiran *et al.* (2010) menciona que la vermicomposta posee micronutrientes, tales como, hierro, el cual actúa como grupo prostético de hemoproteínas, como catalasa, peroxidasa y super óxido dismutasa, las cuales combaten estas ROS, por lo tanto, participan en la mitigación de los efectos provocados por el déficit hídrico. Esto podría tener relación con los resultados observados en dicho trabajo.

Por otro lado, como parte de los efectos producidos por el déficit hídrico, se produce un cierre estomático, esto reduce la cantidad de CO₂ que ingresa a las hojas disminuyendo la producción de la enzima Rubisco, lo que genera la disminución en el transporte de electrones de la fase PSII de la fotosíntesis (Pagter *et al.*, 2005) y, por tanto, disminuye la producción de clorofila. La adición de vermicomposta aumenta la cantidad de materia orgánica al suelo, generando entre otras cosas, una retención de agua mayor (Domínguez, 2004), además de aumentar la producción de CO₂ en el suelo circundante a la planta (Marinari *et al.*, 2000). Estas dos características podrían explicar los resultados observados en el contenido de Chl total, por tanto, se considera que la vermicomposta juega un rol en la mitigación del déficit hídrico en este sentido.

Los resultados expuestos en este trabajo contrastan con lo reportado por Hosseinzadeh *et al.* (2016) quienes observaron un incremento en el contenido de Chl total en plantas de chícharo (*Cicer arietinum* L.) fertilizados con

vermicomposta solo en su grupo control, el cual no se sometió a condiciones de estrés hídrico. Sin embargo, reportan una disminución en el contenido de Chl total en los grupos que presentaron un estrés hídrico moderado y severo (75 y 25 % de la capacidad de campo respectivamente). Salehi *et al.* (2016) reportan la reducción en el contenido de clorofila “a” de un cultivo de *Matricaria chamomilla* L. sometido a condiciones de déficit hídrico y fertilizado con distintas dosis de vermicomposta. Argumentan que la presencia de radicales libres, producto del déficit hídrico, provoca la degradación del pigmento fotosintético producto de su peroxidación. Estos resultados podrían ser similares con lo observado en el presente estudio; sin embargo, la tendencia en los valores numéricos observa una producción de clorofila “a” mayor en condiciones de estrés hídrico y fertilización con vermicomposta. Por otro lado, los mismos autores reportan el aumento en el contenido de clorofila “b” en condiciones de estrés hídrico y fertilización con vermicomposta, atribuido a una aportación mayor de N, a partir, de la vermicomposta.

Los valores de variables fisiológicas muestran que el factor déficit hídrico y no la fertilización representan cambios en las plantas. Las diferencias entre plantas en déficit hídrico independientemente de su fertilización mostraron valores menores en su la tasa fotosintética (A), conductancia estomática (g), tasa transpiratoria (E), CO₂ subestomático (Ci) y temperatura de la hoja (Th). La disponibilidad de agua menor en el suelo, disminuyó el potencial hídrico de la planta, consecuentemente cerró sus estomas como mecanismo para evitar la pérdida de agua por transpiración, lo que implicó una entrada menor de CO₂ que se manifestó en un contenido menor de CO₂ subestomático lo cual disminuyó a su vez la tasa fotosintética. Este mecanismo lo observaron Hosseinzadeh *et al.* (2016) en chícharo (*Cicer arietinum* L.) sometido a déficit de humedad.

8.4 Contenido mineral

Cada uno de los elementos analizados en este trabajo tiene un papel importante en la planta cuando se somete a estrés hídrico. En el presente estudio se observó que las plantas de menta, presentaron valores distintos en su contenido mineral variando entre tratamientos de fertilización y déficit hídrico. De acuerdo con Aldana (2011) los valores del contenido de calcio (Ca^{2+}) se encuentran dentro de los rangos normales, teniendo a la fertilización con medusa en el tratamiento sin déficit hídrico con el porcentaje más alto, lo cual, de acuerdo a Li *et al.* (2003) favorece un incremento en el CRA en tratamientos con déficit hídrico. En este sentido, como se expuso anteriormente, el CRA en este trabajo fue capaz de mantenerse aún en tratamientos con déficit hídrico. Respecto a los niveles de potasio (K^+), el mismo autor indica que solo la fertilización con vermicomposta en el tratamiento sin déficit presentó porcentajes dentro del rango mínimo del requerimiento nutrimental para dicho mineral. Al respecto, Abd El-Mageed *et al.* (2016) reportan que la aplicación de K^+ incrementó el CRA de un cultivo de soya sometido a estrés hídrico. Así mismo, Premachandra *et al.* (1991) expusieron plantas de maíz a estrés hídrico, el cual fertilizaron con K^+ de manera externa, mostrando una adaptación mejor en las plantas tratadas con K^+ , producto de la estabilización de la membrana celular y el ajuste de la capacidad osmótica. De acuerdo con Marschner (2012), el K^+ juega un rol importante en la acumulación de solutos, los cuales inducen el ajuste osmótico en las plantas. Esto último se relaciona con los resultados observados en el potencial osmótico, ya que tanto la fertilización con vermicomposta como la de medusa presentaron los valores más altos de potencial osmótico en la condición de déficit hídrico, mientras que estos mismos fertilizantes presentaron los valores más altos de K^+ en la condición sometida a déficit hídrico, lo cual sugiere la acción de este mineral en la inducción al ajuste osmótico presentado por la menta.

Los resultados obtenidos en la variable conductancia estomática (g) muestran diferencias estadísticamente significativas respecto al factor déficit hídrico, lo cual, según Marschner (2012) responde a la necesidad de las plantas por preservar su

humedad interna mediante el cierre de sus estomas, el cual es esencial para su adaptación al déficit hídrico. A pesar de que no existen diferencias estadísticas ni en la fertilización, ni en la interacción de ambos factores respecto a dicha variable, sí se logran apreciar ciertas tendencias numéricas, favoreciendo ligeramente las fertilizaciones con medusa y vermicomposta. Los resultados descritos previamente podrían tener relación con el contenido de K en las fertilizaciones con medusa y vermicomposta, porque de acuerdo con Pettigrew (2008), el K tiene un papel importante en la regulación estomática.

El magnesio (Mg^{+}) es un mineral que de acuerdo con Cakmak y Yazici (2010) posee diversas funciones metabólicas tales como formación de ATP en cloroplastos, interviniendo de esta manera en el proceso de fotofosforilación, síntesis de proteínas, formación de clorofila, generación de especies reactivas de oxígeno y activación de diversas enzimas, entre ellas la ribulosa-1,5-bifosfato carboxilasa/oxigenasa, clave en la fijación de CO_2 , por lo tanto, el suministro adecuado de este mineral tiene repercusiones en la producción de biomasa (Thalooth *et al.*, 2006). Tränkner *et al.* 2016, reportaron una relación entre el contenido de clorofila y concentración de magnesio en un cultivo de cebada sometido a déficit hídrico. Es decir, que a medida que la concentración de magnesio disminuía también lo hacía la concentración de clorofila, concluyendo que una dosis adecuada de este mineral ayuda a atenuar los efectos negativos provocados por el déficit hídrico. Los resultados en el presente trabajo en relación al contenido de clorofila "a", "b" y total, podrían estar relacionados con lo reportado por los autores previamente citados, ya que, de acuerdo con Aldana (2011) el análisis de este mineral en el presente estudio muestra que los valores de magnesio fueron más altos de lo requerido por el cultivo, lo que probablemente ayudó a evitar la disminución de dichos pigmentos fotosintéticos producto de los efectos del déficit hídrico.

El Mn es un elemento esencial para las plantas, el cual interviene en distintos procesos metabólicos, principalmente en la actividad fotosintética, así como co-

factor antioxidante enzimático (Millaleo *et al.*, 2010). El contenido de este mineral presentó valores numéricos más altos en las fertilizaciones con vermicomposta y medusa en ambas condiciones de déficit hídrico. En este sentido, Wang *et al.* (2005) reportan una disminución del efecto del déficit hídrico en arroz transgénico (*Oryza sativa* L.), producto de la acción del manganeso superóxido dismutasa (MnSOD). Exponen que el incremento en los niveles de MnSOD logró mantener la tasa fotosintética (A) del cultivo, aún sometida a la condición de déficit de humedad, con lo cual concluyen que la actividad de la MnSOD disminuyó los efectos dañinos provocados por las ROS en la maquinaria fotosintética. Si bien en el presente trabajo no se determinó actividad enzimática, los resultados no mostraron diferencias estadísticas significativas entre la variable A con respecto a ninguno de los factores de fertilización o condición de déficit hídrico, ni en la interacción de ambos factores, con lo cual quizás exista algún efecto de dicho mineral en la mitigación del estrés causado por el déficit hídrico.

Finalmente, los niveles más altos de sodio foliar se presentaron en el tratamiento sometido a déficit hídrico, especialmente en la fertilización con medusa. De acuerdo con Dodd *et al.* (2010) las afectaciones metabólicas provocadas por altas concentraciones de sodio comprometen la estabilidad metabólica de la membrana al competir por los sitios de enlace con el calcio, alterando la permeabilidad de la misma, lo que a su vez provoca la salida de potasio, el cual es un elemento esencial para el metabolismo celular, como se mencionó anteriormente. Argentel *et al.* (2006) reportan la disminución en el contenido de clorofila y contenido relativo de agua en diferentes variedades de trigo sometidas a estrés salino. Argumentan que, en el caso del contenido de clorofila, la salinidad aumenta la actividad de clorofilasas, enzimas que provocan la destrucción de cloroplastos. Como se vio anteriormente en los resultados de dicha variable, éstos resultados difieren con los obtenidos en el presente estudio, ya que incluso numéricamente se presentó un aumento en el contenido de clorofila “a”, “b” y total en el tratamiento sometido a déficit hídrico con respecto al factor fertilización. A su vez,

argumentan que la disminución del contenido relativo de agua obtenido en su experimento se debe a que la concentración de sales genera una disminución del potencial osmótico, por consiguiente, provocando que el potencial hídrico sea menor al potencial hídrico celular, limitando así la entrada de agua a la misma. En este sentido, se puede sugerir que la respuesta de ajuste osmótico presentada por la menta resulta efectiva a las concentraciones de sodio obtenidas en el presente trabajo, ya que, como se discutió anteriormente la variable contenido relativo de agua no presentó diferencias estadísticas en relación a ninguno de los factores, incluso en la fertilización con medusa sometida a déficit hídrico. Respecto a los rangos óptimos de este elemento en el cultivo de *M. spicata* L. (Aldana, 2011), los valores más altos se presentaron en la condición sometida a déficit hídrico en todos los fertilizantes, siendo la fertilización con medusa considerablemente mayor.

8.5 Morfometría

De acuerdo a los resultados que se obtuvieron de los aspectos fisiológicos y al hecho de no haber presentado diferencias significativas en las variables morfométricas en los diferentes tratamientos tanto de fertilización como de déficit hídrico, se puede sugerir que la menta posee una gran capacidad de adaptación para contrarrestar los efectos nocivos que supone su exposición a un déficit hídrico. Las variables morfométricas que son las que expresan la producción de la planta se mantuvieron en todos los tratamientos debido a las estrategias fisiológicas presentadas por plantas en estrés, tal como el ajuste osmótico con el fin de mantener su metabolismo aún a potenciales hídricos bajos y un descenso en la entrada de CO₂ como materia prima para la fotosíntesis. Esta respuesta de acuerdo a Babita *et al.* (2010) representa una eficiencia en la adaptación a condiciones de estrés a las que son sometidas las plantas. Es importante mencionar que las diferencias estadísticas encontradas durante el primer muestreo, en algunas variables con relación al factor fertilización, así como ciertas tendencias durante el segundo muestreo, muestran un efecto positivo de la adición de vermicomposta y medusa al suelo con respecto al grupo control. En este

sentido, existen diversos trabajos que reportan el incremento en el crecimiento y biomasa de la parte aérea de distintas especies de plantas con la aplicación de vermicomposta, en donde los autores atribuyen dichos resultados a la acción de los ácidos húmicos contenidos en la misma, su carga microbiana y la presencia de sustancias con acción parecida a ciertas fitohormonas (Acosta-Durán *et al.*, 2014; Atiyeh *et al.*, 2000a; Karmegam y Daniel, 2008). Por otro lado, el uso de medusas como fertilizante ha sido poco estudiado, sin embargo, Fukushi *et al.* (2003); Chun *et al.* (2011); Kim *et al.* (2012); Hussein y Saleh (2014); Seo *et al.* (2014) reportan incrementos en el crecimiento de distintas especies de plantas utilizando especies distintas de medusas a la empleada en este trabajo. Atribuyen estos resultados al aporte de materia orgánica, la cual modifica la estructura del suelo incrementando la retención de humedad, así como a su aporte nutricional.

Cabe destacar que, durante el segundo muestreo en la fertilización con medusa, los valores más altos en las variables de la parte aérea, peso seco, peso fresco y área foliar, se obtuvieron en la condición sometida a déficit hídrico. Este fenómeno se ha observado con la aplicación de vermicomposta como fertilizante y se reportaron previamente por Doan *et al.* (2015) quienes obtuvieron los valores más altos en rendimiento de un cultivo de maíz en el período al que el cultivo fue sometido a condiciones más severas de estrés hídrico, sugiriendo que la influencia positiva de la vermicomposta ocurre cuando las plantas se encuentran sometidas a factores estresantes, como sucedió en este trabajo en la fertilización con medusa. Si bien, en este estudio no se observó un efecto similar en la fertilización con vermicomposta, al reportado anteriormente, esto responde a que según los efectos y características que pudiese presentar una vermicomposta son dependientes tanto del material parental como de su proceso de producción, por ende, sus efectos no se pueden generalizar (Lazacano *et al.*, 2009).

Con respecto a la raíz, se aprecia una ligera diferencia entre las condiciones de déficit hídrico. En donde, el grupo control y la fertilización con vermicomposta presentan valores más altos en la condición de déficit hídrico, con respecto a la

condición sin déficit hídrico. En la fertilización con medusa se mantiene esta misma tendencia, sin embargo, resulta más evidente y con mayor diferencia. De acuerdo con Shao *et al.* (2008) las plantas presentan respuestas de aclimatación frente a escenarios de déficit hídrico, entre los que se encuentra el aumento en el crecimiento radicular, lo cual explica el aumento en los pesos frescos y secos de las raíces reportados previamente en los tratamientos sometidos a déficit hídrico. Sin embargo, aunado a esta respuesta de aclimatación que presenta la planta por sí misma, parece que la fertilización estimula el desarrollo radicular, como es el caso de la vermicomposta, pero especialmente en la fertilización con medusa. Al respecto, Lazcano *et al.* (2009), Khan e Ishaq (2011) reportan un incremento en la biomasa de raíz en tomate y chícharo, respectivamente, fertilizados con vermicomposta. Atribuyen este desarrollo a la disponibilidad de nutrientes aportada por la vermicomposta, así como al efecto de sustancias con efectos parecidos a las auxinas, las cuales promueven el desarrollo radicular. Así mismo, Hussein y Saleh (2014) reportan el incremento en la longitud de raíz en plántulas de lenteja y trigo, producto de la inmersión de semillas en una solución de medusa.

Por otro lado, con respecto a trabajos donde se evalúa el crecimiento de *M. spicata* L. a condiciones de déficit hídrico, Matraka *et al.* (2010), Okwany *et al.* (2012) reportan una disminución de la biomasa de esta especie en los tratamientos sometidos a déficit hídrico con respecto a sus grupos controles, los cuales se mantuvieron en condiciones de riego adecuadas. Los resultados reportados por estos autores difieren con los obtenidos durante la presente investigación, ya que durante el segundo muestreo no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, incluso en los controles, los cuales no recibieron ningún tipo de fertilización. Respecto a los resultados reportados por Okwany *et al.* (2012) la diferencia podría radicar en el sistema de producción, ya que estos autores establecieron su cultivo en condiciones a campo abierto, a diferencia del presente trabajo donde el cultivo se estableció en malla sombra. En

este sentido, Murillo-Amador *et al.* (2013) reportan la obtención de valores más altos en variables morfológicas en un cultivo de timo y orégano establecido en condición de malla sombra, respecto al establecido en campo abierto, sugiriendo a ambos cultivos como tolerantes a la sombra. Por otro lado, Matraka *et al.* (2010) establecen su experimento en condiciones de invernadero; sin embargo, cada planta se desarrolló en macetas de 9 L, por ende, retomando lo discutido anteriormente, la planta no tuvo la facilidad de incrementar el desarrollo de su raíz para explorar un volumen de suelo mayor en busca del recurso hídrico, como posiblemente sucedió en el presente estudio.

9. CONCLUSIONES

El efecto más evidente del rol que tienen los fertilizantes evaluados en el presente estudio en el cultivo de *M. spicata* L., se observó en relación al suelo, en donde, la medusa obtuvo los valores más altos en el contenido de humedad y más bajos tanto en potencial mátrico como en temperatura, sugiriendo su potencialidad como fertilizante mitigador del estrés por déficit hídrico. Aunado a lo anterior, no se omiten las tendencias observadas en las demás variables evaluadas con respecto a dicha fertilización, porque pueden ser un buen indicio para seguir estudiando su efecto como fertilizante natural.

Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que *M. spicata* L., posee una gran capacidad de adaptación en relación a un déficit hídrico en condición de malla sombra. En donde, respecto al análisis de variables fisiológicas el mecanismo empleado por esta especie para contrarrestar dicha condición adversa, se trata de un ajuste osmótico, con el cual logra mantener un potencial hídrico bajo, el cual, a su vez, mantiene el contenido relativo de agua celular. Asimismo, disminuye la pérdida de agua mediante el cierre parcial de sus estomas, con lo cual, a pesar de provocar una reducción en su tasa fotosintética y sus niveles de CO₂ subestomático, no llega a reducir la producción de tejido vegetal, tal como mostró el análisis de las variables morfológicas.

Finalmente, los resultados obtenidos en las variables morfométricas en el presente trabajo, sugieren la producción de *M. spicata* L., en un sistema de malla sombra como una alternativa para el cultivo de esta especie en zonas con características climáticas a zonas áridas y semi-áridas como el caso de Baja California Sur.

Recomendaciones

Se debe profundizar en el estudio de la presencia de los osmolitos compatibles que intervienen en el mecanismo de ajuste osmótico propuesto en este estudio como estrategia de tolerancia al estrés hídrico.

Asimismo, el implemento de distintas dosis de medusa, *Stomolophus meleagris*, como fertilizante para tener un conocimiento más amplio acerca de su efecto en menta.

10. LITERATURA CITADA

- Abd El-Mageed, T. A., M.A. Ahmed, M. M. A. El-Sherif, M, M. H. Abd El-Wahed. 2016. Combined effect of deficit irrigation and potassium fertilizer on physiological response, plant water status and yield of soybean in calcareous soil. Arch. Agron. Soil Sci. 63.
- Abebe, T., A.C. Guenzi, B. Martin, J.C. Cushman. 2003. Tolerance of Mannitol-Accumulating Transgenic Wheat to Water Stress and Salinity. Plant Physiol. 131(4):1748-1755. Abd El-Mageed, T. A., M.A. Ahmed, M. M. A. El-Sherif, M, M. H. Abd El-Wahed. 2016. Combined effect of deficit irrigation and potassium fertilizer on physiological response, plant water status and yield of soybean in calcareous soil. Arch. Agron. Soil Sci. 63.
- Abiven, S., S. Menasseri, C. Chenu. 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis. Soil Biol. Biochem. 41:1-12.
- Acosta-Durán, C., N. Vázquez-Benítez, O. Villegas-Torres, L.B. Vence, D. Acosta-Peñaloza. 2014. Vermicomposta como componente de sustrato en el cultivo de *Ageratum houstonianum* Mill. y *Petunia hybrida* E. Vilm. en contenedor. Bioagro. 26(1):107-114.
- Aguilar-Benítez, G., C. Peña-Valdivia, J. García-Nava, P. Ramírez-Vallejo, S. Benedicto-Valdés, J. Molina-Galán. 2012. Rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en relación con la concentración de vermicompost y déficit de humedad en el sustrato. Agrociencia. (46): 37-50.
- Amanolahi-Baharvan, Z., H. Zahedi, M. Rafiee. 2014. Effect of vermicompost and chemical fertilizer on growth parameters of three corn cultivars. J. Appl. Sci. & Agric. 9(9): 22-26.
- Anjum, S.A., L.C. Wang, M. Farooq, I. Khan, L.L. Xue. 2011. Methyl jasmonate-induced alteration in lipid peroxidation, antioxidative defense system and yield in soybean under drought. J. Agron. Crop Sci. 197:296-301.
- Argentel, L., L.M. González, C. Ávila, R. Aguilera. 2006. Comportamiento del contenido relativo de agua y la concentración de pigmentos fotosintéticos de variedades de trigo cultivadas en condiciones de salinidad. Cultivos Tropicales. 27(3):49-53.
- Atiyeh, R. M., S. Subler, C. A. Edwards, G. Bachman, J. D. Metzger, W. Shuster. 2000a. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. Pedobiologia. 44: 579-590.
- Atiyeh, R. M., J. Domínguez, S. Subler, C. A. Edwards. 2000b. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. Pedobiologia. 44:709-724.

- Ayyobi, H., G. Peyvast, J. Olfati. 2013. Effect of vermicompost and vermicompost extract on oil yield and quality of peppermint (*Mentha piperita* L.). J. Agric. Sci. 58(1):51-60.
- Azarmi, R., M. Torabi-Giglou, R. Didar-Tileshmikail. 2008. Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicum esculentum*) field. Afric. J. Biotech. 7(14):2397-2401.
- Azcon-Bieto, J., M. Talón. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Mc Graw McGraw-Hill. Segunda Edición. España, Madrid. 651 p.
- Babita, M., M. Maheswari, L.M. Rao, A.K. Shanker, D. Gangadhar-Rao. 2010. Osmotic adjustment, drought tolerance and yield in castor (*Ricinus communis* L.) hybrids. Environ Exper Bot. 69:243-249.
- Ballester, C., J. Castel, D. S. Intrigliolo, J. R. Castel. 2011. Response of Clementina de Nules citrus trees to summer deficit irrigation. Yield components and fruit composition. Agric. Water Manag. 98:1027-1032.
- Biblioteca digital de la medicina tradicional mexicana. 2009. Atlas de las plantas de la medicina tradicional mexicana: *Mentha spicata* L. Consultado en: <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/monografia.php?l=3&t=Mentha%20spicata&id=7673>
- Cakmak, I., A. M. Yazici. 2010. Magnesium: A forgotten element in crop production. Better Crops. 94(2): 23-25.
- Carvalho, S. L. 2009. Biología reproductiva de la fase medusa de *Stomolophus meleagris* L. Agassiz 1862, en la laguna Las Guásimas, Sonora, México. Tesis (Doctorado en ciencias). CIBNOR. 143 p.
- Cervantes-Ramírez, M.C. 2005. Plantas de importancia económica en zonas áridas y semiáridas en México. Anais do X encontro de geógrafos da America Latina. 3388-3407p.
- Chavarría, G., H. dos Santos. 2012. Plant water relations: Absorption, Transport and Control Mechanisms. En: Montanaro, G., Dichio, B. (eds). Advances in Selected Plant Physiology Aspects. Editorial InTech. Croacia. pp 105-132.
- Chimenti, C.A., M. Marcantonio, A.J. Hall. 2006. Divergent selection for osmotic adjustment results in improved drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) in both early growth and flowering phases. Field Crops Res. 95:305-315.
- Choukr-Allah, R., A. Hamdy, C.V. Malcolm. 1996. Halophytes and biosaline agriculture. New York. M. Dekker. 424 p.

- Chun, K., E. Damdinsuren, K. Yeom, T. Ezaki. 2011. Effect of Jellyfish Fertilizer Application on Seedling Growth. *J. Jpn. Soc. Reveget. Tech.* 37(1):155-158.
- Codex alimentarius. 1999. Guidelines for the production, processing, labeling and marketing of organic produced products. Consultado en: <http://www.fao.org/3/a-a0369s.pdf>
- Condon, R.H., C.M. Duarte, K.A. Pitt, K.L. Robinson, C.H. Lucas, K.R. Sutherland, H.W. Mianzan, M. Bogeberg, J.E. Purcell, M.B. Decker, S. Uye, L.P. Madin, R.D. Brodeur, S.H.D. Haddock, A. Malej, G.D. Parry, E. Eriksen, J. Quiñones, M. Acha, M. Harvey, J.M. Arthur, W.M. Graham. 2012. Recurrent jellyfish blooms are a consequence of global oscillations. *Proc Natl Acad Sci USA.* 110(3):1000-1005.
- Covarrubias, A. 2007. Sobrevivir al estrés: cómo responden las plantas a la falta de agua. *Biotecnología.* 14:253-262.
- Deguchi, S., H. Kawamoto, O. Tanaka, A. Fushimi, S. Uozumi. 2009. Compost application increase the soil temperature on bare Andisol in a cool climate region. *Soil Sci. Plant Nutr.* 55: 778-782.
- Delfine, S., F. Loreto, P. Pinelli, R. Tognetti, A. Alvino. 2005. Isoprenoids content and photosynthetic limitations in rosemary and spearmint plants under water stress. *Agric Ecosyst Environ.* 106:243–252.
- Del Valle-Florencia, H. 1992. *Prácticas de Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmósfera.* Editorial Departamento de Publicaciones de la Dirección de Difusión Cultural de la Universidad Autónoma de Chapingo. Primera edición. México. 168p.
- Doan, T.T., T. Henry-des-Tureaux, C. Rumpel, J.J. Janeau, P. Jouquet. 2015. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three year mesocosm experiment. *Sci Total Environ.* 514: 147-154.
- Domínguez, J. 2004. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. En: C.A. Edwards (Ed.). *Earthworm Ecology* (2nd edition). CRC Press LLC. pp 401-424.
- Dodd, K., C. Guppy, P. Lockwood, I. Rochester. 2010. The effect of sodicity on cotton: plant response to solutions containing high sodium concentrations. *Plant Soil.* 330:239-249.
- Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita, S.M.A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.* 29:185-212.
- FiBL. 2015. Consultado en: <http://www.fibl.org/fileadmin/documents/en/news/2017/mr-world-organic-agriculture-2017-english.pdf>

- Flexas, J., H. Medrano. 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Ann. Bot.* 89:183-190.
- Florido-Bacallao, M., L. Bao-Fundora. 2014. Revisión bibliográfica: Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales.* 35(3):70-88.
- Frahm, M. A., J. C. Rosas, N. M a y e k - P é r e z, E. López-Salinas. 2004. Breeding beans for resistance to Terminal drought in the lowland tropics. *Euphytica.*136(2):223-232.
- Fukushi, K., N. Ishio, J. Tsujimoto, K. Yokota, T. Hamatake, H. Sogabe, K. Toriya, T. Ninomiya. 2003. Preliminary study on the potential usefulness of jellyfish as fertilizer. *Bull Soc Sea Water Sci Jpn.* 58:209-217.
- García-Sánchez, F., M. Carvajal, I. Porras, P. Botía, V. Martínez. 2003. Effects of salinity and rate of irrigation on yield, fruit quality and mineral composition of 'Fino 49' lemon. *Europ. J. Agronomy.* 19:427-437.
- Gómez-Tovar, L., M.A. Gómez-Cruz. 2004. La agricultura orgánica en México y en el mundo. *CONABIO. Biodiversitas.* 55:13-15.
- Heuer, B. 2011. Handbook of plant and crop stress. Editorial Board. Tercera Edición. Estados Unidos. 213-214 pp.
- Hossain, S.T., H. Sugimoto, N. Asagi, T. Araki, H. Ueno, M. Morokuma, H. Kato. 2013. The use of desalinated-dried jellyfish and rice bran for controlling weeds and rice yield. *J. Organic Syst.* 8(1):28-37.
- Hosseinzadeh, S., H. Amiri, A. Ismaili. 2016. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica.* 54 (1):87-92.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24:519-570.
- Husain, A., O.P. Virmani, D.V. Singh, A. Singh, K. Singh. 1988. Mint farming in India, Farm bulletin, published by Director, CIMAP, Lucknow, India.
- Husein, O. S., O. I. Saleh. 2014. Effect of soaking in jellyfish on some parameters of wheat and lentil seedlings. *J Environ Sci Toxicol Food Technol.* 8:32-39.
- IFOAM. 2005. Los principios de la agricultura orgánica. Consultado en: https://www.ifoam.bio/sites/default/files/poa_spanish_web.pdf

- IMTA. 2008. Programa de ordenamiento ecológico territorial para Baja California Sur: Actualización de la fase de caracterización. Consultado en: <http://sdemarn.bcs.gob.mx/wp-content/uploads/2016/02/INFORME-CARACTERIZACION-POETBCS-V2.pdf>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2008. Consultado en: <https://www.imta.gob.mx/gobmx/informacion-institucional/biblioteca.html>
- Juárez-Rosete, C.R., J.A. Aguilar-Castillo, M.E. Juárez-Rosete, R. Bugarín-Montoya, P. Juárez-López, E. Cruz-Crespo. 2013. Hierbas Aromáticas y Medicinales en México: Tradición e Innovación. *Bio-Ciencias* 2(3):119-129.
- Julca-Otiniano, A., L. Meneses-Florían, R. Blas-Sevillano, S. Bello-Amez. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *Idesia* 24(1): 49-61.
- Karmegam, N., T. Daniel. 2008. Effect of vermin- compost and chemical fertilizer on growth and yield of Hyacinth Bean (*Lablab purpureas*). *Dynamic Soil, Dynamic Plant*, Global Science Books. 2:77-81.
- Khan, A., F. Ishaq. 2011. Chemical nutrient analysis of different composts (Vermicompost and Pitcompost) and their effect on the growth of a vegetative crop *Psium sativum*. *Asian J. Plant Sci. Res.* 1(1): 116-130.
- Kim, Y., S. Kim, E. Damdinsuren, T. Ezaki, K. Chun. 2012. The Effect of Jellyfish (*Nemopilema nomurai*) Fertilizer on Tree Growth in Hillside Erosion Control Works. *J. For. Sci.* 28(4):227-231.
- Kirkham, M. B. 2005. *Principles of Soil and Plant Water Relations*. Elsevier Academic Pres. Amsterdam. 500p.
- Krasensky, J., C. Jonak. 2012. Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. *J. Exp.Bot.* 30:1-16.
- Kremen, A., C. Greene, J. Hanson. 2004. *Organic produce, price premiums, and eco-labeling in U.S. farmers' markets*. Economic Research Service, USDA, VGS-301-01, USA, 12p.
- Lahti, M., P.J. Aphalo, L. Finér, A. Ryyppö, T. Lehto, H. Mannerkoski. 2005. Effects of soil temperature on shoot and root growth and nutrient uptake of 5-year-old Norway spruce seedlings. *Tree Physiol.* 25: 115-122.
- Lambers, H., F.S. Chapin III, L. Pons. 2008. *Plant Physiological Ecology*. Springer. New York. USA.

- Larcher, W. 1995. Physiological plant ecology. Ecophysiology and stress physiology of functional groups. Springer- Verlag, Berlin-Heidelberg. 3rd Edition. 506p.
- Lazcano, C., J. Arnold, A. Tato, J.G. Zaller, J. Domínguez. 2009. Compost and vermicompost as nursery pot components: effects on tomato plant growth and morphology. Span J Agric Res. 7(4): 944-951.
- Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stress. 2nd. Ed. New York. Academic Press.
- Li, M., G.X. Wang, J.S. Lin. 2003. Application of external calcium in improving the PEG-induced water stress tolerance in liquorice cells. Bot Bull Acad Sin 44:275–284
- López-Martínez, J., J. Álvarez-Tello. 2013. The Jellyfish Fishery in Mexico. Agricultural Sciences. 4(6A):57-61.
- Ludlow, M.M., R. C. Muchow. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. Adv. Agron. 43:107-153.
- Marinari, S., G. Masciandaro, B. Ceccanti. 2000. Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. Bioresource Technol. 72: 9-17.
- Marschner, P. 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Editorial Academic Press. Tercera edición. London, UK. pp.178–189.
- Matraka, M., E. Ninou, A. Giannakoula, D. Lazari, H. Panou-Filothou, A. Bosabalidis. 2010. Effects of soil water content on *Mentha spicata* L. and *Origanum dictamnus* L. Isr. J. Plant Sci. 58: 229-239.
- Millaleo, R., M. Reyes-Díaz, A.G. Ivanov, M.L. Mora, M. Alberdi. 2010. Manganese as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms. J. Soil Sci. Plant Nutr. 10(4):476 – 494.
- Miller, F. 1989. Matric potential as an ecological determinant in compost, a substrate dense system. Microb. Ecol. 18:59-71.
- Molina, J. D. 1983. Recursos agrícolas de zonas áridas y semiáridas de México. Symposium. Centro de Genética. Colegio de Posgrado. Chapingo, México.
- Moreno, L. P. 2009. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. Agronomía Colombiana. 27(2):179-191.
- Moreno-Reséndez, A., E. Carreón-Saldivar, N. Rodríguez-Dimas, J. Reyes-Carrillo, P. Cano-Ríos, J. Vásquez-Arroyo, U. Figueroa-Viramontes. 2013. Vermicompost management: An alternative to meet the water and nutritive demands of tomato under greenhouse conditions. Emir. J. Food Agric. 25(5): 385-393.

- Munns, R. 2008. Why measure osmotic adjustment? *Aust. J. Plant Physiol.* 32:811-821.
- Murillo-Amador, B., E.O. Rueda-Puente, F.H. Ruíz-Espinoza, J.L. García-Hernández, F.A. Beltrán-Morales. (eds.). 2013. *Agricultura Orgánica. Temas de actualidad*. Editorial Plaza y Valdés. México, D.F. 389 p.
- Nayyar, H., D. Gupta. 2006. Differential sensitivity of C₃ and C₄ plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. *Environ Exper Bot.* 58:106-113.
- Nieto-Garibay, A., B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéquez, J. A. Larrinaga-Mayoral, J. L. García-Hernández. 2002b. El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible de chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *Interciencia.* 27(8):417-421.
- Nieto-Garibay, A., E. Troyo-Diéquez, B. Murillo-Amador, J.L. García Hernández, J.A. Larrinaga-Mayoral. 2002a. *La composta: Importancia, Elaboración y Uso Agrícola*. Editorial Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S. México 86 p.
- Nilsen, E.T., D.M. Orcutt. 1996. *Physiology of plants under stress. Abiotic factors*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- NMX-FF-109-SCFI-2007. 2008. *Humus de lombriz. Especificaciones y método de prueba*. México: Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.
- Northbourne, Lord.1940. *Look to the Land*. Second edition. Hillsdale, New York: Sophia Perennis.
- Okwany, R.O., T.R. Peters, K. Ringer, D. Walsh, M. Rubio. 2012. Impact of sustained deficit irrigation on spearmint (*Mentha spicata* L.) biomass production, oil yield, and oil quality. *Irrig Sci.* 30:213–219.
- Olsen, S. R., L. E. Sommers. 1982. Phosphorus. A. L. Page (Eds.) *Methods of Soil Analysis*. p 420-422. 7.58 Agronomy 9 part 2. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA.
- Ortuño, M.F., J.J. Alarcón, E. Nicolás, A. Torrecilla. 2004. Interpreting trunk diameter changes in young lemon trees under deficit irrigation. *Plant Science.* 167: 275-280.
- Osorio, N.W. 2012. pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal.* 1(4).
- Pagter, M., C. Bragato, H. Brix. 2005. Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. *Aquat.Bot.* 81: 285-299.

- Papageorgiou, G. C., N. Morata. 1995. The usually strong stabilizing effects of glycine betaine on the structure and function in the oxygen evolving photosystem-II complex. *Photosynth. Res.* 44:243-252.
- Patra, N.K., H. Tanveer, S.P.S. Khuauja, A.K. Shasany, H.P. Singh, V.R. Singh, K. Sushil. 2001. 'A unique interspecific hybrid spearmint clone with growth properties of *Mentha arvensis* L. and oil qualities of *Mentha spicata* L'. *Theor. Appl. Genet.* 102:471–476.
- Pedroza-Sandoval, A., L. G. Yáñez-Chávez, I. Sánchez-Cohen, J. A. Samaniego-Gaxiola. 2015. Efecto del hidrogel y vermicomposta en la producción de maíz. *Revista fitotecnia mexicana* 38(4):375-381.
- Peterson, L., F. Bienvenu. 1998. 'Spearmint'. In: *The new rural Industries: A handbook for farmers and Investors*. Rural Industries Research & Development Corporation, Australian Government.
- Pettigrew, W. 2008. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiol Plant.* 133:670–681.
- Pineda, B., J. O. García-Abellán, T. Antón. 2012. Tomato: Genomic Approaches for Salt and Drought Stress Tolerance. En: Tuteja, N., Gill, S. S., Tiburcio, A. F., Tuteja, R. (eds). *Improving Crop Resistance to Abiotic Stress*. Editorial John Wiley & Sons. pp.1085-1120.
- Power, R. T. 2002 Effects of soil disturbance on fundamental sustainable productivity of managed forests. *In* "Proceedings of the Symposium on the Kings River Sustainable Forest Ecosystem project; Progress and Current status (Gen Tech Rep PSW–193)", ed. by J. Verner, US Department of Agriculture Forest Service Pacific Southwest Forest and Range Experimental Station, Berkeley, CA, pp. 63–82.
- Premachandra, G.S., H. Saneoka, S. Ogata. 1991. Cell membrane stability and leaf water relations as affected by potassium nutrition of water-stressed maize. *J. Exp. Bot.* 42:739–745.
- Quiñones, A., B. Martínez-Alcántara, F. Legaz. 2007. Influence of irrigation system and fertilization management on seasonal distribution of N in the soil profile and on N-uptake by citrus trees. *Agric. Ecosyst. Environ.* 122:399-409.
- Rhodes, D., Y. Samaras. 1994. Genetic control of osmoregulation in plants. En: Strange, S. K. (ed). *Cellular and Molecular Physiology of Cell Volume Regulation*. Editorial CRC. Boca Raton. pp. 347-361.

- Romero, J., M. Rodríguez, M. Gutiérrez, J. Sánchez. 2013. Vermicompost como sustrato en la producción de menta (*Mentha piperita* L.). Rev. Mex. Cienc. Agríc. (5): 889-899.
- Sahota, A. 2004. Overview of the global market for organic food and drink. En: The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends 2004. IFOAM, FIBL, SÖL, Alemania. 21-26p.
- Salehi, A., H. Tasdighi, M. Gholamhoseini. 2016. Evaluation of proline, chlorophyll, soluble sugar content and uptake of nutrients in German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under drought stress and organic fertilizer treatments. Asian Pac J Trop Biomed. 6(10):886-891.
- Samiran, R., A. Kusum, K.D. Biman. 2010. Effect of organic amendments of soil on growth and productivity of three common crops viz. *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris* and *Abelmoschus esculentus*. Appl. Soil Ecol. 45:78-84.
- Sangwan, N. S., A. H. A. Farooqi, F. Shabih, R. S. Sangwan. 2001. Regulation of essential oil production in plants. Plant Growth Regul. 34:3-21.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana 0-21. 2002. En línea: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>
- Seo, J.-I., Y.R. Kim, K. Otsuki, S.W. Kim, K.J. Yeom, J.S. Yi, Y.S. Ahn, T. Ezaki, K.W. Chun. 2014. Contributions of Jellyfish Fertilizer to Survival and Growth of Seedlings Planted in a Recently Burned Forest, Republic of Korea. J. Fac. Agr., Kysuhu Univ. 59(1):181-189.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2012. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Consultado en: http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp
- Shao, H.B., L.Y. Chu, C.A. Jaleel, C.X. Zhao. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. C.R. Biol. 331: 215-225.
- Talooth, A. T., M. M. Tawfik, H. M. Mohamed. 2006. A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. World J. Agric. Sci. 2(1):37-46.
- Tränkner, M., B. Jákli, E. Tavakol, C.M. Geilfus, I. Cakmak, K. Dittert, M. Senbayram. 2016. Magnesium deficiency decreases biomass water-use efficiency and increases leaf water-use efficiency and oxidative stress in barley plants. Plant Soil. 406: 409-423.

- Turner, N.C., S. Abbo, J.D. Berger, S.K. Chaturvedi, R.J. French, C. Ludwig, D.M. Mannur, S.J. Singh, H.S. Yadava. 2007. Osmotic adjustment in chickpea (*Cicer arietinum* L.) results in no yield benefit under drought stress. *J. Exp. Bot.* 58(2):187-194.
- Valladares, F., A. Vilagrosa, J. Peñuelas, R. Ogaya, J. Camarero, L. Corcuera, S. Sisó, E. Gil-Pelegrín. 2014. Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía. En: Valladares, F. 2004. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid, España. pp 163-190.
- Vélez, J., J. Álvarez-Herrera, O. Alvarado-Sanbria. 2012. El estrés hídrico en cítricos (*Citrus* spp.): Una revisión. *Orinoquia.* 16(2): 32-39.
- Wang, F.Z., Q.B. Wang, S.Y. Kwon, S.S. Kwak, W.A. Su. 2005. Enhanced drought tolerance of transgenic rice plants expressing a pea manganese superoxide dismutase. *J. Plant Physiol.* 162: 465-472.
- Wang, F-X., Y. Kang, S-P. Liu, X-Y. Hou. 2007. Effects of soil matric potential on potato growth under drip irrigation in the North China Plain. *Agric. Water. Manag.* 88: 34-42.
- Weber, J., A. Karczewska, J. Drozd, M. Licznar, S. Licznar, E. Jamroz, A. Kocowicz. 2007. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. *Soil Biol Biochem.* 39:1294-1302.